

**Avaliação da condutividade hidráulica na zona não saturada do solo na
bacia hidrográfica do igarapé sapucajuba (Belém-Pa)****Evaluation of hydraulic conductivity in the non-saturated soil region in the
hydrographic basin of sapucajuba creek (Belém-Pa)**

DOI:10.34117/bjdv5n7-098

Recebimento dos originais:20/06/2019

Aceitação para publicação: 04/07/2019

Giovanni Chaves Penner

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo
Universidade Federal do Pará
R. Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, Brasil, 66075-110
E-mail: gpenner@gmail.com

Erica do Socorro da Silva Casanova

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará
Universidade Federal do Pará
R. Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, Brasil, 66075-110
E-mail: ericacasanovass@gmail.com

Moisés Marçal Gonçalves

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará
Universidade Federal do Pará
R. Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, Brasil, 66075-110
E-mail: moisesg9410@gmail.com.

Rubens Takeji Aoki Araújo Martins

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Pará
Universidade Federal do Pará
R. Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, Brasil, 66075-110
E-mail: rubensmartins10@gmail.com.

Igor Campos da Silva Cavalcante

Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do
Pará
Universidade Federal do Pará
R. Augusto Corrêa, 1 - Guamá, Belém - PA, Brasil, 66075-110
E-mail: eng.igorcampos@gmail.com

RESUMO

A capacidade de infiltração está diretamente ligada ao armazenamento e recarga nos aquíferos livres, sendo neste trabalho determinada a condutividade hidráulica na zona não saturado do solo na Bacia Hidrográfica do Igarapé Sapucajuba. Os resultados foram obtidos utilizando-se o método de campo sugerido pela ABGE. Tal método consiste na perfuração do solo com

auxílio de uma cavadeira manual, seguida pela saturação do furo com água e então registrados os níveis de rebaixamento da água ao longo do tempo. Com os resultados dos ensaios de campo foi determinada uma condutividade hidráulica média (média geométrica) de $7,21 \cdot 10^{-5}$ cm/s. Os trabalhos de campo foram conduzidos no período das maiores precipitações, assim favorecendo saturação do solo e o equilíbrio da taxa de infiltração. A aplicação do método forneceu resultados de condutividade hidráulica compatíveis com a literatura e com o tipo de solo da bacia em tela.

Palavras-Chave – Condutividade hidráulica não saturada; Taxa de infiltração.

ABSTRACT

Storage and recharge in the shallow aquifers area directly related with infiltration rate. In Sapucajuba creek catchment the hydraulic conductivity of the unsaturated soil was estimated. The results were obtained using the field method suggested by ABGE. This method consists of drilling the soil with a hand excavator, followed by saturation of the hole with water and then recording the levels of water relegation over time. With the results were determined an average permeability (geometric mean) of the $7,21 \cdot 10^{-5}$ cm/s. Because of soil saturation and the equilibrium infiltration rate, fieldwork was conducted in the highest precipitation time. The hydraulic conductivity results are compatible with the literature and soil type.

Keywords – Hydraulic conductivity unsaturated; Infiltration rate.

1 INTRODUÇÃO

A infiltração de água no solo acontece naturalmente, em geral, é um processo com carga hidráulica variável, da água precipitada em um evento chuvoso tem um percentual que infiltra e percola e outra parcela que escoo superficialmente após o solo atingir a saturação. O conhecimento da parcela infiltrada está têm diversas aplicações, como, balanço hídrico, recarga de aquíferos, escoamento superficial e outras. Conhecendo-se a taxa de infiltração é possível atuar no controle de enchentes, na drenagem superficial e na gestão dos usos da água, onde a condutividade hidráulica é a principal grandeza que controla o processo de infiltração e movimentação da água, pois indica o quão facilmente a água se desloca.

A condutividade hidráulica é uma grandeza que depende de características do meio físico como porosidade, tamanho, arranjo e forma das partículas, bem como das propriedades do fluido, como viscosidade e massa específica (FEITOSA *et al.*, 2008). A determinação da condutividade hidráulica (K) pode ser feita em ensaios de campo ou de laboratório. Os ensaios de campo são os mais frequentes, pois apresentam uma boa representatividade para o local de estudo e menor custo de operação.

Na zona saturada do solo, a condutividade hidráulica depende em grande parte da forma e continuidade do sistema poroso, apresentando variabilidade de um ponto para outro, e pode diferir também nas distintas orientações do solo. A condutividade hidráulica na

condição saturada é mais dependente, portanto, da estrutura do que da textura do solo e, ao se elevar o grau de agregação de um solo, o valor dela aumenta. (GONÇALVES *et al.*, 2013).

Este trabalho visou avaliar a condutividade hidráulica média do solo da zona não saturada para a bacia do Igarapé Sapucajuba, realizando-se ensaios de campo onde foi acompanhado o rebaixamento do nível da água em função do tempo até que a taxa de infiltração, controlada pela condutividade hidráulica (K), sofra a menor variação em função do tempo (t) e atinja o regime permanente ou estado estacionário.

2 SÍNTESE DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como dito, a condutividade hidráulica é a propriedade que o solo possui de permitir o escoamento da água, para se determinar a condutividade hidráulica é utilizada a lei experimental de Darcy. A equação de Darcy estabelece que a quantidade de água que passa por unidade de tempo e de área pelo meio poroso saturado é proporcional ao gradiente de potencial (gradiente hidráulico) total da água nesse meio (GONÇALVES e LIBARDI, 2013)

A Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), em 1996, padronizou os ensaios de rebaixamento, também denominado ensaios de infiltração a nível (carga) variável em solo saturado conforme descrito na **Figura 1**.

Os parâmetros dispostos para o ensaio são: condutividade hidráulica (K), rebaixamento do nível de água (ΔH), variação do tempo (Δt), profundidade do poço (H), raio do poço (r) e parâmetro proposto por Ródio SA (i , 1960), de acordo com a **Equação 1**.

$$k = \frac{\Delta H}{\Delta t} * \frac{1}{i * \left(\frac{2*H}{r} - 1\right)} \quad (\text{Equação 1})$$

Para o ensaio devem ser adotados a profundidade do furo (H) entre 0,20 a 0,30 m e para o parâmetro i variando de 3 a 5 (parâmetro adimensional).

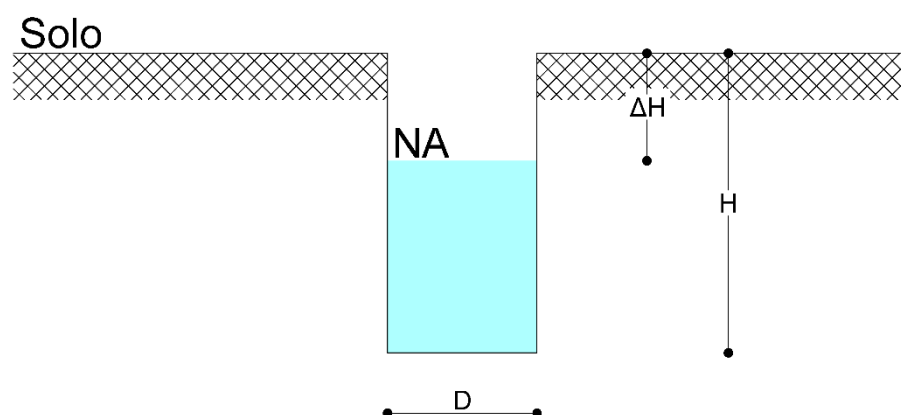


Figura 1 - Ensaio ABGE (1996)

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Igarapé do Sapucajuba possui extensão de 1,08 km² e está localizada na cidade de Belém-PA, com boa parte inserida na área da Saúde do Campus Saúde da Universidade Federal do Pará. O referido deságua no Rio Guamá, que de acordo com a maré inverte o sentido do escoamento.

Em visitas de campo observou-se que a nascente do Igarapé Sapucajuba é diretamente impactada pela intensa urbanização ao longo da Avenida Perimetral (Belém-PA), ver **Figura 2**, que despejam os efluentes domésticos diretamente no Igarapé (ALMEIDA e PENNER, 2017).

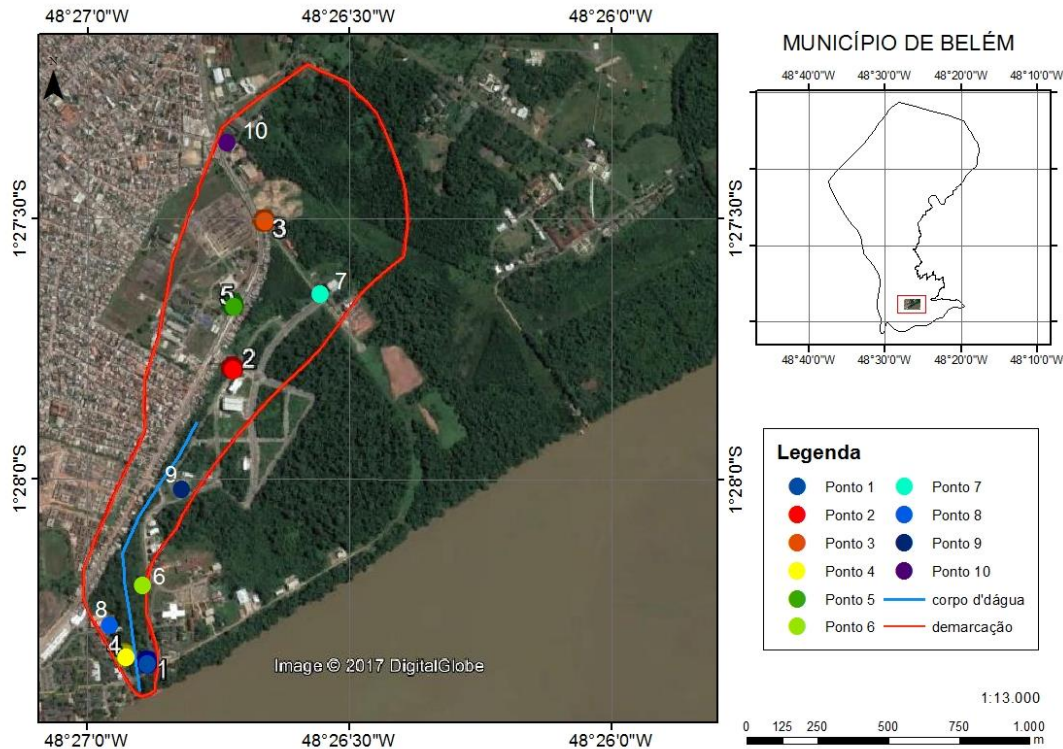


Figura 2 – Localização da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Sapucajuba. Fonte: Almeida e Penner (2017)

Ao longo da Bacia Hidrográfica do Igarapé Sapucajuba foram selecionados 10 pontos para os ensaios. Os pontos 1, 2, 4, 6, 7, 8 e 9 foram realizados dentro da área da Saúde localizado na Universidade Federal do Pará e às margens do Sapucajuba. Os pontos 3, 5 e 10 foram realizados na Avenida Perimetral, sendo que o ponto 5 ficou dentro da faixa de servidão da linha de transmissão da empresa ELETRONORTE e o ponto 10 na entrada da Universidade Federal Rural da Amazônia. A **Tabela 1** apresenta as coordenadas dos pontos de ensaio.

Coordenadas UTM (Datum: WGS 84)

Pontos	Coordenadas (metros)	
	X	Y
1	783965,69	9837072,34
2	784266,91	9838116,94
3	784378,85	9838639,29
4	783885,30	9837097,02
5	784267,16	9838341,30
6	783959,77	9837305,92
7	784588,91	9838405,47
8	783832,83	9837201,57
9	784062,24	9837653,10
10	784252,35	9838912,96

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 PROCEDIMENTO DO ENSAIO DE CAMPO

Os ensaios de rebaixamento foram realizados sazonalmente no período chuvoso, o que é favorável, pois como o ensaio precisa da saturação inicial do solo e o período chuvoso contribui nesse aspecto.

Cada um dos 10 furos de sondagem usados em campo possuía 17cm de diâmetro e uma profundidade de 30 cm, profundidade máxima definida pela ABGE (1996). O solo foi saturado introduzindo água até o preenchimento de cada furo e mantendo-se o nível d'água constante por intervalo de tempo definido. Os tempos de umedecimento inicial recomendados variam de acordo com cada autor. Seguindo as recomendações propostas pela ABGE, saturou-se os furos por 10 minutos com carga constante.

Após 10 min assumiu-se que o solo no entorno do furo está saturado, interrompeu-se o fornecimento de água. E imediatamente deu-se início a cronometragem do rebaixamento do nível d'água. Medindo-se com uma régua, o nível d'água ao longo do tempo, as medições foram anotadas até que a taxa de infiltração ficasse invariável. Na **Figura 3** é possível ver a organização experimental em campo.

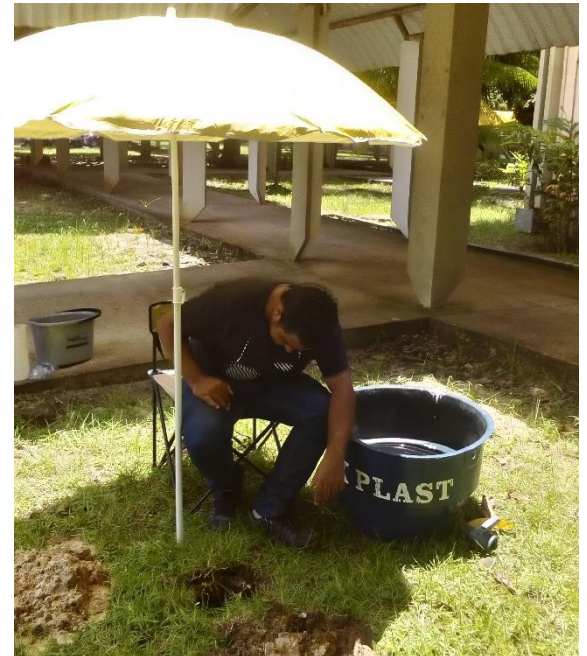


Figura 3 - Procedimento de ensaio em campo. Fonte: Autores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram obtidos através do método proposto pela ABGE (1996), os cálculos apresentados na **Tabela 2**, a seguir, tiveram resultados coerentes com o solo da região estudada. Para os dez pontos obteve-se os seguintes dados:

Pontos	ΔH (cm)	Δt (seg)	H (cm)	r (cm)	i	K (cm/s)
01	2,4	2400	30	8,5	5	3,301E-05
02	4	2400	30	8,5	5	5,502E-05
03	4,4	2700	30	8,5	5	5,379E-05
04	13,7	2820	30	8,5	5	1,604E-04

05	3,2	2400	30	8,5	5	4,40E-05
06	5,1	2400	30	8,5	5	7,015E-05
07	7	2400	30	8,5	5	9,628E-05
08	3,5	2400	30	8,5	5	4,814E-05
09	11,4	2400	30	8,5	5	1,568E-04
10	7,9	2400	30	8,5	5	1,087E-04

Tabela 2 - Dados para condutividade Hidráulica. Fonte: Autores.

Pelos resultados obtidos nos ensaios de infiltração observou-se que a penetração da água depende muito de parâmetros como o tipo e a compactação do solo. Tais condições são controladas para diversos empreendimentos, como: aterro sanitários, fundações, estradas, entre outros. Visando essas diversas possibilidades foi proposto uma tabela classificando o tipo de material presente no solo a partir de sua condutividade hidráulica (MELO e TEIXEIRA, 1967).

Para os ensaios realizados na bacia hidrográfica do Sapucajuba conseguiu-se, a partir a condutividade hidráulica, caracterizar o tipo de solo predominante na região e também avaliar possíveis modificações geradas pela pavimentação e drenagem da Avenida Perimetral,

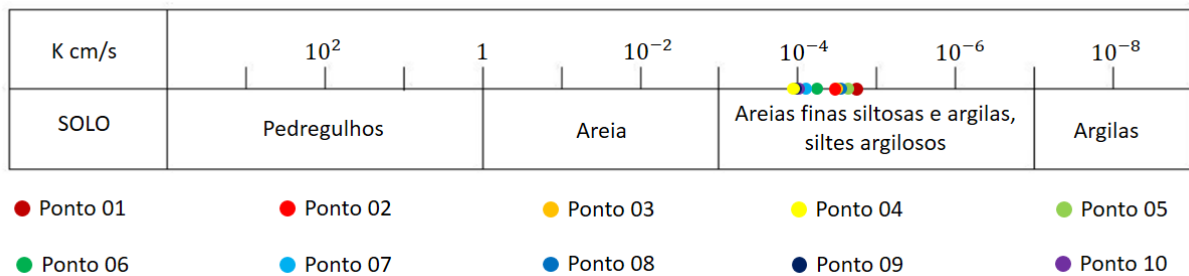


Figura 4 – Caracterização do Solo nos pontos estudados. Fonte: Autores

conforme ilustrado na **Figura 4**.

Na **Figura 4** identificou-se que a predominância do solo é de *areia finas siltosas e argilas* ou *siltes argilosos* cujo a ordem de grandeza é de 10^{-5} , essa avaliação foi diagnosticada para os furos 1, 2, 3, 5, 6, 7 e 8. No **Gráfico 1** percebe-se que apenas o ponto 1 teve comportamento distinto, sugerindo que a saturação inicial não foi suficiente para atingir o equilíbrio desde o início do ensaio. Tal fato aponta um solo menos permeável, portanto com maior predomínio de um solo siltoso e/ou argiloso. Ainda observando o **Gráfico 1**, comparando com os valores de condutividade hidráulica calculados, nota-se que o ponto 4 apresentou uma condutividade hidráulica, $K = 1,604 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$, sendo o solo mais permeável em relação aos demais.

As diferenças no comportamento identificada no **Gráfico 1** para os pontos decorrem de vários fatores, a saber. Para os pontos 2, 3, 4, 5, 8 e 9 que tiveram comportamentos similares a uma reta, provavelmente deve-se ao fato de o solo já está saturado devido ao período chuvoso, somado a um solo mais arenoso, obteve-se uma taxa de infiltração constante em relação ao tempo e alcançando mais rapidamente a estabilidade. Todavia, o ponto 1 teve um comportamento mais singular, gerando uma curva, isso decorrente do fato de ser em uma área onde o solo é mais siltoso e/ou argiloso e como é maior a dificuldade de penetração da água, alcançando mais lentamente a estabilidade mesmo com a saturação inicial das águas de chuva e fica mais evidente ao analisar a condutividade hidráulica encontra para o ponto 1 de $3,301 \cdot 10^{-5}$ cm/s.

Para os pontos 6, 7 e 10 obteve-se o comportamento similar ao ponto 1 gerando uma curva, entretanto, não alcançando o regime permanente muito em virtude desses pontos terem uma taxa de infiltração maior sendo mais arenosos em relação ao ponto 1 mesmo possuindo a mesma ordem de grandeza de 10^{-5} com exceção do ponto 10 que possui ordem de grandeza de 10^{-4} . A condutividade hidráulica média obtida para o Sapucajuba foi de $7,21 \cdot 10^{-5}$ cm/s, para a determinação da média foi utilizada a média geométrica por apresentar melhor representativa espacial para a condutividade hidráulica.

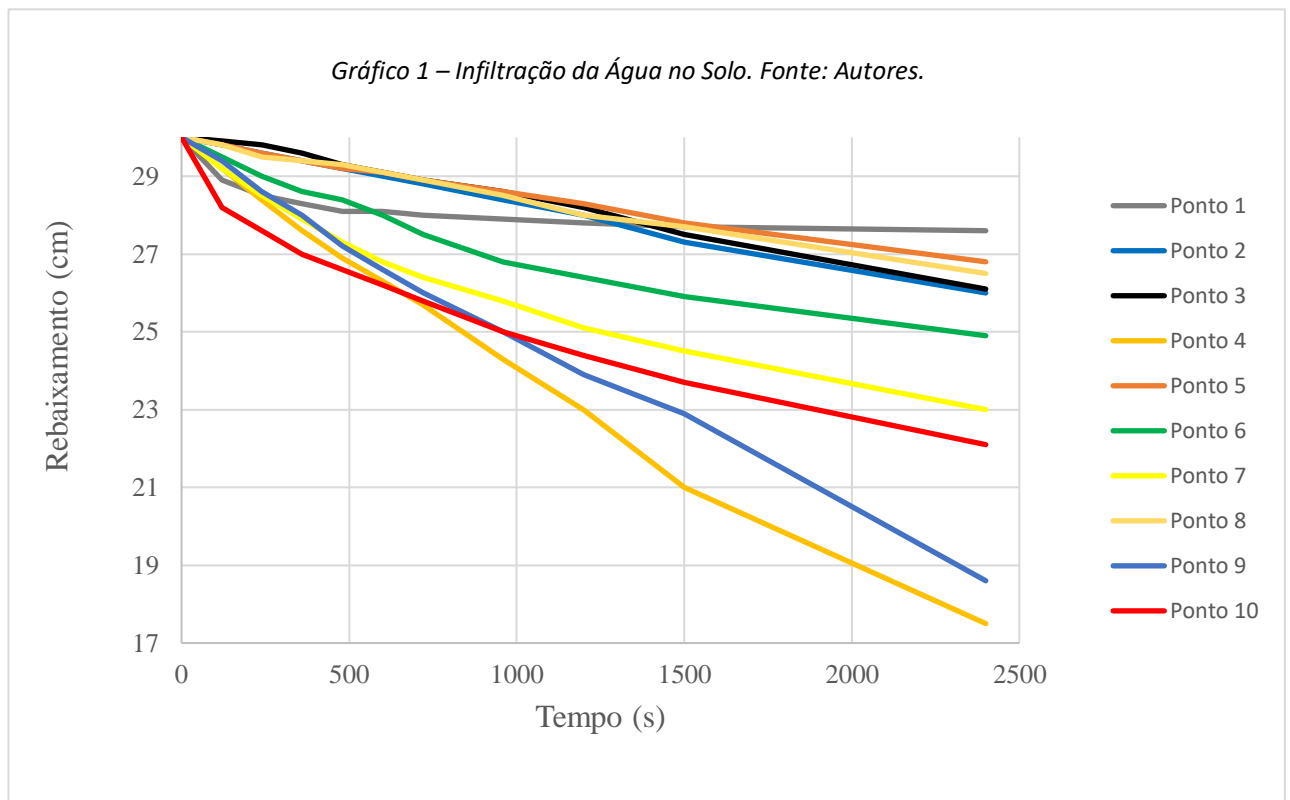
Como a Avenida Perimetral cruza a bacia hidrográfica do Igarapé Sapucajuba em parte da sua extensão, certamente ocorreu alteração do solo original natural. O sistema de drenagem urbana da região também gerou uma nova contribuição para o escoamento superficial e talvez até para a recarga do aquífero livre pela alteração do solo, e conseqüentemente, na condutividade hidráulica. No gráfico abaixo nota-se o comportamento da taxa de infiltração dos pontos ao longo da bacia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação da taxa de infiltração e, conseqüentemente, da condutividade hidráulica do solo, a qual pode ser usada para caracterização do solo quanto à sua natureza, são informações importantes para gestão ambiental de eventuais obras civis e sanitárias, que alterem o uso e ocupação do solo.

Apesar de o estudo da condutividade hidráulica ser uma ferramenta útil na caracterização da bacia hidrográfica, também são necessários outros trabalhos combinados para caracterizar possíveis impactos gerados no curso d'água por um cenário atual e meios para que futuras mudanças na bacia hidrográfica possam ocasionar impactos mínimos.

O procedimento adotado em campo, proposto pela ABGE (1996), apresentou resultados satisfatórios e de fácil operacionalidade, além de um custo baixo em relações a



outros métodos, tanto ensaios a carga constante (em campo) ou procedimento feitos em laboratório. Os resultados encontrados para a condutividade hidráulica auxiliaram a confirmação do tipo de solo predominante nos diferentes pontos considerados ao longo da bacia hidrográfica do Igarapé Sapucajuba.

A condutividade hidráulica média encontrada foi de $7,21 \cdot 10^{-5}$ cm/s e a partir dela classificou-se o tipo de solo predominante como: *areia finas siltsosas e argilas ou siltes argilosos*. Tal constatação confirma que o solo da bacia em tela é predominantemente arenoso.

A taxa de infiltração ora obtida na bacia do Igarapé Sapucajuba pode ser usada para nortear outros trabalhos, como: recarga de aquífero, balanço hídrico e escoamento superficial, dentre outros.

REFERÊNCIAS

ABGE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Ensaio de Permeabilidade em Solos: Orientações para sua execução no campo**. São Paulo, 1996.

ABGE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Ensaio de Permeabilidade em Solos: Orientações para sua execução no campo**. São Paulo, 2013.

ALMEIDA, I. R.; PENNER, G. C. **Caracterização física da bacia do igarapé Sapucajuba**. 2017. 29º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Aceito para publicação.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988;

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3ª Ed Revisada e Ampliada. P. 77-91. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

GOMES, T.A.T; COSTA, K.S. **Estudo do coeficiente de permeabilidade em ensaios de poço pelo padrão ABGE: complexo alcalino carbonatítico do barreiro (cacb)**. Araxá-MG.

GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. **Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo**. R. Bras. Ci. Solo. V.37: 1174 – 1184, Viçosa, set./out, 2013.

MELLO, V. F. B; TEIXEIRA, A. H. **Mecânica de Solos**. São Carlos: Escola de Engenharia, 1967.

MERCADANTE, R. **Avaliação da condutividade hidráulica do solo por meio do ensaio de rebaixamento variando o diâmetro do furo.** 2014. 35p. Universidade Católica de Brasília;

MESQUITA, M. G.B. F; MORAES, S. O. **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo.** Ciência Rural, Santa Maria, n.3, 2004, p. 963-969.

MANNICH, M; GUETTER, A.K. **Erros Numéricos da Equação de Richards Utilizando o Método dos Volumes Finitos.** Universidade Federal do Paraná, 2011.

VASCONCELLOS, C.A.B; AMORIN, J.C.C. **Simulação numérica de infiltração de água em meios porosos não-saturados homogêneos.** Instituto Militar de Engenharia – Departamento de Engenharia e Fortificação e Construção.