TÍTULO

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE ÁGUA EM SOLOS COMPACTADOS COM EQUIPAMENTO MINIATURA

ÓRGÃO

DIRETORIA DE ENGENHARIA

PALAVRAS-CHAVE

Ensaio de Solo. M. Proctor. Permeabilidade.

APROVAÇÃO	PROCESSO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

MINUTA

OBSERVAÇÕES

REVISÃO	DATA	DISCRIMINAÇÃO

EMITENTE

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 Permeabilidade 3
2.2 Coeficiente de permeabilidade 3
3 APARELHAGEM E MATERIAL 3
4 MONTAGEM DO EQUIPAMENTO E AFERIÇÃO 4
4.1 Montagem 4
4.2 Aferição das buretas 5
4.3 Saturação do suporte de pedra porosa com reservatório 5
5 AMOSTRA 5
6 SATURAÇÃO 6
6.1 Procedimento de saturação 6
7 ENSAIO 6
8 CÁLCULOS 7
8.1 Coeficiente de Infiltração ($\boldsymbol{Ks}$) 7
9 REFERÊNCIAS 8
ANEXO A – DESENHOS 9
ANEXO B – ENSAIOS 11
ANEXO C – FICHA DE ENSAIO 14

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, que é uma norma técnica, apresenta os procedimentos para determinação do coeficiente de permeabilidade de carga variável, com água percolando através do solo em regime de escoamento laminar, em corpos de prova compactados dinamicamente em aparelhos miniatura.

2 DEFINIÇÕES

2.1 Permeabilidade

Fluxo de água em meios porosos saturados ou não.

2.2 Coeficiente de permeabilidade

Índice (ks) que expressa a permeabilidade (cm/s) de um solo num determinado estado de compactação.

3 APARELHAGEM E MATERIAL

A aparelhagem necessária é a seguinte:

a) Permeâmetro de carga variável, estrutura em madeira ou material similar, composto de base para acomodação de uma cuba; com duas hastes de aproximadamente 80 cm de comprimento. Fixada verticalmente na extremidade superior das hastes, uma placa em madeira ou material similar, com dimensões aproximadas de 40 cm de largura x 40 cm de altura e 15 mm de espessura. Sobre essa placa são fixadas as 5 buretas e ao lado de cada bureta uma régua milimetrada (Anexo A);

b) Cuba de plástico ou material similar, com dimensões aproximadas de 40 cm de largura x 30 cm de comprimento x 6 cm de altura, munida de dreno estanque, constituído de um tubo metálico com diâmetro de cerca de ¼” e extensão de 100 mm, fixado no centro da bandeja de forma que permita a manutenção de uma lâmina d’água na cuba de aproximadamente de 50 mm;

c) Cinco buretas de vidro, preferencialmente sem escalas gravadas, com diâmetros internos aproximadamente: 2,0, 1,5 e 0,5 cm e duas peças de 1,0 cm. Com os êmbolos dos registros em teflon;

d) Suporte de pedra porosa com reservatório, constituída de pedra porosa de 50 mm de diâmetro com 5 mm de espessura fixada na borda de um tubo de PVC (de parede grossa) 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 de 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”) de 50 cm de comprimento, de forma que cerca de 20 mm abrace o tubo de PCV e a parte remanescente envolverá o molde cilíndrico, mantendo o molde cilíndrico fixo ao suporte e evitando a perda de água durante o 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.

e) Rolha de borracha ou de látex cônica, nas dimensões aproximadas: diâmetro maior de 55 mm, menor 47 mm e altura de 40 mm, com a instalação de um tudo metálico de 1/4" de diâmetro externo, atravessando a geratriz central da rolha em toda a altura com saliência de 30 mm (aproximadamente) na face do diâmetro maior (Anexo A);

f) Mangueira de látex de diâmetro interno de 6 mm;

g) Placa porosa com capacidade de permeabilidade superior 10-1 cm/s, com dimensões aproximadas de 48 mm de diâmetro e 5 mm de altura, isenta de trincas e avarias ou imperfeições;

h) Disco de papel filtro com diâmetro aproximado de 49 mm;

i) Sobrecarga removível de massa de 480 g (± 1g) conforme Anexo A;

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

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

l) Relógio com mostrador de segundos;

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

n) Seringa plástica de injeção de cerca de 50 ml de capacidade, acoplada com tubo de plástico flexível de diâmetro externo cerca de 3,5 mm e comprimento de 150 cm;

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

p) Tubo plástico (PVC) de diâmetro externo de 60 mm com extensão de cerca de 300 mm comprimento. Tendo em uma de suas extremidades uma seção tubular de borracha (câmara de ar com diâmetro inferior a 2") de 80 cm de comprimento, de forma que cerca de 40 mm abrace o tubo de PCV e a parte remanescente envolverá o molde cilíndrico a ser saturado;

q) Tanque para saturação do corpo de prova em forma de balde com altura útil interna de cerca de 400 mm;

r) Vaselina sólida.

4 MONTAGEM DO EQUIPAMENTO E AFERIÇÃO

4.1 Montagem

a) A estrutura do permeâmetro deverá ser instalada sobre uma superfície plana horizontal sólida e a base deverá ser nivelada;

b) A haste vertical com a placa deve ser prumada;

c) A instalação da cuba sobre a base implica na necessidade de um furo de cerca de 10 mm de diâmetro no centro da base. Esse furo permitirá a passagem do dreno da cuba;

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.

d) A colagem das buretas sobre a placa vertical deve ser tal que, a boca da bureta diste 920 mm da saída do dreno da cuba. Deve também na colagem, ter uma extensão de cerca de no mínimo 30 mm acima do limite superior da placa (Anexo A);

e) As réguas milimetradas devem ser fixadas ao lado de cada bureta, com a marca de 900 mm posicionada aproximadamente a 20 mm abaixo da boca da bureta. A marcação de 900 mm da escala, deve obedecer a altura até a saída d'água do recipiente de armazenamento d'água (cuba) ou ladrão para controle de nível d'água;

f) Conectar com uma mangueira de látex de aproximadamente 300 mm, as saídas das buretas com os suportes de pedra porosa com reservatório.

4.2 Aferição das buretas

A aferição consiste, basicamente, na determinação da área média das buretas 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 cerca de 50 mm. A bureta só deverá ser aproveitada se essa correspondência, representada graficamente, for possível ser substituída por uma reta. A inclinação dessa reta permite calcular a constante de aferição da bureta Cb.

4.3 Saturação do suporte de pedra porosa com reservatório

Para saturar o conjunto suporte da placa porosa, preencher com água 2/3 do Becker e imergir totalmente um suporte de cada vez dentro do mesmo, com uma mangueira de látex conectada. Conectar a pera de borracha na outra extremidade da mangueira e apertá-la inflando ar para dentro do suporte. 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 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 uma base plana. Em seguida, desconecta-se a pera da mangueira.

5 AMOSTRA

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

b) Caso seja de interesse a realização do ensaio de permeabilidade em corpo de prova moldados em condições distintas das especificadas nesta norma, deverá constar no relatório de ensaio as condições adversas adotadas.

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.

6 SATURAÇÃO

O coeficiente de permeabilidade determinado nesse procedimento é baseado na Lei de Darcy. Devido não só ao volume de vazios, mas também ao tamanho dos glóbulos dos vazios em amostras de solos compactados, tem-se um número de Reynolds relativamente baixo, o que caracteriza um regime de escoamento laminar, o que implica na proporcionalidade direta entre as velocidades de fluxo e os gradientes hidráulicos. Necessariamente, o ensaio deve ser conduzido em amostra saturada e o escoamento não deve alterar o volume do solo durante o ensaio.

6.1 Procedimento de saturação

a) Após a moldagem dos corpos de prova, remover os discos de polietileno e os anéis de vedação. Deslocar o corpo de prova para uma das extremidades do molde de forma que a face do corpo de prova coincida com a borda do molde;

b) Colocar no interior do molde cilíndrico um papel filtro, uma placa porosa e uma sobrecarga;

c) Posicionar o molde com a face do corpo de prova deslocado sobre a placa porosa saturada do suporte;

d) Conectar o tubo de plástico (PVC) ao molde cilíndrico na extremidade oposta do corpo de prova, de forma que uma metade da seção de tubo de borracha fique no molde cilíndrico e a outra metade no tubo plástico. A borracha deve garantir a estanqueidade do conjunto;

e) Posicionar o molde cilíndrico com o tubo de plástico sobre a placa porosa saturada do suporte, de maneira que toda a face do corpo de prova fique em contato com a placa porosa, em seguida, desdobrar a borracha do suporte envolvendo a parte inferior do molde cilíndrico;

f) Preencher com água o tanque de saturação com quantidade suficiente para atingir cerca de 300 mm de lâmina d'água.

7 ENSAIO

a) Anotar na folha de ensaio (Anexo C-1) as informações pertinentes a identificação dos corpos de prova, os números das buretas e a respectiva aferição ($\boldsymbol{Cb}$) de cada uma;

b) Remover o conjunto: suporte, molde cilíndrico e tubo plástico do interior do tanque, retirar o tubo plástico e colocar os conjuntos: suporte + molde cilíndrico dentro da cuba. Posicionar, preferencialmente, o corpo de prova do menor teor de umidade com a bureta de maior área e seguindo, sequencialmente, o aumento dos teores de moldagem dos corpos de prova com a diminuição da área das buretas;

c) Adicionar água na cuba até que ocorra escoamento pelo dreno;

d) Conectar com a mangueira de látex com cerca de 400 mm de extensão entre: a saída da bureta e a rolha de borracha (látex);

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.

e) Preencher, completamente, com água o molde cilíndrico;

f) Posicionar o registro da bureta na posição aberta;

g) Conectar firmemente a rolha no molde cilíndrico de forma a evitar possível vazamentos. Nessa operação, parte da água do molde cilíndrico será conduzida para o interior da bureta, garantindo a saturação do sistema;

h) Preencher com água a bureta mantendo a registro aberto. Dependendo do tipo de material e do grau de compactação da amostra temos:

- Fluxo d´água pequeno o que implica no baixo deslocamento do menisco, nesses casos, pode-se manter o registro da bureta aberto e conforme o menisco se desloca pode-se adicionar água para manter o nível inicial;

- Fluxo de água elevado, normalmente, para materiais mais arenosos e moldados no ramo seco da curva de compactação, o deslocamento do menisco é rápido. Pode-se manter o registro fechado, abrindo somente no início do ensaio;

Nota: Observar possível vazamento no contato rolha de borracha/borda do molde. São vazamentos muito pequenos que comprometerá o ensaio, assim, recomenda-se que seque a borda desse contato com um algodão seco e seja observado detalhadamente se existe vazamentos.

i) Para o início do ensaio, adicionar água em todas as buretas até o nível de 900 mm, abrir os registros que eventualmente estejam fechados e registrar o tempo de início do ensaio.

j) Efetuar leituras dos meniscos de água de cada bureta, do tempo transcorrido e anotar na folha de ensaio. Para materiais com pouca permeabilidade, pode-se efetuar leituras com um maior espaçamento de tempo. Já para materiais de elevada permeabilidade, deve-se fazer leituras em função do deslocamento do menisco (por exemplo: a cada 30 mm deslocado);

8 CÁLCULOS

8.1 Coeficiente de Infiltração (K_s)

a) Plotar o gráfico com as curvas de permeabilidade, no eixo das abcissas o tempo transcorrido em minutos e no eixo das ordenadas, em escala logarítmica, as leituras do menisco correspondente.

b) Traçar a regressão linear para cada curva, obtendo uma reta. Caso a reta resultante da regressão não passe pela origem, deslocar uma reta paralela à regressão passando-a pela origem. A diferença na inclinação entre as retas denotam o comportamento ao fluxo d´água laminar devido aos distintos graus de compactação da amostra;

c) Determinar os tempos t1 (minutos) correlato ao um ponto aleatoriamente escolhido sobre cada reta passante pela origem;

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.

d) Determinar as alturas h1 (mm) do menisco correspondente aos tempos t1;

e) Determinar o coeficiente de permeabilidade ks, aplicando a equação 1:

$$\boldsymbol{k_s = \frac{2{,}3 * A * C_b * \log\left(\frac{h_0}{h_1}\right)}{60 * S * t_1}} \qquad (1)$$

Onde: $\boldsymbol{k_s}$ = coeficiente de permeabilidade (cm/s);

$\boldsymbol{A}$ = altura do corpo de prova (cm);

$\boldsymbol{C_b}$ = constante da área da bureta (cm²);

$\boldsymbol{h_0}$ = nível de referência do menisco no início do ensaio (mm);

$\boldsymbol{h_1}$ = altura do menisco correspondente ao tempo t_1 (mm);

$\boldsymbol{t_1}$ = tempo correlato ao ponto aleatoriamente escolhido sobre cada reta passante pela origiem (minutos);

$\boldsymbol{S}$ = área do corpo de prova (cm²);

f) Devido aos valores de resultado de permeabilidade serem expressos em notação científica, para facilitar a plotagem é recomendado que os gráficos sejam feitos com os valores de log(ks).

g) O valor do coeficiente de permeabilidade é obtido traçando-se um gráfico dos valores de log(ks) versus os respectivos teores de umidade de moldagem. O ks da amostra é o valor correlato a teor ótimo de umidade.

9 REFERÊNCIAS

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

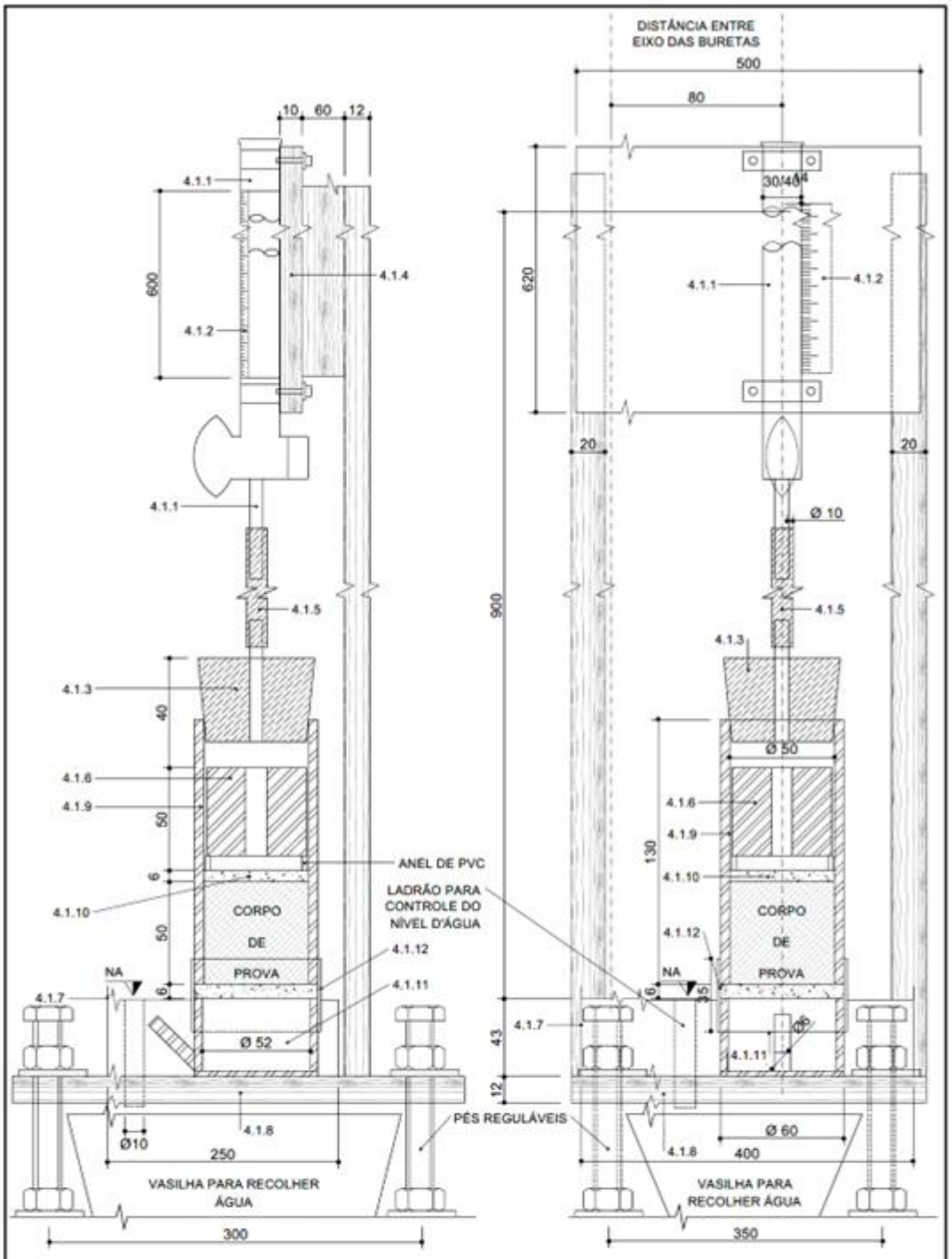
MINUTA

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- CONJUNTO PARA DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE, COM 5 BURETAS.

Nº	DESIGNAÇÃO	Nº	DESIGNAÇÃO
4.1.1	BURETA DE VIDRO COM TORNEIRA DE 50 E 100ml.	4.1.7	RECIPIENTE PARA CONTROLE DE NÍVEL D'ÁGUA.
4.1.2	ESCALA GRADUADA EM mm.	4.1.8	SUPORTE PARA MOLDES COM CORPO DE PROVA E BASE.
4.1.3	ROLHA DE BORRACHA COM FURO CENTRAL.	4.1.9	MOLDE CILÍNDRICO.
4.1.4	SUPORTE PARA BURETAS.	4.1.10	PEDRA POROSA.
4.1.5	TUBO FLEXÍVEL PARA LIGAÇÃO BURETA-ROLHA.	4.1.11	SUPORTE DE PEDRA POROSA COM RESERVATÓRIO.
4.1.6	SOBRECARGA DE 490g, COM ANEL DE PVC.	4.1.12	SEÇÃO TUBULAR DE BORRACHA (CÂMARA DE AR COM DIÂMETRO INFERIOR A 2") DE 50cm DE COMPRIMENTO.

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 – ENSAIOS

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.

PERMEABILIDADE DE SOLOS COMPACTADOS

Registro de Dados

Interessado: _____

Amostra: _____ Operador: _____

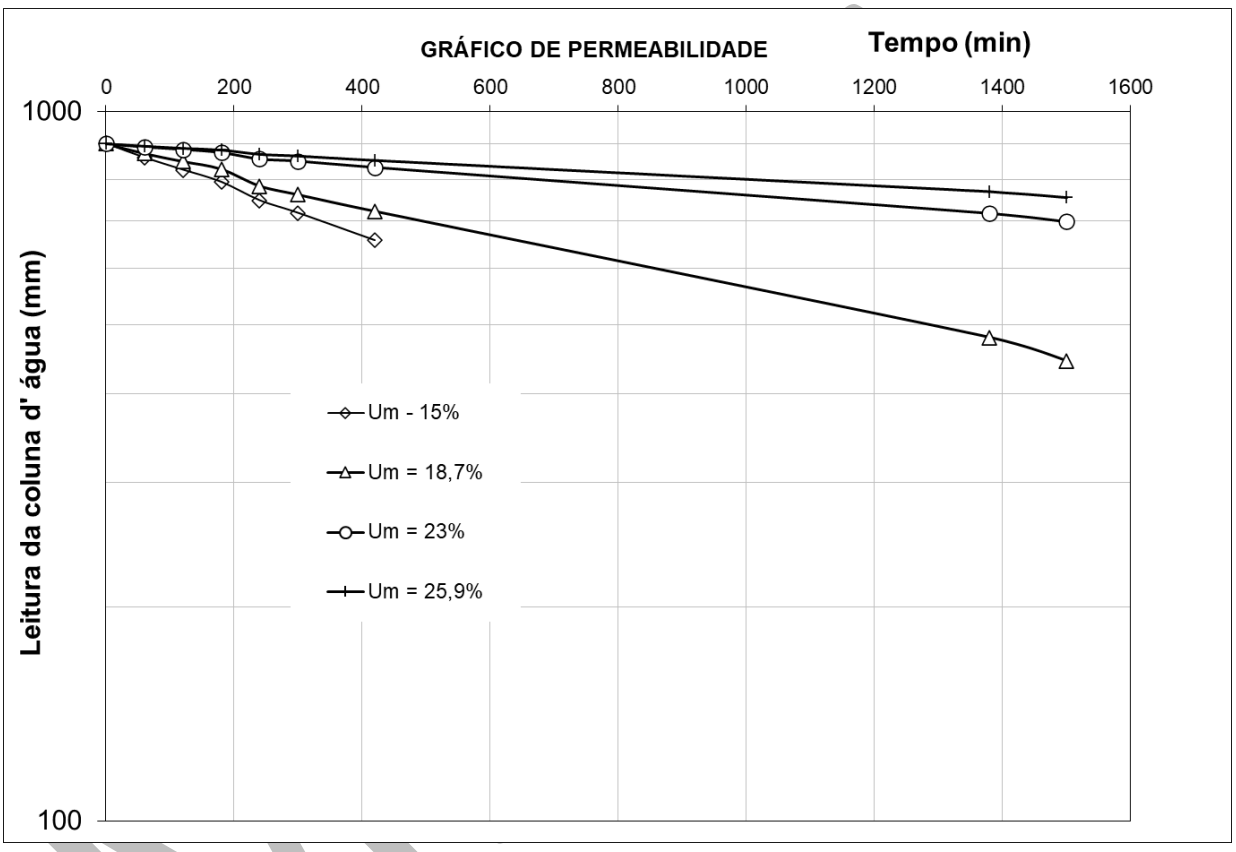
Condições de Ensaio: Energia de Modagem: _____

Data ___/___/___

Hora leitura (hora)	Tempo acumulado (hora)	Tempo acumulado (min)	Umidade (%) / Molde / Bureta n.	15 / 12 / 0	18,7 / 9 / 1	23 / 6 / 2	25,9 / 3 / 3
08:00	0,0	0,0	Leituras (mm)	900	900	900	900
09:00	1,0	60,0		860	872	891	893
10:00	2,0	120,0		827	850	884	887
11:00	3,0	180,0		795	829	875	882
13:00	4,0	240,0		749	785	857	870
14:00	5,0	300,0		719	763	851	865
16:00	7,0	420,0		658	723	834	853
07:00	23,0	1380,0		-	480	718	770
09:00	25,0	1500,0		-	445	699	756

Cálculos				
Molde n.	12	9	6	3
Umidade de Mold. (%)	15	18,7	23	25,9
A - Altura do cp. (cm)	49,48	49,92	50,14	49,56
Cb - área da bureta (cm^2)	2,000	1,706	0,880	0,924
S - área do cp. (cm^2)	19,6	19,6	19,6	20,6
h0 - ordenada correspondente ao nível do mesnisco no início do ensaio(mm)	900	900	900	900
h_1 -ordenada corres- pondente a t.1 (mm)	658	723	834	853
t_1 - abcissa corres- pondente a H.1 (min.)	420	420	420	420
ks = (cm/s)	$ks = 2,3 * A * Cb * \log(h_0/h_1) / (60 * S * t_1)$			
	3,1E-05	2,2E-05	7,7E-06	5,1E-06
	Log (ks)			
	-4,50	-4,66	-5,11	-5,29

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.



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 C – 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.

FICHA DE ENSAIO

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE SOLOS COMPACTADOS COM EQUIPAMENTO MINIATURA

Folha:

O.S.Nº:	R.E. Nº:	CADASTRO:
Norma: ME-DE-P00-005	Prof.:	Furo/Cam./Am.:

Laboratorista:	Data:	Verificado por:	Data:	Validado por:	Data:

Condição			Condição			Condição			Condição			Condição		
Altura (c Bureta Nº			Altura (cm) Bureta Nº			Altura (cm) Bureta Nº			Altura (cm) Bureta Nº			Altura (cm) Bureta Nº		
Molde (+ CP (g)			Molde (g) + CP (g)			Molde (g) + CP (g)			Molde (g) + CP (g)			Molde (g) + CP (g)		
Peso Inicial	Peso Final	Umid.(%)	Peso Inicial	Peso Final	Umid.(%)	Peso Inicial	Peso Final	Umid.(%)	Peso Inicial	Peso Final	Umid.(%)	Peso Inicial	Peso Final	Umid.(%)
Capsula (Nº Tara:)			Capsula (Nº Tara:)			Capsula (Nº Tara:)			Capsula (Nº Tara:)			Capsula (Nº Tara:)		
Peso Inicial	Peso Final	Umid.(%)	Peso Inicial	Peso Final	Umid.(%)	Peso Inicial	Peso Final	Umid.(%)	Peso Inicial	Peso Final	Umid.(%)	Peso Inicial	Peso Final	Umid.(%)
Hora min	t (horas)	Leitura (mm)	Hora min	t (horas)	Leitura (mm)	Hora min	t (horas)	Leitura (mm)	Hora min	t (horas)	Leitura (mm)	Hora min	t (horas)	Leitura (mm)

Observações:

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.