

DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DE CAMPO EM SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS UTILIZANDO O MÉTODO DO PERMEÂMETRO IAC

Conductivity Saturated Hydraulic Field Determination
in Soils with Different Textures Using the Method of IAC
Permeameter

Cauê Bielschowsky¹;
Ana Carolina Barbosa²;
Luana Alves³ e
Gerson Cardoso da Silva Junior²

¹ INEA- Instituto Estadual do Ambiente ;
² Departamento de Geologia/ Universidade
Federal do Rio de Janeiro- UFRJ
³ Universidade do Estado do Rio de Janeiro-
UERJ/LABGIS

Resumo

A determinação das propriedades hidráulicas do solo é essencial para a caracterização e avaliação adequada do meio ambiente físico. A condutividade hidráulica [LT^{-1}], que pode ser correlacionada com a permeabilidade [L^2], é uma dessas propriedades fundamentais na descrição dos processos de fluxo da água subterrânea no solo. O valor da condutividade hidráulica depende em sua maior medida da textura do solo, como a granulometria, o que conduz à necessidade de se utilizar métodos de campo, que em geral requerem maior esforço experimental. Um dos métodos de campo mais utilizados atualmente é o Permeômetro IAC (Permeômetro de Guelph Modificado), elaborado pelo Instituto Agrônomo de Campinas – IAC/SP, que determina o valor da condutividade hidráulica saturada de campo K_{fs} [LT^{-1}]. Este método é realizado na zona vadosa em uma sonda de pequeno diâmetro e profundidade e consiste na mensuração da vazão sob carga constante. O objetivo do presente trabalho consiste na determinação da condutividade hidráulica de campo através do método do Permeômetro IAC para solos com diferentes granulometrias, desde areia grossa até argila, procurando estabelecer uma relação entre a textura do solo e a condutividade hidráulica saturada de campo. Para a análise granulométrica foi coletada uma amostra de solo em cada sonda utilizada pelo Permeômetro IAC correspondente ao horizonte ensaiado. Chegou-se a conclusão que o comportamento do fluxo das águas subterrâneas no solo está intimamente relacionado com a sua textura. Quanto maior a porcentagem das frações de argila e silte (finos) do solo, menor é o valor da condutividade hidráulica saturada de campo (K_{fs}) e maior é a variação dos resultados dos ensaios de campo. Ou seja, solos que possuem alta porcentagem de finos possuem comportamento heterogêneo de fluxo das águas subterrâneas, solos que possuem baixa porcentagem de finos possuem comportamento homogêneo de fluxo das águas subterrâneas. A metodologia empregada obtém melhores resultados quando empregada em solos com baixo teor de finos. O valor da condutividade hidráulica saturada

Correspondência:

Cauê Bielschowsky
INEA- Instituto Estadual do Ambiente - Rua
Fonseca Teles, 121, São Cristóvão, Rio de
Janeiro, RJ, CEP 20940-200, RJ, Brasil.
Email: caueb@inea.rj.gov.br

Recebido em abril de 2012
Aprovado em maio de 2012
Artigo disponível em
www.cadgeo.uff.br

de campo obtidos nos diferentes solos se mostrou compatível aos valores de condutividade hidráulica da literatura.

Palavras-chave: Água subterrânea, Condutividade hidráulica saturada de campo, Análise Granulometria, Permeâmetro IAC.

Abstract

The determination of hydraulic soil properties is essential for characterization and evaluation of the physical environment. The hydraulic conductivity [LT^{-1}], correlated to permeability [L^2], is one of these key properties in the description of the flux of the groundwater in the soil. The value of hydraulic conductivity depends at most of soil texture, as grain size, leading to use field methods, which usually require more experimental effort. One of the permeameter methods widely used on the field is the IAC permeameter (modified Guelph permeameter) that determines the value of field saturated hydraulic conductivity K_{fs} [LT^{-1}]. This method is performed in the vadose zone in an auger of small diameter and consists of measuring the flow rate at constant head. The objective of this study is to determine the hydraulic conductivity field through the IAC permeameter method for soils with different grain size from sand to clay, to establish a relationship between soil texture and field saturated hydraulic conductivity. The tests were conducted in four types of soils. Soils samples were collected for grain size analysis in each layer corresponding to the zone of IAC permeameter test. It was concluded that the behavior of groundwater flow in soil is closely related to its texture. Higher percentage of the clay and silt (fines) fractions in soil indicates lower values of field saturated hydraulic conductivity (K_{fs}) and greater variation in the tests results. Soils that have high percentage of fines have a heterogeneous groundwater flow, soils that have a low percentage of fines have a homogeneous groundwater flow. The methodology gets best results when used on soils with low fines percentage. The values of the field saturated hydraulic conductivity obtained in different soils was compatible with the literature.

Keywords: Groundwater, Field saturated hydraulic conductivity, Granulometric analysis, IAC Permeameter.

INTRODUÇÃO

Nos estudos hidrogeológicos a obtenção das propriedades hidráulicas do solo é essencial para a caracterização adequada do meio físico. A condutividade hidráulica K [LT^{-1}], que pode ser correlacionada com a permeabilidade k [L^2], refere-se à facilidade da formação aquífera de exercer a função de um condutor hidráulico (Cabral, 2000), sendo uma propriedade chave na descrição dos processos de fluxo da água subterrânea.

O valor da condutividade hidráulica depende em sua maior medida da textura do solo, o que conduz à necessidade de se utilizar métodos de campo, que em geral requerem maior esforço experimental.

Um dos métodos de campo mais utilizados atualmente é o Permeâmetro IAC (Permeâmetro de Guelph Modificado) elaborado pelo Instituto Agronômico de Campinas – IAC/SP (Vieira, 1998; Reynolds e Elrick, 1983), e permite a determinação da condutividade hidráulica saturada de campo K_{fs} [LT^{-1}] na zona não saturada.

Este método é realizado em uma sondagem trada manualmente de pequeno diâmetro e consiste na mensuração da vazão sob uma carga constante. O sistema do tubo de Mariotte é utilizado para estabilizar e manter o nível d'água constante dentro da sondagem. A mensuração somente é considerada após o estabelecimento de uma condição de estado permanente. O valor da condutividade hidráulica saturada de campo pode ser obtido através da equação de uma altura de carga (Elrick *et al.*, 1989).

O objetivo do presente trabalho consiste na determinação da condutividade hidráulica de campo através do método do Permeômetro IAC para solos com diferentes granulometrias, desde areia grossa até argila, procurando estabelecer uma relação entre a textura do solo e a condutividade hidráulica saturada de campo, com a finalidade de contribuir significativamente na predição do comportamento de fluidos nos solos.

Pretende-se igualmente, indicar quando o Permeômetro IAC pode ser empregado, dependendo das características do solo, a fim de se escolher e empregar a ferramenta adequadamente em um projeto.

ÁREAS DE ESTUDO E TIPOS DE SOLOS

Foram realizados ensaios, no ano de 2005, em quatro áreas com os seguintes tipos de solo, classificados conforme Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006):

- Neossolo quartzarênico, de textura arenosa, composição predominante quartzosa, pouco compacto e sem presença de matéria orgânica, localizada no Campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro/RJ;

- Neossolo quartzarênico hidromórfico, de textura arenosa, contendo silte, composição quartzosa, pouco compacto e com presença de fragmentos orgânicos na parte superficial das sondagens, como raízes, localizada na Fazenda Ressacada da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis/SC;

- Argissolo vermelho, de textura areno siltosa, compacto e com presença de fragmentos orgânicos na parte superficial das sondagens, como raízes, localizado no Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica/RJ e

- Organossolo, de textura argilo silto arenosa, plástica, com abundante presença de fragmentos orgânicos na parte superficial das sondagens, como raízes, localizado na Fazenda Dubois, Santa Maria Madalena/RJ.

METODOLOGIA

Sumarizam-se a seguir os procedimentos empregados para a realização dos ensaios de permeabilidade (Bielschowsky, 2005):

Construção da sondagem – Na preparação da sondagem de ensaio foi utilizado um trado helicoidal bem afiado com 6 cm de diâmetro e perfurou-se entre a profundidade de 25 a 50 cm, ultrapassando o horizonte O do solo, visto que não se deseja que o ensaio seja realizado em camadas com heterogeneidades, como raízes e canais de bioturbações, evitando o escoamento preferencial e a super estimativa dos valores de K_{fs} . Aplica-se pouca pressão para baixo sobre o trado e tiram-se somente pequenas porções antes de enchê-lo. Nesta fase, deve-se cuidar do acabamento das paredes do furo e na base evitando o fechamento dos poros ou a compactação do solo por aplicação de uma força excessiva provocado pelo processo de tradagem. Após a escavação usa-se um trado limpador, para se evitar a compactação do fundo da sondagem. A compactação da sondagem resulta em baixos valores de K_{fs} , especialmente quando o solo é de textura fina e a umidade é alta.

Instalação do equipamento – Durante o posicionamento deve-se evitar golpear ou fragmentar as paredes e base do furo de sondagem. Para o procedimento de uma altura de carga (Elrick et al., 1989), se estabelece a altura da carga (H) constante correspondente ao único estágio. A altura desde a base do furo até a ponteira de ar determina a altura de carga constante de água como é mostrado na Figura 1. O levantamento da ponteira (imposição da altura de carga H) é controlado através de uma escala graduada desde 0 a 25 cm, no permeômetro. Nesta fase o maior cuidado deve ser tomado no levantamento da ponteira de ar para estabelecer a altura de

carga, este procedimento deve ser lentamente executado para evitar turbulência e, portanto erosão no furo de ensaio.

Procedimento de leitura – A medida é realizada imediatamente após o preparo da sondagem para prevenir possíveis alterações na característica desta. A taxa de fluxo é determinada pela leitura visual da queda do nível de água no reservatório graduado, em intervalos de tempo regulares R (cm/s). Quando a vazão (observada a partir de R) torna-se constante após três leituras consecutivas, pode-se dizer que o fluxo é constante ou chegou-se ao regime permanente (Figura 1).

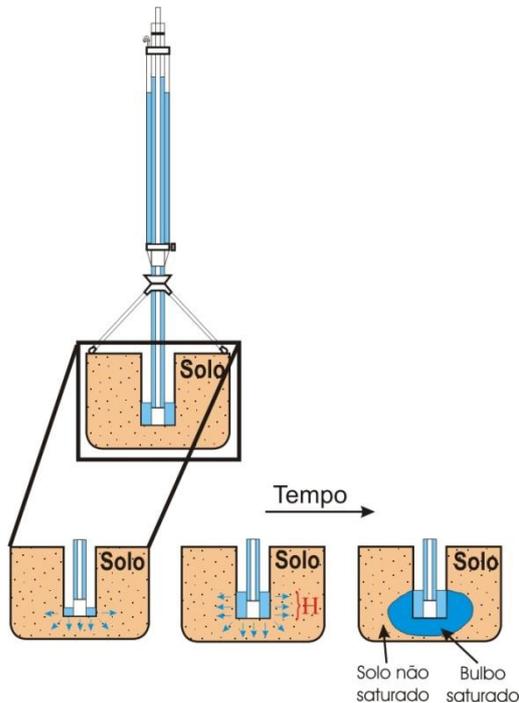


Figura 1. Obtenção do fluxo em regime permanente (modificado de Soto, 1999).

O tempo de duração de ensaio nos solos com granulometria mais grossa (5-10 min) foi consideravelmente menor que os de granulometria fina (30-40 min). Em alguns pontos dos locais de solos com alto teor de finos e com material compacto não foi possível a realização do ensaio, pois não houve variação do nível d'água no reservatório após algumas horas. Estes ensaios foram abandonados e desconsiderados.

Desta forma, pode-se entender que o tempo de ensaio é um fator limitante para o uso do Permeâmetro IAC em solos compactos e com muito teor de finos, onde esperam-se condutividades hidráulicas menores que 10^{-6} cm/s.

Determinação da vazão – A vazão Q (L^3T^{-1}) é determinada após a obtenção do fluxo em regime constante com a seguinte expressão (1):

$$Q = A \times R \quad (1)$$

Onde:

A é a área transversal do reservatório do permeâmetro (L^2) e

R é a razão de queda do nível de água (LT^{-1}).

Solução Analítica – O valor da condutividade hidráulica saturada de campo pode ser obtido através da equação (2) do método de uma altura de carga (Elrick et al., 1989):

$$K_{fs} = \frac{CQ}{\left(2\pi H^2 + \pi a^2 C + 2\pi \frac{H}{\alpha}\right)} \quad (2)$$

Onde:

Q_s é a vazão constante (L^3T^{-1});

H é a carga fixa de água na sondagem (L);

K_{fs} é a condutividade hidráulica saturada de campo (LT^{-1});

a é o raio da sondagem (L);

C é um parâmetro de dimensão proporcional dependente da razão H/a , e é representado no gráfico da Figura 2. O valor do parâmetro α é obtido por uma estimativa visual da característica do material da área em uma das 4 categorias de média de poros como demonstrado na Tabela 1.

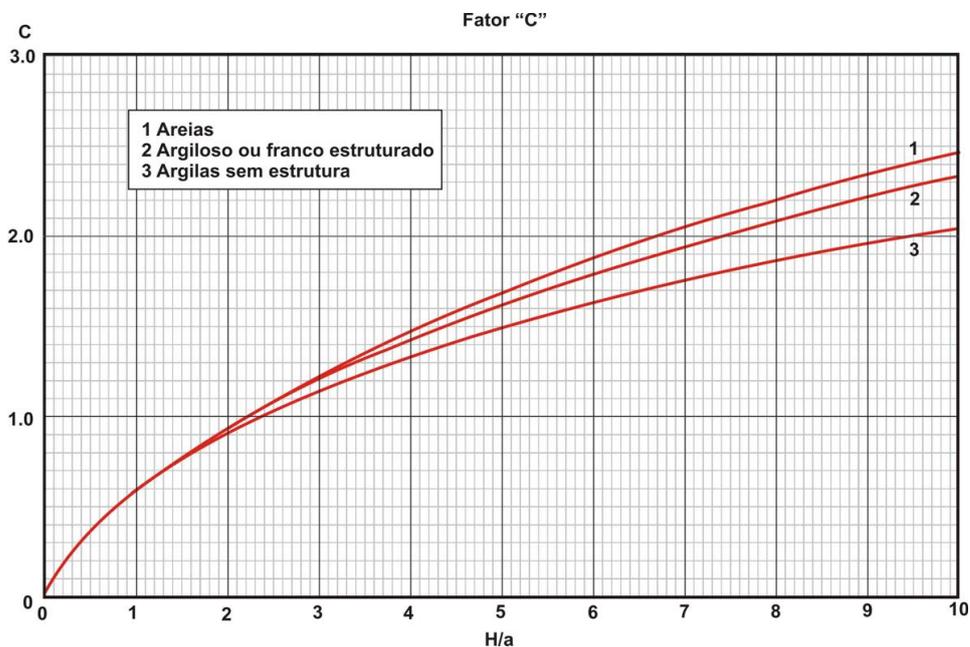


Figura 2. Variação do parâmetro C com a relação da carga aplicada (H) e o raio da sondagem (a) (Soilmoisture Equipment Corp., 1986).

Tabela 1. Valores de α de acordo com diferentes características dos solos ensaiados (Elrick et al., 1989).

Característica do meio poroso	Valor do parâmetro α correspondente [cm^{-1}]
Material argiloso compacto e estrutura como sedimentos marinhos	0,01
Solos com textura fina (argiloso) e sem estrutura	0,04
Solos estruturados argilosos e siltosos e também areias finas e solos razoavelmente estruturados	0,12
Areias grossas e cascalhos. Podem ser incluídos solos altamente estruturados com grandes fraturas e macroporos	0,36

Análise granulométrica de amostra de solo – Em cada área foram coletadas amostras de solos na sondagem e na profundidade correspondente ao horizonte mensurado pelo permeâmetro IAC. Apenas na Fazenda Ressacada (UFSC) foi considerada a amostra obtida pela perfuração de um poço estratigráfico referente à profundidade de 30 cm, que é a profundidade dos ensaios. Como este solo é extremamente homogêneo esta consideração não deve afetar a confiabilidade dos resultados.

As análises granulométricas das amostras do solo foram realizadas no Laboratório de Mecânica dos Solos do Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental do Departamento de Geologia (IGEO) da UFRJ segundo as normas técnicas do DNER-ME 051/94.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No Anexo A apresentam-se as curvas granulométricas obtidas para cada amostra. As curvas granulométricas indicaram que o neossolo quartzarênico hidromórfico, da Faz. Ressacada (UFSC), é predominantemente composto de areia fina com baixo teor de finos (silte + argila). O argilossolo vermelho, de Seropédica (UFFRJ), possui distribuição em todas frações granulométricas e um alto teor de finos. O organossolo, da Faz. Dubois (Santa Maria Madalena), também possui distribuição em todas as frações granulométricas, porém o teor de finos é mais elevado. E o neossolo quartzarênico, da Ilha do Fundão (UFRJ), apresenta distribuição na fração areia praticamente sem finos.

No Anexo B encontram-se as profundidades coletadas, os percentuais de cada fração granulométrica, os teores de finos (silte + argila), os valores obtidos da condutividade hidráulica saturada de campo (K_{fs}), e o valor do parâmetro α utilizado para o seu cálculo.

Nas amostras do neossolo quartzarênico (Ilha do Fundão – UFRJ) os teores de finos variaram entre 0.04 e 0.19%, e os valores de K_{fs} variaram entre 1.03×10^{-2} e 1.64×10^{-2} cm/s. No neossolo quartzarênico hidromórfico (Faz. Ressacada – UFSC) o teor de finos considerado foi de 6.87%, e os valores de K_{fs} variaram entre 1.62×10^{-3} e 7.31×10^{-3} cm/s. No argilossolo vermelho (Seropédica – UFFRJ) os teores de finos variaram entre 39.70 e 44.10%, e os valores de K_{fs} entre 1.35×10^{-6} e 1.47×10^{-5} cm/s. E no organossolo (Faz. Dubois – Santa Maria Madalena) o teor de finos variou entre 56.28 e 38.07%, e os valores de K_{fs} entre 1.45×10^{-5} e 3.43×10^{-6} cm/s.

Com base nestes resultados observa-se que os solos com baixo teor de finos obtiveram uma variação menor dos resultados de K_{fs} , os solos neossolo quartzarênico e neossolo quartzarênico hidromórfico obtiveram variações dentro da mesma ordem de grandeza, já os solos argilossolo vermelho e organossolo variaram entre duas ordens de grandeza.

A partir desta observação conclui-se que solos que possuem alta porcentagem de finos possuem comportamento heterogêneo de fluxo das águas subterrâneas, solos que possuem baixa porcentagem de finos possuem comportamento homogêneo de fluxo das águas subterrâneas.

Na Tabela 2 apresenta-se a média dos valores de teor de finos e da condutividade saturada de campo para cada solo.

Tabela 2. Média dos valores de teor de finos e da condutividade saturada de campo para cada solo.

Solos	Média de finos (%)	K_{fs} média (cm/s)
Neossolo quartzarênico	0.09	1.24×10^{-2}
Neossolo quartzarênico hidromórfico	6.87	3.51×10^{-3}
Argilossolo vermelho	40.83	1.35×10^{-5}
Organossolo	51.65	1.03×10^{-5}

No neossolo quartzarênico a média do teor de finos foi de 0.09% e a K_{fs} média de 1.24×10^{-2} cm/s. No neossolo quartzarênico hidromórfico o teor de finos considerado foi de 6.87% e a K_{fs} média de 3.51×10^{-3} cm/s. No argilossolo vermelho a média do teor de finos foi de 40.83% e a K_{fs} média de 1.35×10^{-5} cm/s. No organossolo a média do teor de finos foi de 51.65% e a K_{fs} média de 1.03×10^{-5} cm/s.

A partir destes dados foi elaborado o gráfico semilogarítmico de teor de finos (eixo normal) versus K_{fs} (eixo logarítmico) (Figura 3).

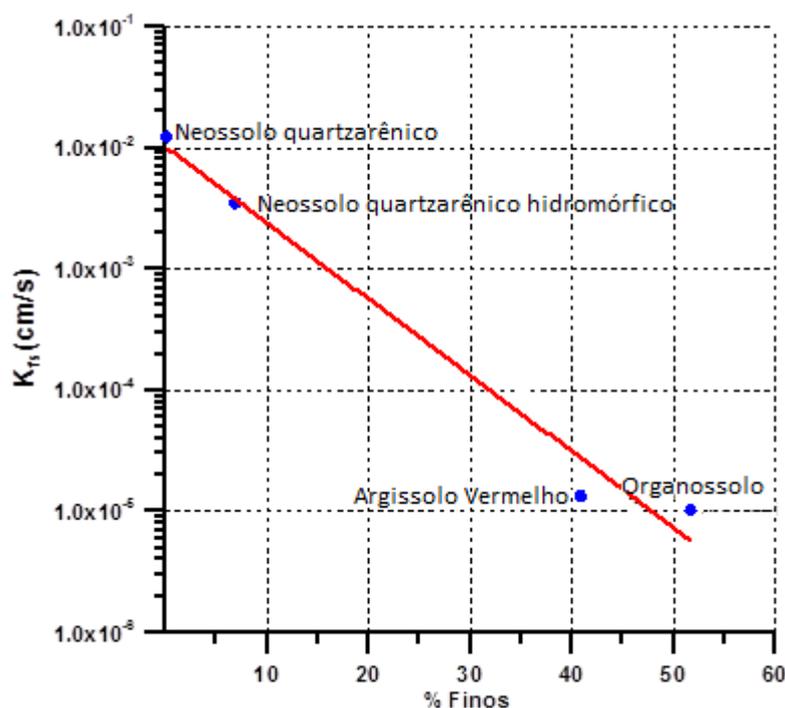


Figura 3. Gráfico da média do teor de finos versus a média de K_{fs} em cada área.

Através deste gráfico obteve-se uma relação entre os valores de K_{fs} e o teor de finos gerando uma reta de equação logarítmica (3):

$$\ln(Y) = -0.14 X - 4.58 \quad (3)$$

Onde:

$Y = K_{fs}$ (condutividade saturada de campo); e

$X =$ teor de finos (silte + argila).

Quanto maior a porcentagem das frações de argila e silte (finos) do solo, menor é o valor da condutividade saturada de campo (K_{fs}) e, como citado anteriormente, maior é a variação dos resultados dos ensaios de campo.

CONCLUSÕES

Na construção da sondagem deve-se ter cuidado para não se compactar a parede e o fundo da sondagem, assim como, é necessária a avaliação visual da sondagem na busca de heterogeneidades (raízes e canais de bioturbações).

O tempo de ensaio é um fator limitante para o uso do Permeâmetro IAC, principalmente em solos compactos e com muito teor de finos, onde esperam-se condutividades hidráulicas menores que 10^{-6} cm/s.

Neste estudo observou-se que o comportamento do fluxo das águas subterrâneas no solo está intimamente relacionado com a sua textura, como a granulometria.

Quanto maior a porcentagem das frações de argila e silte (finos) do solo, menor é o valor da condutividade saturada de campo (K_{fs}) e maior é a variação dos resultados dos ensaios de campo.

Solos que possuem alta porcentagem de finos possuem comportamento heterogêneo de fluxo das águas subterrâneas e solos que possuem baixa porcentagem de finos possuem comportamento homogêneo de fluxo das águas subterrâneas.

O Permeâmetro IAC obtém melhores resultados quando utilizado em solos com baixo teor de finos.

O valor da condutividade hidráulica saturada de campo obtidos nos diferentes solos se mostrou compatível aos valores de condutividade hidráulica da literatura.

Sugere-se uma continuidade da coleta de dados para que haja uma representatividade maior dos possíveis valores de condutividade hidráulica saturada de campo, aumentando a confiabilidade da predição do comportamento do fluxo das águas subterrâneas de solos com diferentes texturas.

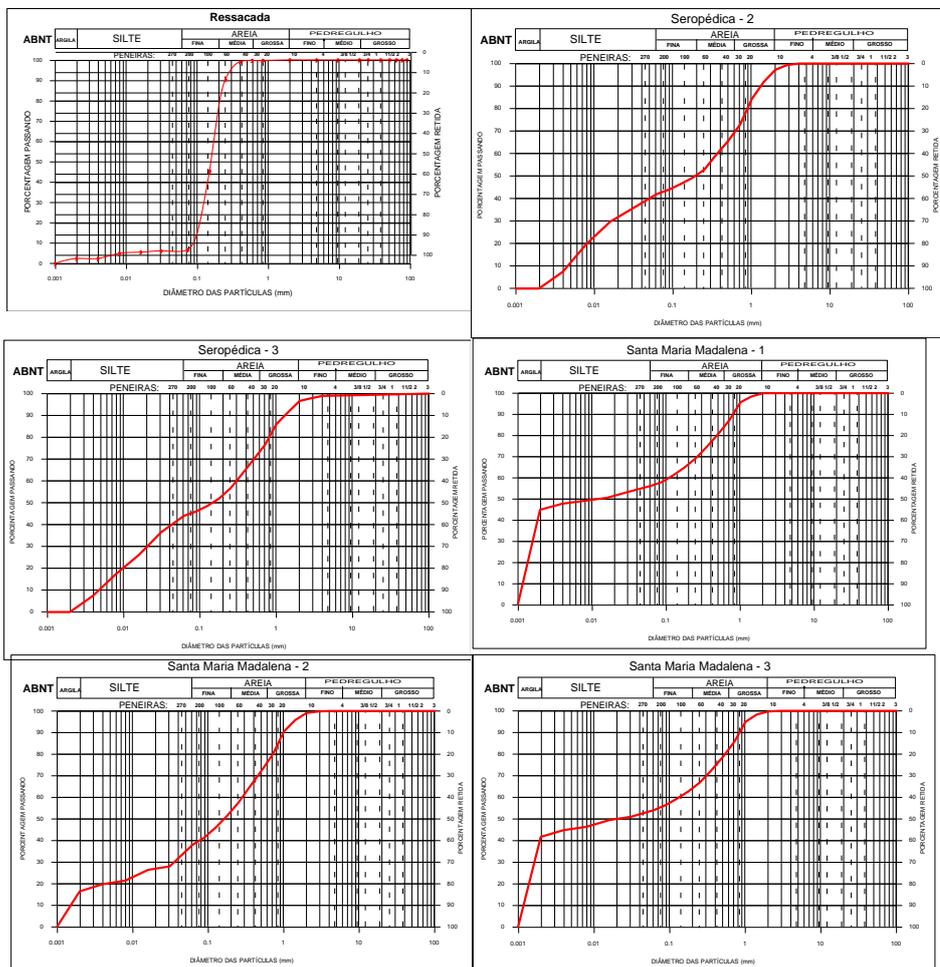
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIELSCHOWSKY, C. Aplicação e comparação de métodos de campo para estimativa da condutividade hidráulica do solo. 2005. 82p. Monografia. Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- CABRAL, J. Movimento das Águas Subterrâneas. In: FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. (coord). Hidrogeologia - conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. p. 35-51.
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGENS. DNER-ME 051/94. Análise Granulométrica. Método de Ensaio. Disponível em: <<http://ipr.dnit.gov.br/normas/DNER-ME051-94.pdf>>. Acesso em: 03 de fev. 2006.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2º. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.
- ELRICK, D.E.; REYNOLDS, W. D.; TAN, K.A., 1989. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. Groundwater Monitoring Review, vol. 9, pp. 184 - 193.

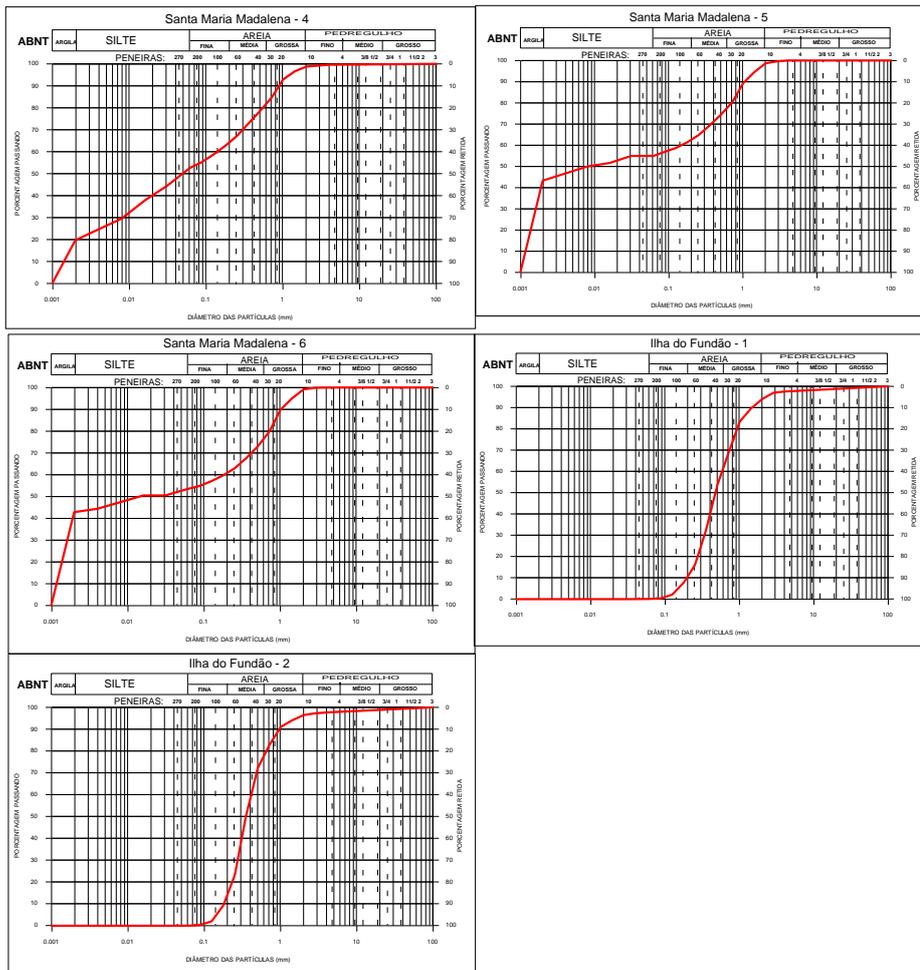
- REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. A reexamination of the constant head well permeameter method for measuring saturated hydraulic conductivity above the water table. *Soil Science*, vol. 136, nº4, 1983. pp.250 - 268.
- SOILMOISTURE EQUIPMENT CORP., 1986. Guelph Permeameter. Operating – Instructions, *Soilmoisture manual*, Rev. 8, pp. 1-25.
- SOTO, M.A.A. Estudo da Condutividade Hidráulica em Solos Não Saturados. 1999. 118p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade São Carlos, São Carlos, Brasil.
- VIEIRA, S. R. Permeâmetro: Novo aliado na avaliação de manejo do solo. *O Agrônomo*, n. 50, 1998. p.32-33.

ANEXO A

Curvas granulométricas dos solos analisados



Curvas granulométricas dos solos analisados



ANEXO B

Amostra	Prof(cm)	% Granulos (7,93-2,00mm)	% Areia Grossa (2,00-0,5 mm)	% Areia Média (0,5-0,25 mm)	% Areia Fina (0,25-0,062 mm)	% Silte (0,062-0,002 mm)	% Argila (<0,002 mm)	% finos	Kfs(cm/s)	α (cm ⁻¹)
Res1	36	0.00	0.00	0.87	92.26	4.37	2.50	6.87	1.62E-03	0.12
Res 2	31	0.00	0.00	0.87	92.26	4.37	2.50	6.87	1.62E-03	0.12
Res 3	37	0.00	0.00	0.87	92.26	4.37	2.50	6.87	2.23E-03	0.12
Res 4	35	0.00	0.00	0.87	92.26	4.37	2.50	6.87	4.48E-03	0.12
Res 5	30	0.00	0.00	0.87	92.26	4.37	2.50	6.87	5.29E-03	0.12
Res 6	34	0.00	0.00	0.87	92.26	4.37	2.50	6.87	7.31E-03	0.12
Res 7	30	0.00	0.00	0.87	92.26	4.37	2.50	6.87	2.03E-03	0.12
Ser 1	34	2.85	24.42	14.03	19.02	39.70	0.00	39.70	1.22E-05	0.01
Ser 2	38	2.74	31.69	12.70	10.90	41.97	0.00	41.97	1.47E-05	0.01
Ser 3	32	3.38	26.79	13.19	12.54	44.10	0.00	44.10	1.35E-06	0.01
SMM 1	50	0.06	19.22	11.37	13.08	11.26	45.02	56.28	1.37E-05	0.01
SMM 2	45	0.86	26.94	14.60	19.53	21.52	16.55	38.07	9.06E-06	0.01
SMM 3	45	0.31	21.05	11.70	12.76	12.38	41.80	54.18	1.45E-05	0.01
SMM 4	40	1.25	20.23	11.37	14.43	32.95	19.77	52.72	3.73E-06	0.01
SMM 5	50	1.30	24.25	9.64	9.77	11.68	43.36	55.04	9.71E-06	0.01
SMM 6	45	0.83	26.19	9.99	9.38	10.72	42.89	53.62	1.12E-05	0.01
IF 1	25	6.02	40.43	37.52	15.95	0.09	0.00	0.09	1.07E-02	0.12
IF 2	30	3.53	24.22	49.09	23.14	0.04	0.00	0.04	1.64E-02	0.12
IF 3	27	1.70	10.87	55.11	32.13	0.19	0.00	0.19	1.39E-02	0.12
IF 4	30	4.17	14.74	43.17	37.85	0.07	0.00	0.07	1.06E-02	0.12
IF 5	32	12.49	54.40	22.12	10.92	0.06	0.00	0.06	1.03E-02	0.12