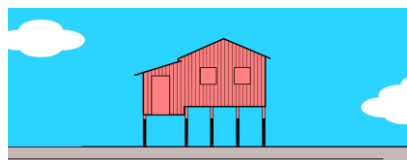


Capítulo 18



Avaliação da infiltração e da condutividade hidráulica saturada dos perfis da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

*Alba Leonor da Silva Martins
Wenceslau Geraldes Teixeira
Jean Dalmo Marques
Jeferson Luís Vasconcelos de Macedo
Maria do Rosário Lobato Rodrigues*

1. Introdução

Uma parte da água proveniente de eventos de precipitação em um local infiltra e percola o solo, sendo parcialmente retida e formando o reservatório de água para as plantas. Outra parte dessa água que percola é responsável pela recarga do(s) aquífero(s), uma das fontes reguladoras essenciais dos mananciais superficiais. Em um balanço hídrico ideal, a variação do armazenamento de água no solo é resultado das diferenças entre os volumes de água que entram no sistema, pela precipitação e/ou irrigação, e as saídas pela evapotranspiração, escoamento superficial (enxurradas) e recarga dos aquíferos (Teixeira et al., 2020).

A condutividade hidráulica saturada do solo (K_s) é uma propriedade hidráulica intrínseca que expressa a máxima permeabilidade do solo para a condução de água (Prevedello; Armindo, 2015). A infiltração de água no solo é descrita pela penetração da água através da superfície do solo. A taxa ou velocidade de infiltração da água decresce de valores mais elevados até um valor onde o comportamento torna-se assintótico em longos períodos - esse valor é denominado taxa de infiltração básica (TIB).

Quando a intensidade de precipitação (IP) da chuva ou irrigação é igual ou menor que a TIB, não há o empoçamento da água nem a formação de enxurradas. Entretanto, se a IP for maior que a TIB, quando o solo já estiver saturado, podem ocorrer o empoçamento da água e a formação de enxurradas, que carregam partículas do solo em suspensão, causando erosão e degradação da qualidade da água nos mananciais.

Mesmo que K_s e TIB sejam variáveis fisicamente distintas, podem assumir valores numericamente iguais quando o solo encontra-se saturado, isto é, em condições de gradiente hidráulico unitário e fluxo descendente, com o potencial matricial da água no solo tornando-se nulo.

A condutividade hidráulica saturada no campo (K_{fs}) é uma propriedade física do solo importante para o entendimento da dinâmica da água, incluindo a retenção e a absorção pelas plantas (Fabian; Ottoni Filho, 1997). Dados de K_{fs} têm sido utilizados para a parametrização do software *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT), que é um dos modelos para estudos da produtividade de culturas (Jones et al., 2003).

A caracterização de K_s tem sido utilizada tanto no cálculo da recarga de aquíferos por meio da equação de balanço hídrico (Martins et al., 2022), onde variáveis de entrada e de saída são conhecidas por determinação direta ou empírica, como em estudos de modelagem hidrológica e projetos de irrigação. Associadamente a esses estudos, faz-se uso também das medições da TIB, para se estimar os valores da taxa de irrigação, das estimativas de escoamento superficial e de infiltração em estudos de modelagem hidrológica (Teixeira et al., 2020; Ottoni et al., 2025).

As propriedades hidráulicas do solo (K_s e TIB) variam no tempo e no espaço (Bagarello; Sgroi, 2007; Pachepsky et al., 2008; Vieira et al., 2014) e sua avaliação deve ser realizada, prioritariamente, no campo, o que torna essas pesquisas custosas e laboriosas. Isso justifica, em parte, a escassez de determinações dessas propriedades em trabalhos de levantamento e caracterização do solo. Os trabalhos encontrados com essas avaliações no campo em solos do Amazonas e do Pará foram os de Rodrigues et al. (1991), Tomasella e Hodnett (1996), Oliveira Júnior et al. (1997, 1998, 1999), Teixeira (2001), Marques et al. (2004, 2010), Souza et al. (2004), Coelho et al. (2005), Teixeira et al. (2014, 2020) e Borkowski (2021).

Entre os métodos de avaliação de TIB, o infiltrômetro de anel simples ou concêntrico é dos mais utilizados e populares no Brasil (Corrêa, 1985; Medina; Leite, 1985; Abreu et al., 2004). Os permeâmetros de poço de carga constante, em especial o permeâmetro de Guelph (*Soil Moisture*, 2008), têm sido bastante utilizados para as determinações da condutividade hidráulica do solo saturado no campo (K_{fs}) (Abreu et al., 2004; Assis; Lanças, 2005; Oliva et al., 2005; Correia et al., 2007). Um levantamento dos dados de K_s e TIB para os solos do Brasil foi feito num esforço dos associados da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS). O estudo organizou e disponibilizou mais de 2500 dados de avaliações de K_s e TIB realizadas no Brasil (Ottoni et al., 2025). Os dados desse levantamento estão disponibilizados num banco de dados público disponível nos repositórios do Serviço Geológico do Brasil (SGB) (<https://www.sgb.gov.br/ksat-ssir-db-base-de-dados-de-condutividade-hidraulica-saturada-e-de-taxa-de-infiltracao-basica-em-solos-brasileiros>).

1.1. Instrumentos de medição da taxa de infiltração básica (TIB) e da condutividade hidráulica saturada (K_s).

O permeâmetro de Guelph (Figura 18.1) é um equipamento usado para medição da K_s no campo. As avaliações feitas no campo são comumente denominadas de K_{fs} , sendo o fs uma abreviação de saturada no campo – *field saturated*. O permeâmetro de Guelph é composto, basicamente, de um frasco de Mariotte, que controla a carga constante de água no poço, ligado a um reservatório de água, formado por um tubo acrílico com régua graduada, acoplado a um tripé regulável de forma a adaptar o aparelho a terrenos irregulares (Reynolds et al., 1985). A anotação do decaimento do nível da água no reservatório como função do tempo é feita manualmente. Segundo Teixeira et al. (2020), à medida que a água infiltra-se no solo, o nível

do reservatório decresce, sendo possível estimar o fluxo de água no poço (Q). Na utilização do permeâmetro de Guelph, é imprescindível controlar e anotar se as medidas da variação do nível da água estão sendo feitas no reservatório interno (*in* – fator 2,16 cm²) ou externo (*out* – fator 35,22 cm²). A variação do volume entre eles é de ~ 150%.

Com os valores determinados de Q (normalmente avaliados em cm³ min⁻¹), juntamente com os valores da geometria do poço (raio - cm), da altura da coluna de água mantida no poço, denominada de carga hidráulica (H - cm), e do parâmetro denominado α , que depende da estrutura do solo (Tabela 18.1), é possível obter os valores de Kfs. Detalhes da solução matemática da estimativa da condutividade hidráulica no bulbo (3D) ao redor de um poço saturado de água foram apresentados por Wooding (1968). A empresa que comercializa o permeâmetro de Guelph (*Soil Moisture* – EUA) disponibiliza uma planilha para a realização dos cálculos de Kfs com base nos parâmetros mencionados.

O infiltrômetro de anel simples – *single ring* (Figura 18.2) – é um instrumento simples e prático para avaliação da TIB, bastante utilizado devido à facilidade de uso em campo (Fabian; Ottoni Filho, 1997). Ele consiste em um cilindro metálico, de fundo aberto, que é inserido no solo. Na face interna do cilindro, são observadas e registradas as variações de nível da água no decorrer do tempo, referente ao volume de água infiltrada no solo (Reynolds et al., 2002). Com esses dados e a área circunscrita no anel, é possível estimar o fluxo de água que se infiltra no solo em determinado tempo (Teixeira et al., 2020).

As medições da TIB são utilizadas no cálculo da lâmina de água a ser aplicada em projetos de irrigação, do escoamento superficial ou de infiltração na modelagem hidrológica. De acordo com Leal (2011), em estudos hidrológicos, o processo de infiltração, associado aos processos de retenção e percolação, é imprescindível, pois atua na manutenção da bacia hidrográfica como um reservatório dinâmico, permitindo o armazenamento e a movimentação subterrânea da água. Adicionalmente, o Kfs e a TIB, em conjunto com outros parâmetros, permitem estimativas sobre as classes de drenagem e da formação de enxurradas (*runoff potential*).

Este trabalho tem por objetivo apresentar os dados da avaliação da condutividade hidráulica saturada (Kfs) e da taxa de infiltração básica (TIB) da água em perfis de solos estudados na XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (XV RCC).

2. Material e métodos

2.1. Seleção dos locais de avaliação

Os estudos foram realizados em sete locais, próximos aos perfis da XV RCC. A descrição dos perfis de solo bem como suas características físicas, químicas e mineralógicas e a classificação segundo o *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (Santos et al., 2018) são apresentadas no Capítulo 9. Nesses locais foram avaliadas a condutividade hidráulica saturada no campo (Kfs), utilizando o permeâmetro de Guelph (Figura 18.1), e a taxa de infiltração básica (TIB), com a utilização de um infiltrômetro de anel simples (*single ring*) (Figura 18.2).

Fotos: Wenceslau Geraldes Teixeira.



Figura 18.1. Permeâmetro de Guelph com o frasco de Mariotte, instalado no campo para a determinação da K_{fs} a 20 cm (horizonte A) e a 60 cm (horizonte B).

Fotos: Wenceslau Geraldes Teixeira.



Figura 18.2. Determinação da taxa de infiltração básica (TIB) realizada com o infiltrômetro de anel simples (*single ring*) no Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico (AM-01).

No infiltrômetro de anel, o cilindro metálico utilizado no presente estudo tinha 19,5 cm de diâmetro e 20 cm de altura, sendo inserido a cerca de 5 cm de profundidade (Figura 18.2). As avaliações foram realizadas com carga hidráulica variável entre 1 e 10 cm de altura, com a estimativa do volume de água infiltrado pela variação do nível da água dentro do cilindro feita por leitura numa régua adaptada numa boia, por um tempo mínimo de 30 minutos por cada ponto, dependendo da permeabilidade da água no solo. Nos perfis AM-01, AM-02 e AM-08, o frasco de Mariotte do permeâmetro de Guelph foi utilizado para manter uma carga constante de água no cilindro entre 2 e 5 cm (Figura 18.1), e a leitura foi feita nos reservatórios do equipamento. As estimativas da TIB (cm h^{-1}) foram feitas dividindo-se o fluxo de água (Q) em $\text{cm}^3 \text{ h}^{-1}$ pela área do cilindro (283 cm^2).

Os dados apresentados são médias das três repetições, com o respectivo desvio-padrão. Os cálculos da velocidade de infiltração básica (TIB, em cm h^{-1}) foram feitos utilizando-se a Equação 1:

$$TIB = \text{volume infiltrado (cm}^3\text{)} / \text{área interna do anel (cm}^2\text{)} \times \text{tempo (h)} \quad (1)$$

Para a avaliação da condutividade hidráulica saturada no campo (K_{fs}), foi empregado o permeâmetro de Guelph (Soil Moisture, 2008). Os poços foram escavados utilizando-se um trado de caneco com seis centímetros de diâmetro, nas profundidades de 0 a 20 e 0 a 60 cm, sendo mantida durante a avaliação uma carga hidráulica constante de 10 cm (Teixeira et al., 2020).

O fluxo de água no permeâmetro foi avaliado pelo monitoramento do nível da água no reservatório de Mariotte, registrado em planilha em intervalos de tempo variando entre 15 segundos (para o Espodossolo, perfil AM-09) e três minutos (para os Gleissolos Hápticos). O tempo de avaliação foi feito até uma variação constante no fluxo e oscilou entre 2 e 60 minutos, dependendo da permeabilidade da água no solo. As avaliações com o permeâmetro de Guelph foram feitas em triplicata, nas duas profundidades, totalizando 6 avaliações em cada local escolhido. Os dados apresentados são médias das repetições, com o respectivo desvio-padrão.

As equações para as estimativas da K_{fs} com base nas determinações dos fluxos no permeâmetro de Guelph são descritas por Reynolds et al. (1985). O método considera o solo como um meio poroso rígido, homogêneo e isotrópico, e o fluxo, como em regime constante.

Para estimativa da K_{fs} , foi utilizada a Equação 2:

$$K_{fs} = Q_s / [(2rH^2 + Cr\alpha^2) \alpha + 2rH] \quad (2)$$

Em que:

K_{fs} é a condutividade hidráulica saturada no campo ($\text{cm}^3 \text{ min}^{-1}$);

Q_s é o fluxo de água no regime estacionário ($\text{cm}^3 \text{ s}^{-1}$);

H é a carga hidráulica selecionada (cm);

r é o raio do poço de avaliação e

C e α (Tabela 18.1) são fatores adimensionais dependentes da textura e da estrutura do solo (Reynolds et al., 1985).

Os cálculos da Kfs foram feitos para mais de um valor α e as consequências dessa escolha são discutidas a seguir.

Tabela 18.1. Categoria de textura e estrutura do solo e o α estimado nas avaliações da condutividade hidráulica saturada com o permeâmetro de Guelph (Soil Moisture, 2008).

Categoria de textura e estrutura do Solo	α (cm ⁻¹)
1 - Materiais compactados, sem estrutura, argilosos ou siltosos, como revestimentos de aterros sanitários, sedimentos marinhos lacustres etc.	0,01
2 - Solos de textura fina (argilosos ou siltosos) e não estruturados; também podem incluir algumas areias finas.	0,04
3 - Solos mais estruturados, desde argilosos a francos, também incluem areias médias finas não estruturadas. É a categoria mais frequentemente aplicável para solos agrícolas.	0,12
4 - Areias grossas e pedregosas; também podem incluir alguns solos altamente estruturados com rachaduras grandes e/ou numerosas, macroporos etc.	0,36

Os dados de Kfs e TIB foram classificados nas categorias em função dos valores e faixas definidos na Tabela 18.2.

Tabela 18.2. Classificação dos valores da taxa de infiltração (TIB) ou condutividade hidráulica saturada (Ks) (Soil Survey Division Staff, 2017).

Classificação	Muito baixa	Baixa	Moderada-mente baixa	Moderada-mente alta	Alta	Muito alta
Velocidade de infiltração / transmissão (cm hora ⁻¹)	< 0,0036	$\geq 0,0036$ a $\leq 0,036$	$> 0,036$ a $\leq 0,36$	$> 0,36$ a $\leq 3,6$	$> 3,6$ a ≤ 36	> 36

3. Resultados e discussão

Análises de condutividade hidráulica saturada (Kfs) e da infiltração da água (TIB) nos perfis da XV RCC

A elevada variabilidade da Kfs e da TIB é demonstrada pelos elevados valores dos desvios-padrão (Tabela 18.3). Entretanto, a elevada variabilidade da Kfs e da TIB é considerada normal (Jury et al., 1991; Abreu et al., 2003; Scherpinski et al., 2010), devido às fontes de erros na metodologia e à elevada variabilidade espacial do solo, considerando a pequena área ou volume amostral da medição pelas técnicas utilizadas. Um estudo de Warrick (1998) estimou o número de avaliações necessárias para as estimativas de Kfs: para um intervalo de confiança de 95% e variação de média de 10%, seria maior que 96 pontos de avaliação; e para estimativas da TIB, para um intervalo de confiança de 80% do valor estimado com 25% de tolerância de variação em relação à média, o número de avaliações deverá ser maior que sete. Dados que

demonstram um desvio-padrão maior que a média em estudos de avaliação da TIB e da Kfs são apresentados também por Warrick e Nielsen (1980), Hillel (1998) e Bagarello e Giordano (1999).

Nesse estudo a avaliação da TIB próximo ao perfil AM-08 (Plintossolo Argilúvico) apresentou valor médio de $5,5 \text{ cm h}^{-1}$ e desvio-padrão de $6,3 \text{ cm h}^{-1}$ para a alta variabilidade de dados de Ks e TIB. A presença de macroporos ou rachaduras no solo, comumente encontradas em algumas classes de solos nos trópicos, a exemplo dos Vertissolos (que têm argilas expansivas), pode aumentar a variabilidade hidráulica, naturalmente alta. Outras fontes de imprecisão na avaliação das propriedades hidráulicas surgem da própria técnica de medição, como a perturbação do solo durante a instalação do equipamento (Amoozegar; Warrick, 1986). Devido à alta variabilidade das propriedades hidráulicas do solo, é melhor para muitos propósitos ter vários pontos com menor precisão do que apenas alguns dados altamente precisos. Certamente, ambas as propriedades são desejáveis, mas não são facilmente obtidas. A variabilidade das propriedades hidráulicas no campo precisa ser levada em consideração ao escolher o método de medição e o número de repetições. Se forem insuficientes, os efeitos diretos dos tratamentos podem ser mal interpretados ou não detectados.

Adicionalmente, dados de TIB e Kfs não apresentam distribuição normal (Teixeira, 2001; Soil Survey Manual, 2017) e talvez poderiam ser mais bem representados pela mediana ou pela distribuição de frequência (Teixeira, 2001).

A Kfs depende do espaço poroso, e este parâmetro varia bastante entre diferentes classes de solos e, até mesmo, para o mesmo solo, em função das suas variações estruturais, sendo também influenciado pelo uso, cobertura e práticas de manejo do solo. Abreu et al. (2003) encontraram o valor de 63% para o coeficiente de variação da condutividade hidráulica no solo saturado, determinada em campo com a utilização do permeâmetro de Guelph, na profundidade de 15 cm. Os mesmos autores também enfatizam que os Latossolos, independentemente de sua textura, apresentam funcionamento hídrico similar, de forma geral, de alta condutividade hidráulica e elevada porosidade (Lumbreras, 1996; Tomasella; Hodnett, 1996; Teixeira et al., 2014).

Na Tabela 18.3 são apresentados os resultados da Kfs determinados pelo fluxo (Q) obtido com permeâmetro de Guelph com a carga hidráulica de 10 cm. Foi utilizada apenas uma carga hidráulica (Equação 2), pois, em solos heterogêneos e com a presença de macroporos (Elrick et al., 1989), a avaliação com duas cargas da Kfs pode assumir valores negativos.

Tabela 18.3. Avaliação da condutividade hidráulica saturada (Kfs) e taxa de infiltração básica (TIB) de alguns solos estudados na XV RCC.

Coordenadas geográficas		Município/localização	Kfs e alpha (α)		TIB
			Profundidade do poço (cm)		
----- 20 -----	--- 60 ---				
Lat	Long		Carga hidráulica (10 cm)		
UTM			----- cm hora ⁻¹ -----		
9639997	808021	AM-01 – Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa Manaus / CE Caldeirão	0,78 ± 0,12	0,57 ± 0,12	48,49 ± 27,77
			$\alpha = 0,12$	$\alpha = 0,12$	
9686970	230256	AM-02 – Latossolo Amarelo Distrófico petroplântico, textura muito argilosa Itacoatiara - Rodovia AM-010	0,57 ± 0,99	0,38 ± 0,66	163,41 ± 40,36
			$\alpha = 0,12$	$\alpha = 0,12$	
9651365	341772	AM-05 – Gleissolo Háptico Ta Eutrófico neofluvisólico, textura siltosa Itacoatiara - planície interna	4,39 ± 4,33	0,40 ± 0,16	13,32 ± 1,98
			$a = 0,04$	$a = 0,04$	
			8,26 ± 8,16	0,78 ± 0,30	
			$\alpha = 0,12$	$\alpha = 0,12$	
9651224	341760	AM-06 – Gleissolo Háptico Ta Eutrófico neofluvisólico, textura média/siltosa/média Itacoatiara - dique da planície	0,74 ± 0,63	0,35 ± 0,06	4,35 ± 3,65
			$a = 0,04$	$a = 0,04$	
			1,39 ± 1,18	0,65 ± 0,11	
			$\alpha = 0,12$	$\alpha = 0,12$	
9649792	788620	AM-08 – Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa Iranduba - AM-070 km 42	0,55 ± 0,09	1,44 ± 0,78	5,50 ± 6,28
			$\alpha = 0,12$	$\alpha = 0,12$	
9714260	830246	AM-09 – Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa Manaus - Rodovia BR-174	78,35 ± 10,79	79,00 ± 26,60	50,48 ± 23,87
			$\alpha = 0,36$	$\alpha = 0,36$	
			Horizonte 4Bhsm (~ 350 cm)		
			0,15 ± 0,38		
			$\alpha = 0,01$		
9708447	527925	AM-12 – Gleissolo Háptico Ta Distrófico neofluvisólico, textura média Parintins - planície interna	0,36 ± 0,04	0,36 ± 0,08	6,51 ± 9,96
			$a = 0,04$	$a = 0,04$	
			0,67 ± 0,08	0,68 ± 0,15	
			$\alpha = 0,12$	$\alpha = 0,12$	

Kfs: condutividade hidráulica saturada do solo no campo; TIB: taxa de infiltração básica.

Entre os sete locais visitados, o solo nas proximidades do perfil AM-11 Gleissolo Háptico Ta Eutrófico vertissólico, em Parintins, à margem do Rio Amazonas, não foi avaliado por causa da presença de fendas (Figura 18.3).



Fotos: Wenceslau Geraldes Teixeira.

Figura 18.3. Superfície do solo com fendas, próxima ao perfil AM-11 – Gleissolo Háptico Ta Eutrófico vertissólico neofluvisólico (Parintins, AM).

As avaliações nos perfis AM-01 e AM-02, Argissolos e Latossolos da Formação Alter do Chão, na Amazônia Central, mostram elevados valores de TIB, típicos desses solos, de 48 e 163 cm h⁻¹, respectivamente. Corrêa (1985) encontrou valores de Kfs entre 62 e 11 cm h⁻¹ em avaliações em Latossolo Amarelo muito argiloso, sob diferentes sistemas de preparo do solo. Medina (1985) encontrou valores em Latossolo Amarelo muito argiloso, com Kfs variando de 30 cm h⁻¹ em área de floresta primária até 1,4 cm h⁻¹ em local onde foi feito desmatamento mecanizado. Medina e Leite (1985) encontraram valores de Kfs entre 60 e 22 cm h⁻¹.

O perfil AM-01, que é um solo alterado pela ocupação humana (Terra Preta de Índio), apresenta uma menor infiltrabilidade que o AM-02. Os baixos valores de Kfs em ambos os perfis deve ser um artefato criado pelo método de avaliação (poço escavado e avaliação com permeâmetro de carga constante). Esses solos, estruturados e muito argilosos em subsuperfície, encontravam-se acima do limite de plasticidade quando os poços para medição da Kfs foram escavados e, provavelmente, o trado causou a compactação (espelhamento ou selamento de poros) das paredes do poço, consequentemente reduzindo a permeabilidade à água. Não é possível eliminar esse espelhamento nas paredes do poço nesses solos com o uso de escovas. Portanto, esses dados de Kfs avaliados neste estudo e em outros com permeâmetro de poço

escavado em solos muito argilosos, quando se encontram com umidade acima do limite de plasticidade, no caso dos Latossolos Amarelos da Amazônia Central (estimada em 40%) (Correa, 1985), devem ser utilizados com cautela, pois provavelmente estão subestimados.

As avaliações no perfil AM-09 (Espodossolo Humilúvico), nas profundidades de 20 cm e de 60 cm, apresentaram os maiores valores da Kfs, acima de 78 cm hora⁻¹. Valores maiores que 36 cm hora⁻¹ estão acima do limite superior das avaliações fidedignas realizadas com o permeâmetro de Guelph, portanto, os valores de Kfs no perfil AM-09 devem ser vistos com ressalvas. Esses horizontes, de textura arenosa e estrutura com predomínio de grãos simples, possuem valores de Kfs muito altos segundo os critérios apresentados na Tabela 18.2. Entretanto, esses elevados valores reduzem-se drasticamente no horizonte B espódico (4Bhsm que se localiza a cerca de 350 cm da superfície do solo), para valores de Kfs = 0,15 cm hora⁻¹ (Tabela 18.3). A permeabilidade moderadamente baixa desse horizonte é que controla a drenagem do perfil como um todo. A maioria dos Espodossolos na Amazônia estão localizados em áreas mal drenadas (Teixeira et al., 2010) e apresentam áreas alagadas nos períodos de elevada precipitação, muitos com horizontes B espódicos cimentados. Resultados semelhantes em solos arenosos com a presença de horizontes com reduzida permeabilidade foram avaliados por Teixeira et al. (2020) na Ilha de São Luís, no Maranhão.

O perfil de Gleissolo Háplico (AM-05) estudado evidencia o efeito da escolha do parâmetro α , nas estimativas da Kfs. A seleção do parâmetro α 4 (0,04) fez com que a Kfs alterasse-se de $\sim 0,40$ e $0,35$ cm h⁻¹ para $8,30$ e $0,67$ cm h⁻¹ com a troca para o α 3 (0,12) para as profundidades de 20 e 60 cm. É necessário que se façam estudos que elucidem mais detalhadamente o efeito da estrutura nas estimativas do parâmetro α para diversas classes de solos no Brasil. Para solos de clima temperado, a classificação equivocada em uma categoria introduz erros de pequena magnitude, o que é geralmente aceitável para aplicações de estudos de campo (Elrick et al., 1989). O Espodossolo Humilúvico (AM-09) é um exemplo de grande variação estrutural entre os horizontes, onde o α é igual a 0,36. No entanto, dentro do mesmo perfil, as características estruturais são alteradas no horizonte B espódico (4Bhsm), e o α considerado é 0,01 (Tabela 18.1).

O Gleissolo Háplico (AM-12), nas profundidades de 20 e 60 cm, apresentou valores de Kfs $\sim 0,35$ cm hora⁻¹, quando se utilizou o fator α 0,04 (“solos siltosos”). Entretanto, os valores de Kfs elevam-se para Kfs $\sim 0,67$ cm hora⁻¹ se utilizamos o valor α de 0,12 (“solos estruturados”). A indicação para a seleção do parâmetro α (α) é apresentada na Tabela 18.1.

Os resultados obtidos usando-se o infiltrômetro de anel são geralmente superiores às estimativas obtidas com o permeâmetro de Guelph (Tabela 18.3). Vários fatores condicionam a infiltração, a condução e a retenção de água no solo, tais como a granulometria e a mineralogia. No entanto, os arranjos estruturais parecem ser os mais relacionados à velocidade de movimento da água (Corrêa, 1985). Neste estudo, os valores de α parecem indicar essa afirmação (Tabela 18.3).

4. Conclusões

A Kfs e a TIB são parâmetros de elevada variabilidade mesmo em localidades próximas.

Os Latossolos Amarelos muito argilosos apresentam uma alta TIB.

O Espodosolo Humilúvico (perfil AM-09) apresenta uma grande redução da Kfs no horizonte B espódico em relação à Kfs dos horizontes suprajacentes.

O método do permeâmetro de poço para estimativa da Kfs em solos muito argilosos pode apresentar valores subestimados causados por uma compactação ou selamento de poros (espelhamento) das paredes na escavação do poço.

São necessários estudos para a recomendação do fator estrutural (parâmetro *alpha*) para o cálculo da Kfs pelo método do poço para os diferentes tipos de estruturas e de classes de solo do Brasil.

É de grande interesse que, em perfis com alta densidade de parâmetros edáficos estudados, como nas RCCs, a TIB e a Ks sejam incorporadas na rotina das avaliações.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Finep/CT-Agro/FNDCT (Convênio 01.22.0081.00, Ref. 1218/21) para o projeto PronaSolos: rede para o avanço científico e tecnológico aplicado às múltiplas funcionalidades do solo para o desenvolvimento agroambiental do Brasil.

O pesquisador Wenceslau Geraldes Teixeira agradece o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa nível 2.

Referências

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300013>.

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grão de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p. 275-282, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000200015>.

AMOOZEGAR, A.; WARRICK, A. W. Hydraulic conductivity of saturated soils: field methods. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis, part 1, physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy : Soil Science Society of America, 1986. p. 735-770. (Agronomy, 9).

ASSIS, R. L. de; LANÇAS, K. P. Avaliação de atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000400004>.

BAGARELLO, V.; GIORDANO, G. Comparison of procedures to estimate steady flow rate in field measurement of saturated hydraulic conductivity by the guelph permeameter method. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 74, n. 1, p. 63-71, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0437>.

BAGARELLO, V.; SGROI, A. Using the simplified falling head technique to detect temporal changes in field-saturated hydraulic conductivity at the surface of a sandy loam soil. **Soil and Tillage Research**, v. 94, n. 2, p. 283-294, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.08.001>.

BORKOWSKI, J. P. **Infiltração de água em solos sob uso agrícola e pousio no estado do Amapá**. 2021. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Irrigação e Gestão de Recursos Hídricos) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Macapá, 2021.

COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C. C.; ARAUJO, F. O.; SANTOS, H. G.; SANTOS, M. L. M.; PÉREZ, D. V.; MOREIRA, F. M. S. **Levantamento pedológico de uma área-piloto relacionada ao Projeto BiosBrasil** (Conservation and Sustainable Management of Below-Ground Biodiversity: Phase I), Município de Benjamin Constant (AM): janela 6. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 68). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/855546>. Acesso em: 25 jan. 2025.

CORRÊA, J. C. Características físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso (typic Acrorthox) do Estado do Amazonas, sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 12, p. 1381-1387, 1985. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/978981/1/16391713421SM.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2025.

CORRÊA, J. C. Limites de consistência de solos da Amazônia Central e sua importância agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 6, p. 917-921, jun. 1982. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1119459/1/15946698291SM1.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2025.

CORREIA, F. V.; MERCANTE, F. M.; FABRÍCIO, A. C.; CAMPOS, T. M. P. de; VARGAS JÚNIOR, E. A.; LANGENBACH, T. Infiltração de atrazina em Latossolo submetido aos sistemas de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 11, p. 1617-1625, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001100014>.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D.; TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. **Ground Water Monitoring**, v. 9, n. 3, p. 184-193, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-6592.1989.tb01162.x>.

FABIAN, A. J.; OTTONI FILHO, T. B. Determinação de curvas de infiltração usando uma câmara de fluxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 2, p. 325-333, 1997.

HILLEL, D. **Environmental soil physics: fundamentals, applications, and environmental considerations**. Oxford: Elsevier Science, 1998. 771 p.

JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; BATCHELOR, W. D.; HUNT, L. A.; WILKENS, P. W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A. J.; RITCHIE, J. T. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n. 3-4, p. 235-265, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/s1161-0301(02)00107-7).

JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. **Soil physics**. New York: John Wiley and Sons, 1991.

LEAL, I. F. **Classificação e mapeamento físico-hídricos de solos do assentamento agrícola Sebastião Lan II, Silva Jardim – RJ**. 2011. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

LUMBRERAS, J. F. **Regime hídrico do solo sob cobertura de floresta e de eucalipto na pré-amazônia maranhense**. 1996. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1996.

MARQUES, J. D. de O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F.; BATISTA, S. M.; AFONSO, M. A. C. B. Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins. **Acta Amazônica**, v. 40, n. 1, p. 1-12, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672010000100001>.

MARQUES, J. D. de O.; LIBARDI, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região Amazônica. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 2, p. 145-154, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000200002>.

MARTINS, A. L. S. da; TEIXEIRA, W. G.; SHINZATO, E.; SILVA, M. B.; FERREIRA, R. V.; GONÇALVES, R. V. Estimativa de recarga da água subterrânea na ilha de São Luís-MA: análise de uma série temporal de 27 anos. In: WORKSHOP DE SIMULAÇÃO DE FLUXOS DE ÁGUA E SOLUTOS NO SOLO, 2022, Rio de Janeiro. **Simulação de fluxos de água e solutos no solo**. Rio de Janeiro: Ed. dos Autores, 2022. 61 p.

MEDINA, B. F.; LEITE, J. A. Influência de três sistemas de manejo e duas coberturas vegetais na infiltração de água em um Latossolo Amarelo em Manaus -AM. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 11, p. 1323-1331, 1985.

OLIVA, A.; KIANG, C. H.; CAETANO-CHANG, M. R. Determinação da condutividade hidráulica da Formação Rio Claro: análise comparativa através de análise granulométrica e ensaios com permeâmetro de Guelph e Testes de Slug. **Águas Subterrâneas**, v. 19, n. 2, p. 1-17, 2005. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v19i2.8223>.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; RODRIGUES, T. E.; VALENTE, M. A.; SILVA, J. M. L. **Caracterização físico-hídrica de quatro perfis de solos da região da Transamazônica, trecho Altamira-Itaituba**. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1998. 29 p. (Embrapa-CPATU. Boletim de pesquisa, 206).

OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de; VALENTE, M. A.; RODRIGUES, T. E. **Caracterização físico-hídrica de solos do sudeste paraense**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 35 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa, 20).

OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; VALENTE, M. A.; RODRIGUES, T. E.; SILVA, J. M. L. **Caracterização físico-hídrica de cinco perfis de solos do nordeste paraense**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 1997. 27 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de pesquisa, 177).

OTTONI, M. V.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. H. dos; PIMENTEL, L. G.; SOUZA, L. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; MELO, V. F.; CAVALIERI-POLIZELI, K. M. V.; REICHERT, J. M.; VIANA, J. H. M.; FONTANA, A.; MEDRADO, L. de C.; SANTOS, G. G.; AMARAL, L. G. H. do; ANJOS, L. H. C. dos; ARAUJO FILHO, J. C. de; BHERING, S. B.; BRITO, G. F. de; VALLE, P. G. de C. do; CAMPOS, P. N.; COSTA, A. M. da; MARQUES, J. D. de O.; MARTINS, A. L. da S.; NASCIMENTO, M. B. de S. do; NORONHA, N. C.; OLIVEIRA, R. D. de; PORTELA, J. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, M. B. e; RODRIGUES, S.; ALMEIDA, W. S. de; MORAES, M. L. de; CURI, N. Saturated hydraulic conductivity and steady-state infiltration rate database for Brazilian soils. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 49, e0240003, 2025.

PACHEPSKY, Y.; GIMÉNEZ, D.; LILLY, A.; NEMES, A. Promises of hydropedology. *CABI Reviews*, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20083040>.

PREVEDELLO, C. L.; ARMINDO, R. A. **Física do solo com problemas resolvidos**. 2. ed. rev. e ampl. Curitiba: C. L. Prevedello, 2015. 474 p.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E.; CLOTHIER, B. E. The constant head well permeameter: effect of unsaturated flow. **Soil Science**, v. 139, p. 172-180, 1985.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E.; YOUNGS, E. G. Ring or cylinder infiltrometers (vadose zone). In: DANE, J.; TOPP, G. C. (ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: SSA Book, 2002. p. 818-843.

RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; SILVA, J. M. L.; VALENTE, M. A.; CAPECHE, C. L. **Caracterização físico hídrica dos principais solos da Amazônia legal: I. Estado do Pará. Relatório técnico**. Belém, PA: EMBRAPA-SNLCS: FAO, 1991. 236 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. dos; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SCHERPINSKI, C.; URIBE-OPAZO, M. A.; VILAS BOAS, M. A.; SAMPAIO, S. C.; JOHANN, J. A. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 7-13, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.959>.

SOIL MOISTURE. **Guelph permeameter model 2800 (User manual)**. Santa Barbara: Soil Moisture Equipment Corporation, 2008. 55 p.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF. (Washington, DC). **Soil survey manual**. Washington: USDA, 2017. 603 p. (USDA. Handbook, 18).

SOUZA, Z. M.; LEITE, J. A.; BEUTLER, A. N. Comportamento de atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob agroecossistemas do Amazonas. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p. 654-662, set./dez. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162004000300017>.

TEIXEIRA, W. G. **Land use effects on soil physical and hydraulic properties of a clayey ferralsol in the Central Amazon**. 2001. 268 f. Tese (Doutorado) – Universitat Bayreuth, Bayreuth, 2001.

TEIXEIRA, W. G.; ARRUDA, W.; SHINZATO, E.; MACEDO, R. S.; MARTINS, G. C.; LIMA, H. N.; RODRIGUES, T. E. Solos. In: MAIA, M. A. M.; MARMOS, J. L. **Geodiversidade do Estado do Amazonas**. Manaus: CPRM, 2010. cap. 6, p. 71-86.

TEIXEIRA, W. G.; OTTONI, M. V.; ARMINDO, R. A.; MARTINS, A. L. S.; LUMBRERAS, J. F.; SILVA, A. C. da; FERREIRA, R. V.; SHINZATO, E. Estimativas e avaliação da velocidade de infiltração e da condutividade hidráulica saturada em solos do estado do Maranhão. In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de. (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. cap. 15.

TEIXEIRA, W. G.; SCHROTH, G.; MARQUES, J. D.; HUWE, B. Unsaturated soil hydraulic conductivity in the Central Amazon: field evaluations. In: TEIXEIRA, W. G.; CEDDIA, M. B.; OTTONI, M. V.; DONAGEMMA, G. K. (ed.). **Application of soil physics in environmental analyses: measuring, modelling and data integration**. New York: Springer International Publishing, 2014. p. 283-305.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G. Soil hydraulic properties and van Genuchten parameters for an oxisol under pasture in central Amazonia. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (ed.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley & Sons, 1996. p. 101-124.

VIEIRA, S. R.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Spatial relationships between soil water content and hydraulic conductivity in a highly structured Clay Soils. In: TEIXEIRA, W. G.; CEDDIA, M. B.; OTTONI, M. V.; DONAGEMMA, G. K. (ed.). **Application of soil physics in environmental analyses: measuring, modelling and data integration**. Heidelberg: Springer International Publishing, 2014. p. 75-90.

WARRICK, A. W. Spatial variability. In: HILLEL, D. (ed.). **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. p. 655-675.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p. 319-344.

WOODING, R. A. Steady infiltration from a shallow circular pond. **Water Resources Research**, v. 4, n. 6, p. 1259-1273, 1968. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR004i006p01259>.