

DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA PELO MÉTODO DO POÇO SECO

Oswaldo Palma Lopes Sobrinho¹, Stephanie Soares Arriero², Laís Monique Gomes do Ó², Aline Bezerra de Sousa², Mardja Luma da Silva Sales², Evellyn Freire da Silva², Andrezza Grasielly Costa², Gerlange Soares da Silva², Álvaro Itaúna Schalcher Pereira³

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, GO, Brasil. E-mail: oswaldopalma@hotmail.com

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

³Departamento de Ensino, Professor Doutor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Codó, MA, Brasil. E-mail: alvaro.pereira@ifma.edu.br

Resumo: Este trabalho teve por objetivo determinar a condutividade hidráulica (K_0) saturada pelo método do poço seco. O experimento foi conduzido nas mediações do Núcleo de Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, localizado no município de Cruz das Almas-BA. Para avaliações da condutividade saturada em campo, utilizou-se o método de Porchet, que consiste em abrir um orifício no solo, enchê-lo parcialmente de água e medir a velocidade de rebaixamento do nível da água. Com o auxílio de um trado foi aberto um furo no solo, em cada ponto de amostragem, na profundidade de 0,40 m. Nesse espaço aberto, foi mantida uma altura constante de água, até que a infiltração se tornasse constante. Observou-se que a vazão não conseguiu se estabilizar ao longo do experimento. Os resultados de K_0 determinada pelo método do poço seco variaram bastantes, com valores de 2,17 cm/h a 40,59 cm/h, apresentando-se uma média de 15,9 cm/h. Os valores de K_0 para ambos os pontos de observação 1 e 2 foram classificados como rápidas, com valores bem próximos, variando entre 15,9 cm/h a 15,86 cm/h.

Palavras-chave: Porchet, drenagem, lençol freático.

INTRODUÇÃO

A condutividade hidráulica (K_0) do solo é uma propriedade que expressa à facilidade com que a água nele se movimenta, sendo de extrema importância ao uso agrícola e, conseqüentemente, à produção das culturas e à preservação do solo e do ambiente. Conforme Gaspar (2006), a sua avaliação é realizada através do coeficiente de permeabilidade, que pode ser determinado diretamente através de ensaios de campo e laboratório. Esta propriedade é controlada pela porosidade, estrutura e granulometria dos solos (GONÇALVES; LIBARDI, 2013).

A K_0 é o principal parâmetro que determina a sua capacidade de drenagem. Assim sendo, a sua determinação é de importância para o dimensionamento dos sistemas de drenagem. Ferreira (2002), afirma que a K_0 é de grande importância na caracterização de meios porosos em permeáveis ou condutivos (baixa resistência à passagem de água), semipermeáveis (média resistência) e pouco permeáveis (alta resistência hidráulica), quando seus valores resultam altos, médios e baixos. Dessa forma, o autor relata ainda que, a K_0 está

presente em todas as equações ou teorias de drenagem empregadas no cálculo do espaçamento de drenos.

A K_0 está ligada a um coeficiente de proporcionalidade da equação de Darcy, que é utilizada para determinar o movimento de fluidos em meio poroso. No solo, expressa a facilidade com a qual a água se movimenta no perfil (GUERRA, 2000).

A determinação de K_0 pode ser realizada através de métodos de laboratório e de campo, em que os de laboratório mais usuais, têm-se o permeâmetro de carga constante e o de carga variável. No campo, destacam-se os métodos que usam o princípio do fluxo contínuo, como o furo de trado, também chamado de poço, e os de fluxo constante.

Este trabalho teve por objetivo determinar a K_0 saturada pelo método do poço seco.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido nas mediações do Núcleo de Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, localizado no município de Cruz das Almas-BA, com as coordenadas 39°06'26 latitudes sul e 12°40'39" longitude oeste (Figura 1).

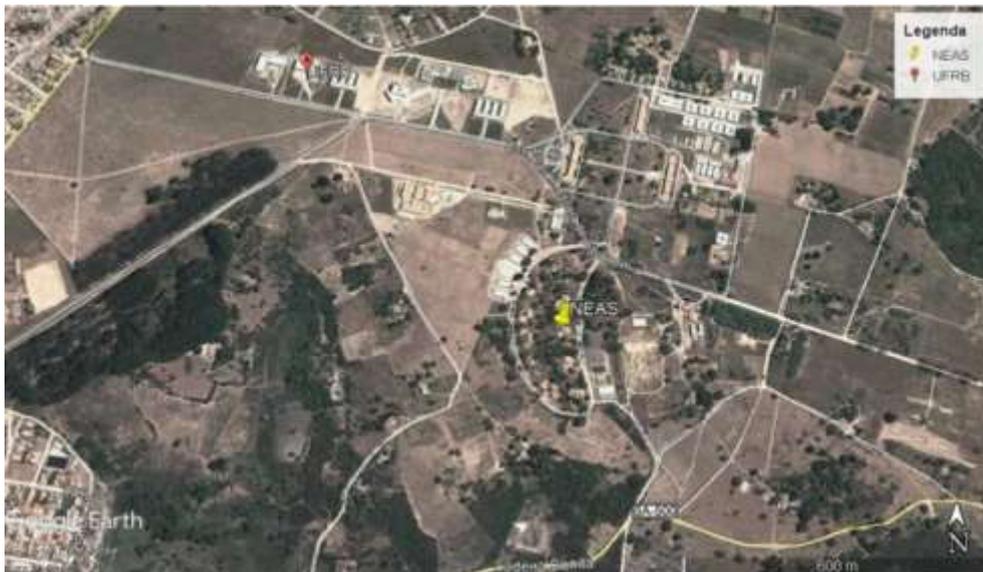


Figura 1. Local onde o experimento foi realizado.

Fonte: *Google Earth* (2017).

O ensaio consiste em montar uma estrutura em campo com um reservatório cheio de água, com mangueiras ligadas a um buraco no solo em comunicação entre o reservatório e o tubo plástico, mantendo-se todos no mesmo nível. Sendo de fundamental importância que todas as conexões deverão estar bem vedadas com a entrada de ar apenas em um orifício no tubo plástico (Figura 2 A, B, C e D).

Na K_0 em meio saturado as medições devem permanecer até que o meio sature e o fluxo de água do tanque pare ou permaneça constante. O aspecto negativo deste ensaio é o grande volume de água e a exigência de um longo período para as avaliações até que estabilize e fique em condições de equilíbrio.



Figura 2. Observação do nível na água o tubo; (B) tubo seco; (C) reservatório de água; (D) condução da água até o buraco no solo.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Af, ou seja, clima quente, com o mês mais frio com temperatura superior a 18 °C e o mais seco com precipitação igual ou superior a 60 mm. De acordo com Guimarães et al. (2016), a precipitação média anual é de 1170 mm com variações entre 800 e 1400 mm, sendo os meses de março a agosto os mais chuvosos e de setembro a fevereiro, os mais secos. A temperatura média anual do ar é de 24,5 °C e a umidade relativa do ar é de 80% (RESENDE, 2004).

Conforme Souza; Souza (2001) o solo da área experimental é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso.

O tempo necessário para que o ensaio fique em condições de equilíbrio vai depender das características física do solo e da capacidade de retenção de água do solo, os de K_0 foram determinado pela equação 1.

$$K_0 = \left(\frac{\left[\ln\left(\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r}\right)^2 - 1}\right) - 1 \right] \vartheta}{2\pi h^2} \right) \quad [1]$$

Em que:

K_0 = condutividade hidráulica ($\text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$);

h = altura da água no poço (cm);

r = raio do poço (cm);

ϑ = consumo de água ou vazão após a infiltração se estabilizar ($\text{cm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$);

t_u = distância vertical entre o nível da água no poço e a camada impermeável (cm), isto é, $t_u = W - D + h$, onde, W é a profundidade da camada impermeável e D a profundidade total do poço.

Para as avaliações da K_0 em campo, utilizou-se o método de Porchet (Inverso de Auger – Role) que consiste em abrir um orifício no solo, enchê-lo parcialmente de água e medir a velocidade de rebaixamento do nível da água. Com o auxílio de um trado foi aberto um furo no solo, em cada ponto de amostragem, na profundidade de 0,40 m. Nesse espaço aberto, foi mantida uma altura constante de água, até que a infiltração se tornasse constante.

Utilizou-se um cilindro repositivo de água com capacidade de 200 litros (Figura 3A), equipado com uma escala numerada para leitura direta do consumo de água e mangueira reabastecedora e termômetro (Figura 3B).



Figura 3 A) Vista do túnel reabastecedor de 200 L, juntamente com o frasco de Mariott de acrílico e B) Furo no solo com a mangueira reabastecedora e termômetro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados na Tabela 1 mostram os intervalos de tempo relativo a cada medição de altura (Δt) em minutos e horas, variação de volume em litros (ΔV), vazão em $\text{cm}^3 \cdot \text{hora}$ (Q) e K_0 em $\text{cm} \cdot \text{hora}$ e $\text{mm} \cdot \text{hora}$ K_0 , para o ponto de observação 1.

Vale ressaltar que 1 cm no túnel corresponde a 2,18 L, o diâmetro do furo é 5 cm, a altura do furo de 40 cm, h é 10 e a altura no frasco de Mariotte com um valor de 30 cm.

Tabela 1: Leituras pelo método do poço seco no cálculo da K_0 no ponto 1.

Data	Tempo	Altura (cm)	Δ altura (cm)	Δt (min)	Δt (h)	ΔV (L)	$\Delta (h+h_1)$ cm	Q cm^3/hora	K_0 (cm.hora)	K_0 mm/hora
05/out	08:50	36.8	2.8	5	0.08	6.10	53.00	73248	40.59	405.91
05/out	08:55	36.4	0.4	5	0.08	0.87	53.00	10464	5.80	57.99
05/out	09:00	37.5	1.1	5	0.08	2.40	53.00	28776	15.95	159.46
05/out	09:05	39.9	2.4	5	0.08	5.23	53.00	62784	34.79	347.92
05/out	09:10	39	0.9	5	0.08	1.96	53.00	23544	13.05	130.47
05/out	09:15	41.6	2.6	5	0.08	5.67	53.00	68016	37.69	376.91

05/out	09:25	43.8	2.2	10	0.17	4.80	53.00	28776	15.95	159.46
05/out	09:35	45.9	2.1	10	0.17	4.58	53.00	27468	15.22	152.22
05/out	09:45	46.2	0.3	10	0.17	0.65	53.00	3924	2.17	21.75
05/out	09:55	48.5	2.3	10	0.17	5.01	53.00	30084	16.67	166.71
05/out	10:05	50.9	2.4	10	0.17	5.23	53.00	31392	17.40	173.96
05/out	10:15	51.3	0.4	10	0.17	0.87	53.00	5232	2.90	28.99
05/out	10:25	53.8	2.5	10	0.17	5.45	53.00	32700	18.12	181.21
05/out	10:40	55.5	1.7	15	0.25	3.71	53.00	14824	8.21	82.15
05/out	10:55	57.4	1.9	15	0.25	4.14	53.00	16568	9.18	91.81
05/out	11:25	60.1	2.7	30	0.50	5.89	53.00	11772	6.52	65.24
05/out	11:55	64.3	4.2	30	0.50	9.16	53.00	18312	10.15	101.48

A classificação da K_0 em meio saturado é recomendado por Freire (2003) (Tabela 2).

Tabela 2: Classificação da K_0 em meio saturado em cm h^{-1} .

Classificação	Intervalo
Muito lenta	<0,125
Lenta	0,125 – 0,5
Moderadamente lenta	0,5 – 2,0
Moderada	2,0 – 6,25
Moderadamente rápida	6,25 – 12,5
Rápida	12,5 – 25
Muito rápida	>25

Ainda de acordo com a Tabela 1 e a 2 de classificação da K_0 , observa-se que a vazão não conseguiu se estabilizar ao longo do experimento. Os resultados de K_0 determinada pelo método do poço seco variaram bastantes, com valores de 2,17 cm/h a 40,59 cm/h , apresentando uma média de 15,9 cm/h . Assim sendo, a K_0 pode ser classificada como muito rápida. Resultados que corroboram com esta pesquisa foram encontrados por Cauduro; Dorfman; Santaló (1986), em que a K_0 foi classificada como moderadamente rápida a muito rápida.

Pereira et al. (2015), em ensaio conduzido no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da UFC, em Fortaleza, CE, obtiveram valor de K_0 saturada de 0.015251 cm h^{-1} , ou seja, 0.00366 m dia^{-1} utilizando o permeâmetro de carga constante.

A K_0 do solo saturado é de fundamental importância para a solução de problemas que envolvem a irrigação e drenagem. Pode ser influenciada por muitos fatores, dentro os quais a proporção de micro e macroporos, assim como a umidade do solo. Essas relações podem gerar coeficientes de variação altos. Independente do caso analisado, deve-se considerar que o solo representa um sistema formado por poros contínuos e, qualquer interrupção nessa continuidade, poderá causar alterações nas medidas obtidas.

Lopes Sobrinho et al. (2018), em experimento conduzido na EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, município de Cruz das Almas-BA e utilizando-se o método Auger-Hole

obtiveram valores de K_0 variando entre 0,24821 a 0,28544 m dia⁻¹, com média de 0,26835 m dia⁻¹, sendo classificada como lenta.

Oliveira et al. (1995), trabalhando com Latossolo Roxo Distrófico por atenuação de raios gama e tensiometria, obtiveram maiores valores da K_0 medida no campo, quando comparados com os valores de laboratório. Os métodos de determinação da K_0 apresentaram valores distintos, tanto para os experimentos de campo como para os de laboratório.

Rosa et al. (2013), relatam que os erros estimados da condutividade hidráulica foram reduzidos para 6 a 7,1 m/dia para os subgrupos de praia, 3,4 a 7,1 m/dia para subgrupos de dunas e 2,2 a 11 m/dia para subgrupos de sedimentos offshore. Foram feitas melhorias para ambientes fluviais, mas ainda produziram grandes erros entre 13 e 23 m/dia.

A Tabela 3 é possível visualizar os resultados de intervalos de tempo relativo a cada medição de altura (Δt) em minutos e horas, variação de volume em litros (ΔV), vazão em cm³.hora (Q) e K_0 em cm.hora e mm.hora (Ko), para o ponto de observação 2.

Tabela 3: Leituras pelo método do poço seco no cálculo da K_0 no ponto 2.

Data	Tempo	Altura (cm)	Δ altura (cm)	Δt (min)	Δt (h)	ΔV (L)	Δ (h+h1) cm	Q cm ³ /hora	Ko (cm.hora)	Ko mm/hora
05/out	13:35	42.2	2.2	5	0.083	4.8	50.0	57552	31.89	318.93
05/out	13:40	43.2	1	5	0.083	2.2	50.0	26160	14.50	144.97
05/out	13:45	45.9	2.7	5	0.083	5.9	50.0	70632	39.14	391.41
05/out	13:50	46.8	0.9	5	0.083	2.0	50.0	23544	13.05	130.47
05/out	13:55	47.5	0.7	5	0.083	1.5	50.0	18312	10.15	101.48
05/out	14:00	48.3	0.8	5	0.083	1.7	50.0	20928	11.60	115.97
05/out	14:10	51.1	2.8	10	0.167	6.1	50.0	36624	20.30	202.95
05/out	14:20	52.9	1.8	10	0.167	3.9	50.0	23544	13.05	130.47
05/out	14:30	53.8	0.9	10	0.167	2.0	50.0	11772	6.52	65.24
05/out	14:45	55.8	2	15	0.250	4.4	50.0	17440	9.66	96.64
05/out	15:00	58.15	2.35	15	0.250	5.1	50.0	20492	11.36	113.56
05/out	15:30	61	2.85	15	0.250	6.2	50.0	24852	13.77	137.72
05/out	15:45	63.5	2.5	15	0.250	5.5	50.0	21800	12.08	120.81
05/out	16:00	66.6	3.1	15	0.250	6.8	50.0	27032	14.98	149.80

Na Tabela 3, observa-se que os valores de K_0 para o ponto de observação 2, também obtiveram variações, com valores de 6,56 cm/h a 39,14 cm/h, com uma média de 15,86 cm/h. Nesse contexto, a K_0 está classificada também como rápida, levando-se em consideração a classificação de Freire (2003).

Sakellariou-Makrantonakia et al. (2016), obteve o valor da condutividade hidráulica na saturação (K_s) de $K = 93$ cm/h e a taxa de fluxo à saturação foi $Q_s = 43,8$ cm³/min.

Resultados divergentes a este trabalho foram encontrados por Moraes e Santos (2015), com o objetivo de comparar o método de permeâmetro de carga constante e método do poço

seco em cinco áreas diferentes de várzeas do cerrado, observou-se que, os dois métodos houve uma aproximação em apenas uma área, não podendo ser substituídos entre si.

Resultados semelhantes foram encontrados por Gondim et al. (2017), onde constaram que o solo analisado está classificado em K_0 saturada moderadamente rápida.

Resultados divergentes quando comparados a esta pesquisa foram encontrados por Trevisan et al. (2009) quando trabalharam com um Latossolo Vermelho de textura argilosa na Região de Piracicaba-SP, onde classificaram a K_0 como lenta a moderada.

Valores semelhantes a esta pesquisa foram encontrados por Marques et al. (2008), que indicam a K_0 para solo Latossolos arenosos como moderada a rápida.

CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi realizado é possível concluir que os valores de K_0 para ambos os pontos de observação 1 e 2 utilizando o método de poço seco foram classificados como rápida, com valores de K_0 , com valores bem próximos variando entre 15,9 cm/h a 15,86 cm/h. O método do poço seco se mostrou prático, rápido, seguro e de fácil manuseio, com exigência de materiais simples que estão disponíveis para o produtor.

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Pesquisa cadastrado no Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) em Alimentos, Química, Agronomia e Recursos Hídricos.

REFERÊNCIAS

CAUDURO, F.A., DORFMAN, R.; SANTALÓ, J.B.; 1986. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI: IPH-UFRGS, 216p.

FERREIRA, A.P. **Drenagem de terras agrícolas**. Viçosa: UFV, 2002. 209p.

FREIRE, M. B. G. et al. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.** [online]. 2003, vol.7, n.1, p. 45-52.

GASPAR, M. T. G. **Sistema Aquífero Urucua: caracterização regional e propostas de gestão**. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade de Brasília, Instituto de Geociências. Brasília, 2006. 158 p.

GONCALVES, A. D. M. de A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. 2013, vol.37, n.5, pp.1174-1184. ISSN 1806-9657. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000500007>.

GOOGLE EARTH. **Área experimental do NEAS-UFRB**. 2017. Disponível em: <https://earth.google.com/web/> Acesso em: 12 de dez. de 2017.

GONDIM FILHO, H.; PEREIRA, M.M.; COSTA, J.A.; MOURA, R.S.; VASCONCELOS R.S.; SANTOS, K.S.; Determinação da condutividade hidráulica pelo método de Auger Role. **Anais... do INOVAGRI**. Fortaleza-CE. 2017.

GUERRA, H. O. C. **Física dos Solos**. Campina Grande: UFCG, 2000. 173p.

GUIMARÃES, M. J. M.; LOPES, I.; OLDONI, H.; COELHO FILHO, M. A. Balanço hídrico para diferentes regimes pluviométricos na região de Cruz das Almas-BA. **Revista de Ciências Agrárias (Belém)**, v. 59, p. 252-258, 2016.

LOPES SOBRINHO, O. P.; ARRIERO, S. S. ; SILVA, G. S. ; SOUSA, A. B. ; PEREIRA, A. I. S. Determination of Hydraulic Conductivity by the Auger-Hole Method. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, p. 91-95, 2018.

MARQUES, J.D.; 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**, 34(2):145-154. 2008.

SAKELLARIOU-MAKRANTONAKIA, M.; ANGELAKIA, A.; EVANGELIDESB, C.; BOTAA, V.; TSIANOUA, E. FLOROSA, N.; Experimental determination of hydraulic conductivity at unsaturated soil column. **Procedia Engineering** - 162 (2016) 83 – 90. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.11.019.

MORAES, I.L.A.; SANTOS, E.H.M.; Comparação de métodos de determinação para condutividade hidráulica. XXV CONIRD – Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. **Anais... 2015**. UFS - São Cristóvão/SE.

OLIVEIRA, J.C.M.; REICHARDT, K.; APPOLONI, CR.; SOUZA, A.D.B.; COSTA A.C.S. Determinação da condutividade hidráulica do Latossolo Roxo Distrófico por atenuação de raios gama e tensiometria. **Semina: Ci. Exatas/Tecnológicas**, Londrina, v. 16, n. 4, p. 550-553, dez. 1995.

PEREIRA, M.M.; SILVA, N.D.; OLIVEIRA, F.E.R.; VIANA, P.C.; LIMA, R.N.; LIMA, J.G.A. Determinação da condutividade hidráulica saturada em um permeâmetro de carga constante. XXV CONIRD – Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. **Anais... XXV CONIRD**. UFS - São Cristóvão/SE. 2015.

REZENDE, J. O. **Recôncavo Baiano, berço da Universidade Federal segunda da Bahia: passado, presente e futuro**. Salvador: P&A, 2004. 194 p.

ROSAS, J.; LOPEZ, O.; MISSIMER, T. M.; COULIBALY, K. M.; DEHWAH, A. H.A.; SESLER, K.; LUJAN, L. R.; MANTILLA, D. (2014). Determination of Hydraulic

Conductivity from Grain-Size Distribution for Different Depositional Environments. **Groundwater**, 52: 399–413. doi:10.1111/gwat.12078.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D. Caracterização físico-hídrica de solos da área do Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura Tropical, Cruz das Almas, Bahia. **Boletim de Pesquisa: EMBRAPA/CNPMP**, n. 20. 56 p., Cruz das Almas, 2001.

TREVISAN, R.; SALEMI, L.F.; MORAES, J.M. de; OLIVEIRA, J.C.M.; Condutividade hidráulica do solo saturado na zona vadosa in situ e em laboratório. **Irriga**, v. 14, n. 3, p. 413-422. 2009.