TÍTULO

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE INFILTRABILIDADE DE ÁGUA EM SOLOS COMPACTADOS COM EQUIPAMENTO MINIATURA

ÓRGÃO

DIRETORIA DE ENGENHARIA

PALAVRAS-CHAVE

Ensaio de Solo.M. Proctor. Infiltrabilidade.

APROVAÇÃO	PROCESSO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

OBSERVAÇÕES

REVISÃO	DATA	DISCRIMINAÇÃO

MINUTA

Esta folha é de propriedade do DER/SP e seu conteúdo não pode ser copiado ou revelado a terceiros. A aprovação deste documento não exime o Emitente de sua responsabilidade.

ÍNDICE

1 OBJETIVO 3
2 DEFINIÇÕES 3
2.1 Infiltração 3
2.2 Coeficiente de infiltração 3
2.3 Velocidade de infiltração 3
2.4 Expansão por infiltração 3
2.5 Coeficiente de expansão de infiltração 3
3 APARELHAGEM E MATERIAIS 3
4 MONTAGEM DO EQUIPAMENTO 5
4.1 Nivelamento das bases 5
4.2 Instalação dos suportes 5
4.3 Aferição do tubo de vidro 5
5 AMOSTRA 5
6 ENSAIO 5
7 CÁLCULOS 7
7.1 Coeficiente de Infiltração ($\boldsymbol{Ki}$) 7
7.2 Velocidade e Infiltração ($\boldsymbol{Vi}$) 7
7.3 Expansão por Infiltração ($\boldsymbol{Ei}$) 8
8 REFERÊNCIAS 8
ANEXO A – DESENHOS 9
ANEXO B – FICHA DE ENSAIO 11

MINUTA

Esta folha é de propriedade do DER/SP e seu conteúdo não pode ser copiado ou revelado a terceiros. A aprovação deste documento não exime o Emitente de sua responsabilidade.

1 OBJETIVO

Este método apresenta os procedimentos para determinação dos coeficientes de infiltrabilidade de água vertical ascendente e sua velocidade de ascensão, em corpos de prova compactados dinamicamente em aparelho miniatura. Opcionalmente, pode fornecer a expansão da amostra pelo efeito da penetração de água.

2 DEFINIÇÕES

2.1 Infiltração

Processo de penetração de água pela superfície do solo.

2.2 Coeficiente de infiltração

Índice que expressa o volume de água por unidade de área que infiltra no solo.

2.3 Velocidade de infiltração

Velocidade da frente de umidade em corpo de prova não saturado.

2.4 Expansão por infiltração

Aumento do volume do corpo de prova ocasionado pela infiltração de água.

2.5 Coeficiente de expansão de infiltração

Índice de expansão definido pela relação entre o aumento na altura do corpo de prova, ocasionado pela penetração de água, e a altura inicial do corpo de prova.

3 APARELHAGEM E MATERIAIS

a) Base principal para determinação da infiltrabilidade vertical ascendente, confeccionada em madeira com revestimento melamínico ou material similar, nas dimensões aproximadas de 300 mm de largura, 1000 mm de comprimento e 150 mm de altura, composto por quatro pés com regulagem de nivelamento. Cinco escalas graduadas em milimetros fixadas (coladas) na superfície superior da mesa, em toda a extensão do comprimento, separadas com cerca de 50 mm entre elas (Anexo –A1). O início de todas as escalas deve ser posicionado de um único lado da base;

b) Base auxiliar, confeccionada em madeira com revestimento melamínico ou material similar, nas dimensões aproximadas de 250 mm de largura, 350 mm de comprimento e 120 mm de altura, composto por quatro pés com regulagem de nivelamento;

c) Tubo de vidro (vareta), com diâmetro interno de cerca de 5 mm e comprimento de 1200 a 1500 mm, fixados ao lado de cada escala milimetrada em toda a extensão do comprimento da base principal, conforme alínea a do item 3, deixando um excesso de tubo de cada lado com aproximadamente 40 mm;

d) Suporte de pedra porosa com reservatório, constituída de pedra porosa com 50 mm de diâmetro e 5 mm de espessura, fixada na borda de um tubo de PVC (de parede grossa)

MINUTA

Esta folha é de propriedade do DER/SP e seu conteúdo não pode ser copiado ou revelado a terceiros. A aprovação deste documento não exime o Emitente de sua responsabilidade.

de 2” de diâmetro por 35 mm (± 0,1 mm) e fechamento da outra extremidade do tubo com uma chapa de acrílico ou material similar com 3 mm de espessura. Instalação de um tubo de alimentação metálico, tangenciando a base do suporte, de diâmetro externo aproximado de 6,4 mm, com uma leve curvatura para cima. O tubo de PCV será envolvido por uma seção tubular de borracha (câmara de ar com diâmetro inferior a 2”) com 500 mm de comprimento, de forma que cerca de 20 mm abrace o tubo de PCV e a parte remanescente envolverá o molde cilíndrico, mantendo-o fixo ao suporte e evitando a perda de água durante o ensaio;

e) Tubo de borracha flexível (látex) com diâmetro interno aproximado de 6,4 mm e comprimento na ordem de 400 mm;

f) Tubo de borracha flexível (látex) com diâmetro interno aproximado de 6,4 mm de comprimento de cerca de 60 mm;

g) Placa porosa com dimensões aproximadas de 50 mm de diâmetro e 5 mm de espessura;

h) Placa perfurada com haste e sobrecarga removível, conforme modelo descrito no Método ME-DE-P00-002[(2)] - Ensaio de Mini – CBR e expansão de Solos Compactados;

i) Dispositivo para medida da expansão, provido de suporte do extensômetro e de extensômetro com 10 mm de curso mínimo, sensibilidade 0,01 mm, conforme (Anexo –A1).

j) Balança, com capacidade mínima de 2 kg, sensível a 0,01 g;

k) Becker de vidro ou plástico, com capacidade aproximada de 2000 ml;

l) Relógio com mostrador de segundos;

m) Pera de borracha insufladora, com volume aproximado de 200 ml;

n) Seringa de injeção com capacidade aproximada de 50 ml, acoplada com tubo de plástico flexível com diâmetro externo aproximado de 3,5 mm e comprimento de 1500 mm;

o) Termômetro, que possa medir a temperatura ambiente com precisão de 1 grau;

p) Vaselina sólida;

q) Folha padrão de ensaio (Anexo B).

MINUTA

Esta folha é de propriedade do DER/SP e seu conteúdo não pode ser copiado ou revelado a terceiros. A aprovação deste documento não exime o Emitente de sua responsabilidade.

4 MONTAGEM DO EQUIPAMENTO

4.1 Nivelamento das bases

A base principal para determinação da infiltrabilidade deverá ser instalada sobre uma superfície plana horizontal sólida e deverá ser nivelada com altura aproximada de 150 mm;

A base auxiliar deverá estar disposta em uma das extremidades da base principal, distante cerca de 150 mm e também nivelada. A altura da mesa auxiliar deve ser tal que, com o posicionamento de um suporte de placa porosa com reservatório sobre ela, o nível superior desse suporte coincida com o eixo do tubo de vidro da base principal.

4.2 Instalação dos suportes

Dispor de cinco suportes sobre a mesa auxiliar e conectá-los com os tubos de vidro, com um comprimento aproximado de 400 mm do tubo flexível de borracha (látex) de ¼” interno;

Conectar na outra extremidade do tubo de vidro um segmento na ordem de 60 mm do tubo flexível de borracha (látex) ¼” interno.

4.3 Aferição do tubo de vidro

A aferição consiste, basicamente, na determinação da área média do tubo de toda sua extensão útil, em cm². Para tanto, estabelece-se a correspondência entre a distância percorrida do menisco de água e a massa de água deslocada no percurso. Recomenda-se que sejam feitas no mínimo três determinações com distâncias de leituras de aproximadamente 150 mm. O tubo só deverá ser aproveitado se essa correspondência, representada graficamente, for possível ser substituída por uma reta. A inclinação dessa reta permite calcular a constante de aferição Ct.

5 AMOSTRA

a) A preparação do corpo de prova deverá ser feita conforme preconiza o método ME-DE-P00-001[(1)];

b) Caso seja de interesse a realização do ensaio de infiltrabilidade em corpo de prova moldados em condições distintas das especificadas na norma acima, deve constar no relatório de ensaio as condições adversas adotadas.

6 ENSAIO

a) Anotar na folha de ensaio (Anexo B) as informações pertinentes a identificação dos corpos de prova, os números dos tubos de vidro e a respectiva Ct de cada um.

b) Saturar de água o conjunto suporte da placa porosa e tubo de vidro horizontal. Colocar o Becker com água entre as bases e imergir totalmente um suporte de cada vez dentro do Becker. Conectar a pera de borracha na outra extremidade do tubo de vidro correspondente (lado com as escalas milimétricas com numeração inicial) e apertá-la, inflando ar para dentro do suporte através do tubo de vidro. O ar contido no reservatório do suporte será expelido e, aliviando a pressão da pera, a água será sugada através da pedra porosa do suporte para dentro da pera. Essa operação deverá ser repetida várias

MINUTA

Esta folha é de propriedade do DER/SP e seu conteúdo não pode ser copiado ou revelado a terceiros. A aprovação deste documento não exime o Emitente de sua responsabilidade.

vezes e o sistema será considerado saturado quando não existir mais saída de bolhas de ar da pedra porosa quando a pera é apertada. Com a pera ainda conectada, em estado de repouso, o suporte é retirado do interior do Becker e posicionado sobre a base auxiliar. Em seguida, desconecta-se a pera de borracha do tubo de vidro.

c) Zerar os meniscos (posicionar os meniscos na marcação zero da escala).

- Para menisco com posição antes do zero da escala, encostar um pequeno chumaço de algodão na pedra porosa do suporte e verificar o andamento do menisco, removendo o contato quando atingir o marco zero da escala;

- Para menisco com posição após o zero da escala, adicionar pequenas quantidades de água (gotas) sobre a pedra porosa, monitorando o posicionamento do menisco.

d) Com a face do corpo de prova deslocado, tangenciando a borda do molde cilíndrico, remover os discos de polietileno e os anéis de vedação do topo e da base do corpo de prova, medir a massa do conjunto e anotar na folha de ensaio. Untar, ligeiramente, com vaselina a parte externa inferior do molde cilíndrico, parte essa que manterá contato com a borracha do suporte. Colocar uma placa porosa sobre o topo do corpo de prova e, em seguida, o disco perfurado com a respectiva sobrecarga. Com o auxílio de mais uma pessoa, colocar com cuidado e agilidade os cinco conjuntos: molde cilíndrico + corpo de prova + base perfurada + sobrecarga sobre cada suporte, encostando primeiramente uma parte, a fim de evitar permanência de bolhas de ar, dessa forma, todos os corpos de prova têm início de ensaio ao mesmo tempo. Rapidamente, desdobrar o tubo de borracha do suporte e envolver a parte inferior do molde cilíndrico. Anotar o tempo de início de ensaio (ou acionar o cronômetro). Pode ocorrer o deslocamento do menisco para além do zero com o posicionamento do corpo de prova. Nesse caso, com auxílio da seringa com o tubo de 3,5 mm de diâmetro, inserir rapidamente no tubo de vidro e sugar o excesso de água, zerando o menisco.

e) Se houver interesse em determinar a expansão por infiltração, colocar o dispositivo indicado na alínea a do item 3 e efetuar a leitura inicial do extensômetro.

f) Efetuar leituras na escala adjacente no tubo de vidro horizontal (mm) e opcionalmente no extensômetro, após 1, 4, 9, 16, 25,.. n^2 (n = 1,2,3...) minutos. O valor de n deve ser o suficiente para que se possa traçar as curvas a que se refere o capítulo 7, podendo variar até 1200;

g) Remover o dispositivo de determinação da expansão e remover o molde da base com placa porosa. Retirar em seguida o disco perfurado (com sobrecarga) e a placa porosa. Pesar o conjunto: molde cilíndrico + corpo de prova e anotar na folha de ensaio.

MINUTA

Esta folha é de propriedade do DER/SP e seu conteúdo não pode ser copiado ou revelado a terceiros. A aprovação deste documento não exime o Emitente de sua responsabilidade.

7 CÁLCULOS

7.1 Coeficiente de Infiltração (K_i)

a) Plotar o gráfico com as curvas de infiltrabilidade, no eixo das abcissas os valores de $\sqrt{t}$ (t em minutos) e no eixo das ordenadas os valores dos volumes de água absorvida (Va) (volume em cm³), este último, obtido pelo produto entre as leituras efetuadas do menisco (La) e a Ct do tubo de vidro;

b) Essas curvas apresentam dois estágios bem definidos, assimiláveis a duas retas, sendo uma saindo da origem com uma inclinação e a partir de um determinado ponto sofre uma deflexão com inclinação menos acentuada, essa segunda inclinação refere-se a saturação do corpo de prova para as condições de ensaio;

c) Os parâmetros de infiltrabilidade do material testado é registrado através das inclinações dessas curvas, procurando assimilar uma reta a cada segmento, sendo o primeiro mais inclinado;

d) Traçar uma reta pela origem paralela aquela obtida no item 7.1.3;

e) Calcular o coeficiente de infiltração com a equação 1, tomando qualquer ponto dessa reta, definido pelo par de valores $\sqrt{t_1}$ e L_a1:

$$K_i = \frac{L_a1 * C_t}{S * \sqrt{t_1}} \qquad (1)$$

Onde: K_i= coeficiente de infiltrabilidade ($cm/\sqrt{min.}$)

L_a1 = ordenada do ponto 1 da parte retilínea da curva obtida (cm)

C_t= constante do tubo de vidro, obtido no item 4.3 (cm²)

$\sqrt{t_1}$ = abcissa do ponto 1 da parte retilínea da curva obtida ($\sqrt{min.}$)

S = seção da área do corpo de prova (cm²)

7.2 Velocidade e Infiltração (V_i)

a) Procurar a intersecção da reta obtida no item 7.1.4 com uma reta que define, o mais próximo, a tendência dos pontos após o trecho retilíneo integrante da primeira reta. Este ponto só tem significado se sua inclinação não se afastar sensivelmente da horizontal;

b) Transferir a intersecção obtida para reta que passa pela origem, mediante simples translação horizontal e determinar a abcissa correspondente $\sqrt{t_a}$;

c) Calcular a velocidade de infiltração V_i pela equação 2:

$$V_i = \frac{A_i}{\sqrt{t_a}} \qquad (2)$$

MINUTA

Esta folha é de propriedade do DER/SP e seu conteúdo não pode ser copiado ou revelado a terceiros. A aprovação deste documento não exime o Emitente de sua responsabilidade.

Onde: V_i= velocidade de infiltração ($cm/\sqrt{min.}$)

A_i= altura inicial do corpo de prova (cm)

$\sqrt{t_a}$ = tempo de ascensão obtido conforme descrito nos itens 7.2.1 e 7.2.2 ($\sqrt{min.}$)

7.3 Expansão por Infiltração (E_i)

Calcular a expansão por infiltração E_i , através da equação 3:

$$E_i = \frac{Le_i - Le_f}{A_1} * 100 \qquad (3)$$

Onde: E_i = expansão por infiltrabilidade (%)

Le_i = leitura inicial no extensômetro (mm)

Le_f = leitura final no extensômetro (mm)

8 REFERÊNCIAS

1 ME-DE-P00-001 - Ensaio de Compactação de Solos com Equipamento Miniatura.

2 ME-DE-P00-002 - Ensaio de Mini-CBR e Expansão de Solos Compactados.

MINUTA

Esta folha é de propriedade do DER/SP e seu conteúdo não pode ser copiado ou revelado a terceiros. A aprovação deste documento não exime o Emitente de sua responsabilidade.

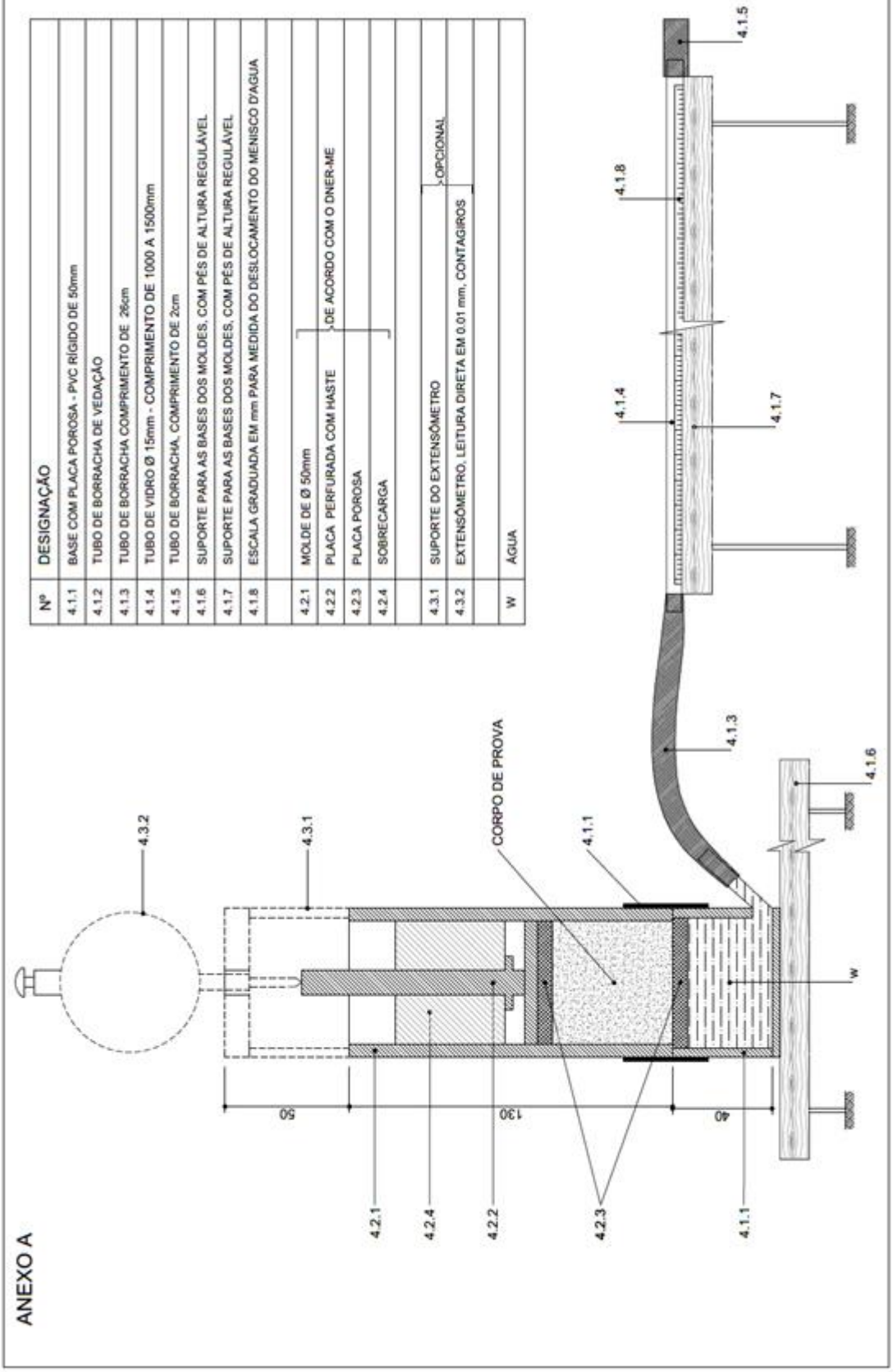
MINUTA

ANEXO A – DESENHOS

Esta folha é de propriedade do DER/SP e seu conteúdo não pode ser copiado ou revelado a terceiros. A aprovação deste documento não exime o Emitente de sua responsabilidade.

ANEXO A

Nº	DESIGNAÇÃO
4.1.1	BASE COM PLACA POROSA - PVC RÍGIDO DE 50mm
4.1.2	TUBO DE BORRACHA DE VEDAÇÃO
4.1.3	TUBO DE BORRACHA COMPRIMENTO DE 26cm
4.1.4	TUBO DE VIDRO Ø 15mm - COMPRIMENTO DE 1000 A 1500mm
4.1.5	TUBO DE BORRACHA, COMPRIMENTO DE 2cm
4.1.6	SUPORTE PARA AS BASES DOS MOLDES, COM PÉS DE ALTURA REGULÁVEL
4.1.7	SUPORTE PARA AS BASES DOS MOLDES, COM PÉS DE ALTURA REGULÁVEL
4.1.8	ESCALA GRADUADA EM mm PARA MEDIDA DO DESLOCAMENTO DO MENISCO D'AGUA
4.2.1	MOLDE DE Ø 50mm } DE ACORDO COM O DNER-ME
4.2.2	PLACA PERFURADA COM HASTE } DE ACORDO COM O DNER-ME
4.2.3	PLACA POROSA } DE ACORDO COM O DNER-ME
4.2.4	SOBRECARGA } DE ACORDO COM O DNER-ME
4.3.1	SUPORTE DO EXTENSÔMETRO } OPCIONAL
4.3.2	EXTENSÔMETRO, LEITURA DIRETA EM 0.01 mm, CONTAGIROS } OPCIONAL
W	ÁGUA



Esta folha é de propriedade do DER/SP e seu conteúdo não pode ser copiado ou revelado a terceiros. A aprovação deste documento não exime o Emitente de sua responsabilidade.

MINUTA

ANEXO B – FICHA DE ENSAIO

Esta folha é de propriedade do DER/SP e seu conteúdo não pode ser copiado ou revelado a terceiros. A aprovação deste documento não exime o Emitente de sua responsabilidade.

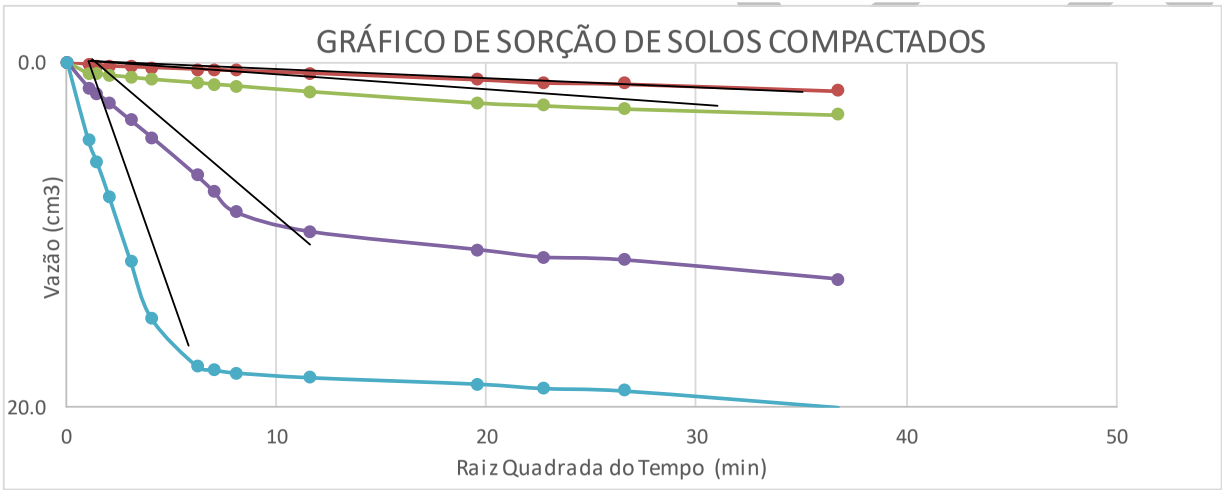
DETERMINAÇÃO DA SORÇÃO DE SOLOS COMPACTADOS

Interessado: _____ Amostra: _____

Solo 01

Condições de Ensaio: Energia de Modagem: _____ Operador: _____ Data ___/___/___

Tubo n. / ct (cm^2)					12	0.118	9	0.12	6	0.152	3	0.197
Molde n.					3		6		9		12	
há - horário de lietura	ta - tempo acumulado	Raiz do ta			Leituras	Vazão	Leituras	Vazão	Leituras	Vazão	Leituras	Vazão
(horas)	(min.)	(min.)			(mm)	(cm^3)	(mm)	(cm^3)	(mm)	(cm^3)	(mm)	(cm^3)
09:30	0	0.0			0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
09:31	1	1.0			10	0.12	54	0.65	96	1.46	230	4.53
09:32	2	1.4			14	0.17	56	0.67	120	1.82	295	5.81
09:34	4	2.0			18	0.21	62	0.74	155	2.36	397	7.82
09:39	9	3.0			22	0.26	71	0.85	221	3.36	583	11.49
09:46	16	4.0			25	0.30	81	0.97	285	4.33	753	14.83
10:08	38	6.2			33	0.39	97	1.16	432	6.57	894	17.61
10:19	49	7.0			35	0.41	104	1.25	495	7.52	906	17.85
10:34	64	8.0			40	0.47	112	1.34	571	8.68	914	18.01
11:43	133	11.5			52	0.61	139	1.67	645	9.80	928	18.28
15:52	382	19.5			83	0.98	193	2.32	714	10.85	947	18.66
19:07	514	22.7			98	1.16	206	2.47	743	11.29	960	18.91
20:35	702	26.5			104	1.23	221	2.65	753	11.45	967	19.05
08:00	1350	36.7			137	1.62	250	3.00	826	12.56	1016	20.02



ki = (Q/19,6 x minE-2)		
Um	Q	min E-2
15.0	19.50	0.98
18.7	30.00	2.80
23.0	10.00	10.20
25.9	4.50	13.60

Um	ki	Log(ki)
(%)	(cm/min E-2)	(cm/min E-2)
15.0	1.015202	0.01
18.7	0.5466472	-0.26
23.0	0.05002	-1.30
25.9	0.0168818	-1.77

Esta folha é de propriedade do DER/SP e seu conteúdo não pode ser copiado ou revelado a terceiros. A aprovação deste documento não exime o Emitente de sua responsabilidade.