RESUMO

Este documento, que é uma norma técnica, apresenta o procedimento para a execução do ensaio de adensamento de solos. Apresenta os requisitos concernentes à amostragem, à aparelhagem, e para cálculos e obtenção dos resultados. Inclui documentação numérica e gráfica referente à execução do ensaio.

ABSTRACT

This document presents the procedure for soil consolidation test and presents requirements concerning apparatus, sampling, and for calculation and for obtention of the results. It includes numerical and graphical testing documentation.

SUMÁRIO

0 Apresentação

1 Objetivo

2 Referência

3 Aparelhagem

4 Amostras

5 Ensaio

6 Cálculos

7 Resultados

Anexo normativo

0 APRESENTAÇÃO

Esta Norma decorreu da necessidade de se adaptar, quanto à forma, a DNER-IE 005/71 à DNER-PRO 101/93, mantendo-se inalterável o seu conteúdo técnico.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Macrodescritores MT: ensaio, ensaio em laboratório, ensaio de solo

Microdescritores DNER: ensaio, ensaio de laboratório, ensaio de adensamento, solo (estado natural)

Palavras-chave IRR/IPR: solo (4156), ensaio (6255), consolidação (5791), consolidação secundária (5790), amostra indeformada (6260)

Descritores SINORTEC: normas, amostras, ensaio do solo

Aprovada pelo Conselho Administrativo em 05/11/71

Resolução nº * Sessão nº CA/ 41/71

Processo nº 51100002617/94-7

* dado não disponível

Autor: DNER/DrDTc (IPR)

Adaptação da DNER-IE 005/71 à DNER-PRO 101/93, aprovada pela DrDTc em 25/04/94.

1 OBJETIVO

Esta Norma apresenta o modo pelo qual se executa o ensaio de adensamento de solos.

2 REFERÊNCIA

2.1 Referência bibliográfica

No preparo desta Norma foi consultado o seguinte documento:

DNER-IE 005/71, designada Adensamento de solos.

3 APARELHAGEM

A aparelhagem necessária é a seguinte:

a) máquina de adensamento

Nota: A máquina de adensamento é a que permite a aplicação de cargas verticais ao corpo- de-prova. Os dispositivos mais usados para aplicação de cargas ao corpo-de-prova no ensaio de adensamento são:

A aplicação de cargas por meio de um macaco e a medida das mesmas por meio de uma balança de plataforma.

A aplicação de carga por um sistema de alavanca. No pendural de um dos extremos da alavanca são colocados contrapesos de acordo com a carga que deve ser aplicada ao corpo- de-prova;

b) célula de adensamento com anel fixo (Anexo - Figura 1) ou célula de adensamento com anel flutuante (Anexo - Figura 2);

Nota: A célula de adensamento com anel fixo permite a execução do ensaio de permeabilidade conjuntamente com a execução do ensaio de adensamento. Solos muito moles não devem ser ensaiados na célula de adensamento com anel flutuante.

O diâmetro interno do anel de adensamento (fixo ou flutuante) e sua altura são, também, o diâmetro e a altura do corpo-de-prova para o ensaio de adensamento. Usualmente, o diâmetro do anel de adensamento está compreendido entre 2 ½" (6,350 cm) e 4 ¼" (10,795 cm). A altura do anel de adensamento é cerca de três a quatro vezes menor do que seu diâmetro. Não se recomenda a utilização de anéis de diâmetro inferior a 2 ½" (6,350 cm), porquanto sempre há um amolgamento da face externa da amostra de solo que é ensaiada. Este amolgamento se dá na retirada da amostra do subsolo e, também, na moldagem do corpo-de-prova para o ensaio. Sendo menor o diâmetro do corpo-de-prova ensaiado, é proporcionalmente maior o efeito do amolgamento ou deformação da amostra no resultado do ensaio;

c) pedras porosas de diâmetro ligeiramente inferior (cerca de 0,50 mm a 1,00 mm) ao diâmetro interno do anel de adensamento;

d) extrator de amostras indeformadas;

e) defletômetro sensível a 0,001 cm;

f) paquímetro;

g) aparelho para tornear a amostra ou desbastador de amostra;

h) ferramenta cortante para desbastar lateralmente a amostra;

i) arco de serra provido de arame fino;

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

j) régua de metal;

l) espátula;

m) cronômetro;

n) cápsula de porcelana ou de alumínio com capacidade de 75 ml, ou vidros de relógio;

o) cápsula de porcelana com capacidade de cerca de 250 ml;

p) balança com capacidade de 1 kg, sensível a 0,1 g;

q) balança com capacidade de 200 g, sensível a 0,01 g;

r) estufa capaz de manter a temperatura a 105 °C - 110 °C.

Nota: As Figuras 3, 4 e 5 representam parte da aparelhagem em uso na Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento.

4 AMOSTRAS

4.1 A preparação do corpo-de-prova para o ensaio de adensamento deve ser efetuada, sempre que possível, em câmara úmida.

4.2 O corpo-de-prova para o ensaio de adensamento é obtido de amostra indeformada contida em tubo de parede fina (shelby) ou de bloco de amostra indeformada.

Nota: Os blocos de amostras indeformadas de solo, logo após a retirada no campo, devem ser protegidos com parafina ou com outro produto selante a fim de evitar a perda de umidade. As extremidades dos tubos de parede fina também devem ser seladas.

4.3 O diâmetro usual do corpo-de-prova para o ensaio de adensamento está compreendido entre 2 ½" (6,350 cm) e 4 ¼" (10,795 cm) (ver nota, item 3.b).

4.4 A altura do corpo-de-prova é de três a quatro vezes menor que o seu diâmetro.

4.5 Quando se utiliza, na preparação do corpo-de-prova, amostra de solo contida em tubo metálico de parede fina (shelby), retira-se do tubo, por meio do extrator, uma amostra cuja altura seja cerca de 2 cm maior do que a altura da anel de adensamento que será utilizado no ensaio e corta-se essa com a serra de arame fino, separando-a da amostra total.

4.6 Quando se utiliza bloco de amostra indeformada de solo na preparação do corpo-de-prova, corta-se do bloco um prisma de solo cuja largura seja cerca de 2 cm de maior do que o diâmetro do anel que será utilizado para o ensaio e cuja altura seja, também, cerca de 2 cm maior do que a altura do anel.

4.7 Quando se utiliza o aparelho para tornear amostra na preparação do corpo-de-prova para o ensaio, coloca-se o anel de adensamento no torno, fixando-o por meio de parafusos de pressão. Coloca-se sobre o anel de adensamento a amostra obtida pelo processo indicado no item 4.5 ou 4.6. Ajusta-se a ferramenta cortante e desbasta-se lateralmente a amostra, conservando-se fixa a ferramenta cortante e imprimindo ao torno um movimento de rotação. À medida que a amostra vai ficando de diâmetro igual ao diâmetro interno do anel, pressiona-se levemente a mesma para dentro do anel. Prossegue-se esta operação até que cerca de 1 cm de amostra ultrapasse o bordo inferior do anel. Corta-se a parte da amostra acima do bordo superior do anel com o arco de serra provido de arame fino e, com régua metálica ou espátula apoiada sobre o bordo do anel, uniformiza-se a superfície do corpo-de-prova. Desaperta-se os parafusos que prendem o anel ao torno, levanta-se cuidadosamente o anel virando-o para cima, a fim de remover o excesso da parte inferior da amostra, de modo análogo ao descrito para o bordo superior.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

4.8 Quando se utiliza o desbastador de amostra para a preparação do corpo-de-prova, coloca-se a amostra obtida pelo processo descrito no item 4.5 ou 4.6 no desbastador e, com o arco de serra de lâmina de arame fino, reduz-se o seu diâmetro ao diâmetro interno do anel de adensamento. Após, coloca-se cuidadosamente a amostra no anel de adensamento e remove-se o excesso de amostra dos bordos superior e inferior do anel, conforme já descrito no item 4.7.

4.9 Pesa-se o anel e o corpo-de-prova, com precisão de 0,1 g, e anota-se o valor.

4.10 Das aparas de solo obtidas na moldagem do corpo-de-prova, retira-se três amostras representativas para a determinação da umidade. Coloca-se as amostras em vidros de relógio, cápsulas de porcelana ou de alumínio, pesa-se com precisão de 0,01 g e põe-se na estufa a 105 °C - 110 °C, até a constância de peso. Retira-se também amostra para a determinação da massa específica real dos grãos de solo.

4.11 Coloca-se a pedra porosa inferior na base da cápsula de adensamento e sobre esta o anel de adensamento.

Nota: As pedras porosas (inferior e superior) que serão utilizadas no ensaio devem antes ficar imersas em água para seu umedecimento.

4.12 Quando se utiliza o anel fixo para o ensaio de adensamento, coloca-se sobre o bordo da base o anel de borracha e sobre este o anel exterior da célula, fixando-a à base por meio de parafusos (Figura 1 em anexo).

4.13 Coloca-se a pedra porosa superior sobre o corpo-de-prova.

5 ENSAIO

5.1 Coloca-se a célula na máquina de adensamento, centrando-a cuidadosamente de modo que a pedra porosa superior fique exatamente sob a placa que transmite a carga ao corpo-de-prova.

5.2 Estabelece-se contanto entre a placa de transmissão de carga e a pedra porosa superior.

5.3 Ajusta-se à base do anel de adensamento o dispositivo que suporta o defletômetro. Instala-se o defletômetro e zera-se o mesmo.

5.4 Coloca-se água na célula de adensamento de modo que o nível de água fique acima da pedra porosa superior.

5.5 Aplica-se ao corpo-de-prova uma carga que dê uma pressão inicial de 0,20 kPa ou 0,25 kPa e anota-se o dia e a hora do início do ensaio.

Nota: Se para a carga inicial o corpo-de-prova apresentar uma deformação muito grande, é convenientemente diminuí-la, aplicando inicialmente a metade.

A seqüência de pressões aplicadas ao corpo-de-prova, usualmente utilizada no ensaio de adensamento pelos diversos laboratórios é: 20; 40; 80; 160; 320 e 640 kPa ou 25; 50; 100; 200; 400 e 800 kPa. O dispositivo de aplicação de cargas da máquina de adensamento da Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento é constituído de um braço de alavanca com pendural (ver nota do item 3.a) no qual são colocados os contrapesos. O braço de alavanca é dimensionado de tal modo que os contrapesos colocados no pendural são transmitidos ao corpo-de-prova multiplicado por dez. Para aplicar uma pressão de 20 kPa, digamos em um corpo-de-prova de 33,2 cm², deve-se colocar no pendural uma carga de 0,664 kg.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Os contrapesos correspondentes às cargas que serão colocados no pendural e que acompanham máquinas de tipo semelhante ao da DPqD são função da pressão aplicada ao corpo-de-prova, da área do mesmo e da dimensão da alavanca.

5.6 Faz-se leituras no defletômetro nos intervalos de tempo de 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 15 minutos, 1, 2, 4, 8, 24 horas e mais, se forem necessárias, e anota-se o tempo e a leitura correspondentes.

Nota: Após a leitura de quatro horas não é necessário seguir rigorosamente os tempos de leitura citados em 5.6. Permite-se certa flexibilidade quanto aos tempos de leitura do defletômetro, contanto que se anote precisamente a hora da leitura feita.

5.7 À medida que se anota os tempos decorridos e as leituras correspondentes do defletômetro, traça-se em papel semilogarítmico de cinco ciclos a curva de adensamento (Anexo - Figura 6), colocando-se no eixo das abscissas, em escala logarítmica, os tempos decorridos e, no eixo das ordenadas, as leituras do defletômetro correspondentes. Na curva de adensamento, estão assinalados os trechos que representam a compressão primária e a compressão secundária do corpo-de-prova.

Nota: A compressão inicial é a diferença entre as leituras do defletômetro antes da aplicação de carga e o zero % de adensamento determinado supondo-se parabólico o início da curva de adensamento, quando esta é traçada em papel semilogarítmico, ou o ponto determinado no eixo das ordenadas pelo prolongamento do trecho reto da curva de adensamento, quando esta é traçada em papel aritmético. Na Figura 6 em anexo, o zero % de adensamento teórico corresponde a 8,9 mm. Na folha de ensaio, Anexo - Figura 7, a leitura inicial do defletômetro é 8,99 mm, portanto, a compressão inicial é de 0,09 mm.

Outra maneira de se traçar a curva de adensamento é coloca em papel aritmético, no eixo das abscissas, a raiz quadrada dos tempos decorridos e no eixo das ordenadas, as leituras do defletômetro correspondentes (ver curva de adensamento, Anexo - Figura 8).

5.8 Definida a compressão do corpo-de-prova pelo trecho final retilíneo da curva de adensamento, faz-se novo acréscimo de carga que deve ser o dobro da carga inicial aplicada.

Nota: Se a curva de adensamento foi traçada em papel aritmético e em função de $\sqrt{t}$, deve-se continuar as leituras do defletômetro em função do tempo até que a curva revele tendência a ficar assintótica ao eixo das abscissas (Anexo - Figura 8).

5.9 Fazem-se leituras do defletômetro em intervalos de tempo já definidos em 5.6. Traça-se a curva de adensamento, e definido o trecho retilíneo da compressão secundária, dobra-se a carga e prossegue-se o ensaio repetindo as operações já anteriormente citadas. Prossegue-se o ensaio até que esteja bem definida a curva pressão X índice de vazios.

Nota: De modo geral, leva-se o ensaio até a pressão de 640 kPa ou de 800 kPa (ver nota, item 5.5).

Faz-se a aplicação de pressões maiores se a capacidade da máquina de adensamento o permitir e caso se faça necessário, a exemplo de quando se deseja medir as características de adensamento de uma camada do subsolo submetida a pressões mais elevadas do que as acima mencionadas.

5.10 Se for necessário que sejam conhecidas as características de expansão da amostra, retiram-se as cargas aplicadas em seqüência inversa à do carregamento feito. Para cada carga retirada faz-se leituras da expansão do corpo-de-prova, no defletômetro, em função do tempo. Só se deve retirar uma carga quando não houver mais expansão sob a carga anterior atuante.

Permite-se também a retirada de cargas em seqüências diferentes da acima citada (ver nota seguinte).

Nota: Descreve-se abaixo as diversas maneiras de descarregar o ensaio de adensamento, propostas por diferentes autores:

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

1) T. William Lambe "Soil Testing for Civil Engineers" recomenda, quando o carregamento produz a seqüência de pressões de 25 kPa até 800 kPa que se reduza a carga de modo que a pressão atuante sobre o corpo-de-prova seja de 20 kPa e depois de 10 kPa. Diz também que se deve deixar o corpo-de-prova expandir cerca de quatro horas sob essas pressões. Não acha que sejam necessárias leituras do defletômetro em função do tempo. Somente as leituras inicial e final da expansão são necessárias.

2) Casagrande e Fadum "Notes on Soil Testing for Engineering Purposes" recomendam que se retire primeiro ¾ da carga total e, após, que se vá reduzindo à metade as cargas restantes. Recomendam ainda que se faça leituras do defletômetro em função do tempo, em seqüência de tempos análoga àquela em que foram feitas leituras quando do carregamento do corpo-de-prova. Dizem, também, que a retirada de uma carga só deve ser efetuada após estabilização da expansão do corpo-de-prova sob a carga que nele ainda está atuando. Depois que for removida toda a carga, deixa-se o corpo-de-prova expandir durante 48 horas ou até que não seja observada nenhuma expansão durante 24 horas.

3) Tschebotarioff "Foundations and Earth Structures" recomenda que se deixe a amostra expandir durante cerca de 24 horas após a retirada de cada carga.

Nota: A quantidade de carga retirada pode ser qualquer uma das acima recomendadas. Prescreve-se apenas que se deve deixar estabilizar a expansão do corpo-de-prova para cada carga retirada, observando-se aquela por leituras no defletômetro. Lembra-se, também, que a expansão é função da absorção de água pelo corpo-de-prova, de modo que será mais rápida para um solo mais permeável e mais lenta, para um menos permeável.

5.11 Após o ensaio, retira-se o corpo-de-prova do anel de adensamento. Coloca-se em cápsula de porcelana ou outro recipiente apropriado, pesa-se e põe-se em estufa a 105 °C - 110 °C, para determinar a umidade final do corpo-de-prova ensaiado.

6 CÁLCULOS

6.1 Calcula-se as umidades inicial e final do corpo-de-prova a partir dos itens 4.10 e 5.11, pela fórmula:

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

onde:

h - teor de umidade, em porcentagem;

P_h - peso do solo úmido, em g;

P_s - peso do solo seco, em g.

6.2 Calcula-se a altura sólida do corpo-de-prova pela fórmula:

$$Hs = \frac{P_s}{\gamma g \times A}$$

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

onde:

H_S - altura sólida do corpo-de-prova, em cm;

P_S - peso do corpo-de-prova seco, em g;

γ_g - massa específica real dos grãos de solo, em g/cm³ ou (10^3 kg/m³);

A - área do corpo-de-prova, em cm².

6.3 Calcula-se o índice de vazios pela fórmula:

$$\varepsilon = \frac{H}{H_S} - 1$$

onde:

ε - índice de vazios;

H - altura do corpo-de-prova, em cm;

H_S - altura sólida do corpo-de-prova, em cm.

6.4 Calcula-se o grau de saturação do corpo-de-prova pela fórmula:

$$S\ \% = \frac{h \times \gamma g}{\varepsilon \times \gamma a}$$

onde:

γg - massa específica real dos grãos de solo, em g/cm³ ou (10^3 kg/m³);

h - umidade, em percentagem;

ε - índice de vazio;

γa - massa específica da água, considerada 1 g/cm³ ou (10^3 kg/m³).

6.5 A altura do corpo-de-prova para a carga aplicada é:

$$H = H_1 - \Delta H$$

onde:

H - altura do corpo-de-prova, em cm;

H_1 - altura do corpo-de-prova antes da aplicação da carga, em cm;

ΔH- decréscimo da altura do corpo-de-prova, em cm, ou seja a diferença das leituras do defletômetro antes da aplicação da carga e após a estabilização do corpo-de-prova sob a mesma.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

6.6 A altura do corpo-de-prova após a retirada de uma carga é:

$H = H_1 + \Delta H$

onde:

H - altura do corpo-de-prova, em cm;

H_1 - altura do corpo-de-prova antes da retirada da carga;

ΔH- acréscimo de altura do corpo-de-prova, ou seja a diferença de leituras do defletômetro antes da retirada da carga após a última leitura da expansão.

6.7 Calcula-se o coeficiente de adensamento pela fórmula:

$$C_V = \frac{T\left(\frac{H_m}{2}\right)^2}{t}$$

onde:

Cv - coeficiente de adensamento, em cm^2/s ou $10^{-4} m^2/s$;

Hm - altura média do corpo-de-prova, isto é, a média das alturas antes da aplicação de uma carga e ao final desta, em cm;

t - tempo para que se dêem 50% de adensamento ou 90% de adensamento, em segundos;

T - fator tempo;

sendo:

T = 0,197 para 50% de adensamento;

T = 0,848 para 90% de adensamento.

Nota: Os valores dados de T somente são válidos para as condições normais de carregamento do ensaio e também levando em consideração a existência de duas faces de drenagem.

6.8 Determinação de 50% de adensamento.

Quando se usa o papel semilogarítmico de cinco ciclos para o traçado da curva de adensamento, determina-se o tempo decorrido para que se dêem 50% do adensamento (Anexo - Figura 6).

Para se determinar o 0% de adensamento escolhe-se no início da curva um ponto correspondente a um tempo qualquer. Determina-se a distância vertical entre este ponto e outro ponto da curva de adensamento cujo tempo seja quatro vezes maior do que o do primeiro. Marca-se, para cima do primeiro ponto, a distância vertical determinada e transporta-se esta para o eixo das ordenadas da curva de adensamento. Repete-se a operação mais duas vezes. A média entre os pontos determinados é 0% de andensamento.

Determina-se 100% de adensamento pela interseção das tangentes aos ramos da curva de adensamento, que definem as compressões primária e secundária do corpo-de-prova. Transporta-se o ponto achado para o eixo das ordenadas da curva de adensamento.

Os 50% de adensamento são a metade da distância entre 0% e 100% de adensamento.

Os 50% de adensamento correspondem a um ponto na curva de adensamento cuja abscissa é o tempo decorrido para que se dê o referido adensamento.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

6.9 Determinação de 90% de adensamento.

Quando se usa o papel aritmético e se coloca no eixo das abscissas a raiz quadrada do tempo, determina-se o tempo decorrido para que se dêem 90% de adensamento.

Determina-se 90% de adensamento traçando-se uma reta cuja origem seja a mesma do prolongamento do trecho reto da curva de adensamento e cujas abscissas sejam 1,15 vezes maiores do que as da reta citada. Esta outra reta corta a curva de adensamento a 90% de adensamento e a abscissa que corresponde a este ponto é a raiz quadrada do tempo em que ocorrem 90% de adensamento (ver curva de adensamento Figura 8 em anexo).

6.10 Calcula-se o coeficiente de compressibilidade pela fórmula:

$$a_V = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta p}$$

onde:

a_V - coeficiente de compressibilidade, em cm^2/g ou (10^3 kPa^{-1});

$\Delta\varepsilon$ - decréscimo de índice de vazios;

Δp - acréscimo de pressão, isto é, a diferença entre a pressão que atuava anteriormente no corpo-de-prova e a pressão atuante, em g/cm^2 ou (10^{-3} kPa).

6.11 Denomina-se coeficiente de deformação volumétrica ao valor:

$$m_V = \frac{a_V}{1 + \varepsilon m}$$

onde:

m_V - coeficiente de decréscimo de volume, em cm^2/g ou (10^3 kPa^{-1});

a_V - coeficiente de compressibilidade, em cm^2/g ou (10^3 kPa^{-1});

εm - índice de vazios médio.

6.12 Calcula-se o coeficiente de permeabilidade pela fórmula:

$$K = Cv.m_V.\gamma a$$

onde:

Cv - coeficiente de adensamento, em cm^2/s ou ($10^3 m^2/s$);

K - coeficiente de permeabilidade em cm/s ou (10^{-2} m/s);

m_V - coeficiente de decréscimo de volume, em cm^2/g ou (10^3 kPa^{-1});

γa - massa específica da água, considerada igual a 1 g/cm^3 ou (10^3 kg/m^3).

Nota: O coeficiente de permeabilidade K, calculado pelo ensaio de adensamento só dá valores coerentes para solos de baixa permeabilidade, isto é, de coeficiente de permeabilidade inferior a 1 X 10^{-7} cm/s ou (10^{-9} m/s).

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

7 RESULTADOS

7.1 Traçar-se em papel semilogarítmico de três ciclos a curva pressão X índice de vazios, colocando-se no eixo das ordenadas os índices de vazios e no eixo das abscissas as pressões (Anexo - Figura 9).

7.2 O trecho reto da curva pressão X índice de vazios é denominado de reta virgem e o índice de compressão é a inclinação da reta virgem.

$$Ie = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\log \frac{P_2}{P_1}}$$

onde:

Ie - índice de compressão;

ε_1 - um valor do índice de vazios;

ε_2 - outro valor do índice de vazios;

P_1 - pressão correspondente ao primeiro índice de vazios;

P_2 - pressão correspondente ao segundo índice de vazios.

Pode-se retirar diretamente da curva pressão X índices de vazios o valor do índice de compressão. Estende-se a reta virgem até cortar a ordenada de índice de vazios no início de um ciclo do papel semilogarítmico. Prolonga-se também até cortar a ordenada de índice de vazios no final do mesmo ciclo. O índice de compressão é a diferença entre os índices de vazios encontrados.

7.3 Para se determinar a pressão de pré-adensamento, traça-se uma tangente ao ponto de menor raio de curvatura da curva pressão X índice de vazios. Traça-se uma horizontal passando pelo mesmo ponto. Traça-se a bissetriz do ângulo formado por aquelas retas. Prolonga-se a reta virgem até que corte a bissetriz. A pressão correspondente ao ponto determinado é a pressão de pré-adensamento.

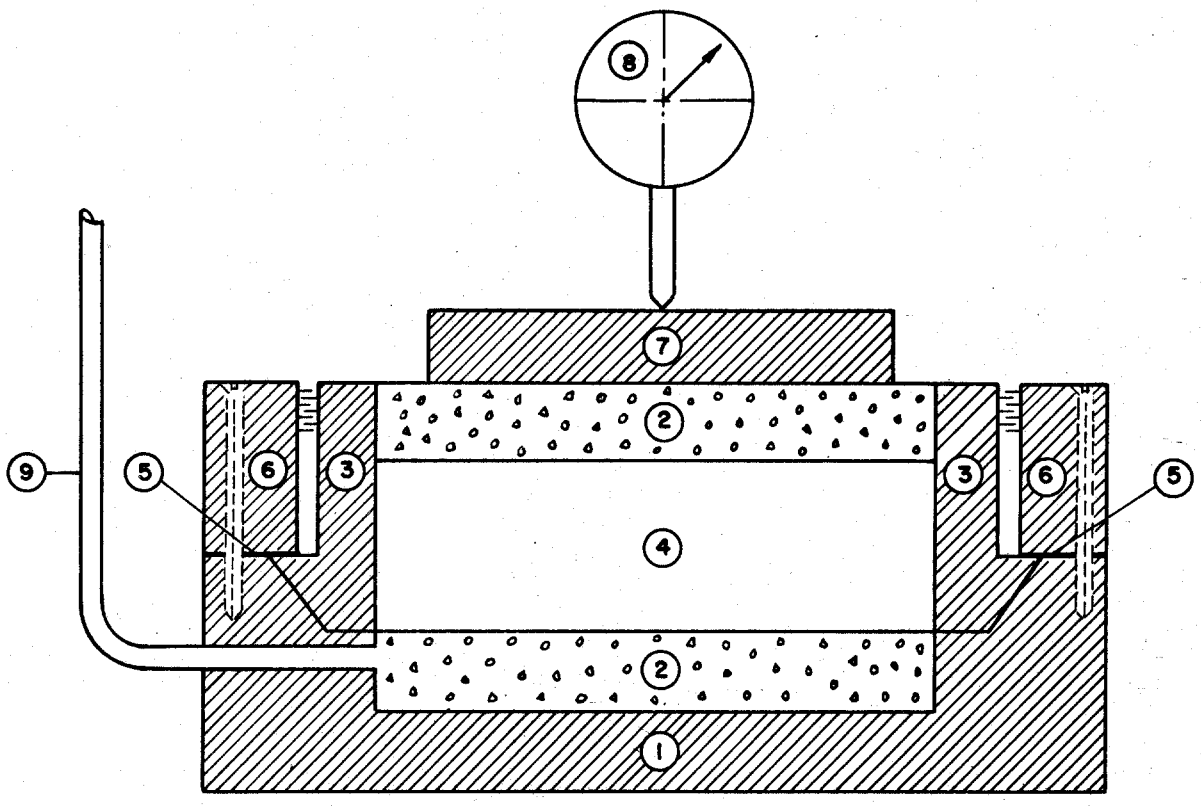
7.4 Na mesma folha de papel semilogarítmico em que foi traçada a curva pressão X índice de vazios, traça-se a reta de permeabilidade que é obtida relacionando-se valores de pressão média para cada estágio de carga com os coeficientes de permeabilidade correspondentes (Anexo - Figura 9).

7.5 Em papel semilogarítmico de três ciclos traça-se a curva relacionando-se pressões médias para cada estágio de carga com coeficientes de adensamento correspondentes (Anexo - Figura 10).

A Figura 11 em anexo, apresenta ficha de ensaio com os resultados (ver 7). O coeficiente de adensamento e o de permeabilidade desde ensaio foram calculados para 50% de adensamento, portanto com valor de T = 0,197.

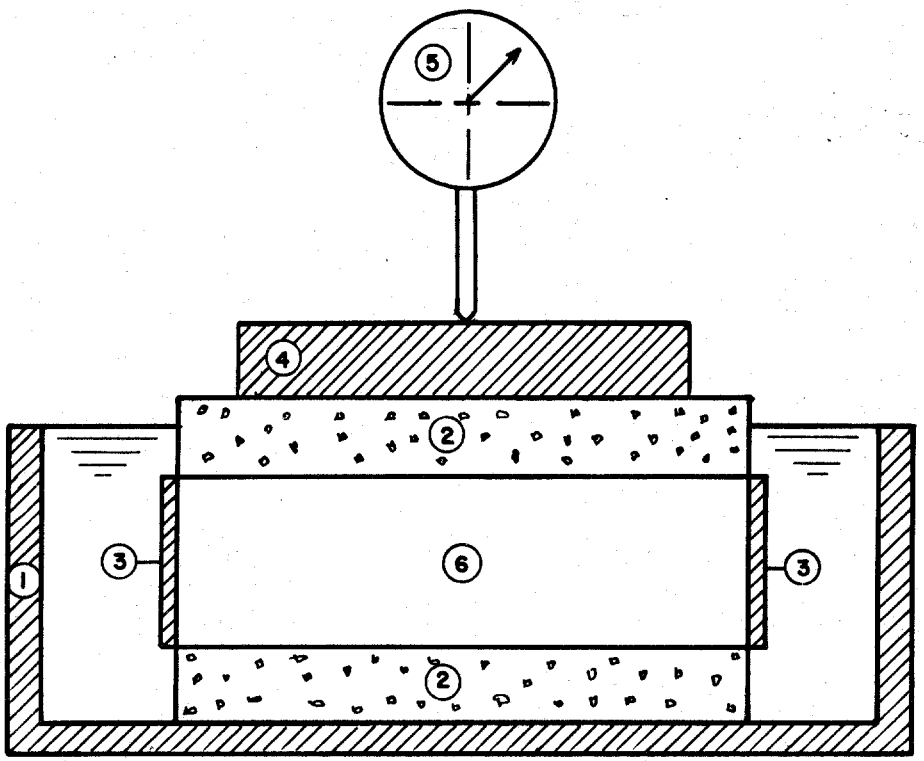
/ Anexo

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte



1. BASE
2. PEDRA POROSA
3. ANEL FIXO
4. CORPO-DE-PROVA
5. ANEL DE BORRACHA
6. ANEL EXTERIOR
7. PLACA DE TRANSMISSÃO DE CARGAS
8. DEFLETÔMETRO
9. COMUNICAÇÃO PARA EXECUÇÃO DO ENSAIO DE PERMEABILIDADE

FIGURA 1 - CÉLULA DE ADENSAMENTO COM ANEL FIXO



① CÉLULA

② PEDRA POROSA

③ ANEL FLUTUANTE

④ PLACA DE TRANSMISSÃO DE CARGAS

⑤ DEFLETÔMETRO

⑥ CORPO-DE-PROVA

FIGURA 2 - CÉLULA DE ADENSAMENTO COM ANEL FLUTUANTE

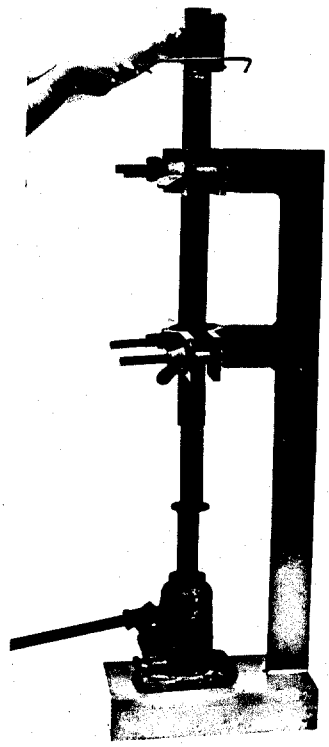


FIGURA 3 - EXTRATOR DE AMOSTRAS INDEFORMADAS DO TUBO DE PAREDE FINA (SHELBY) EM OPERAÇÃO

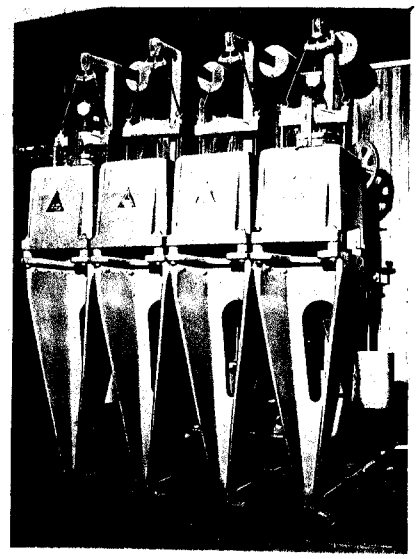


FIGURA 4 - MÁQUINA DE ADENSAMENTO DA DIVISÃO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO

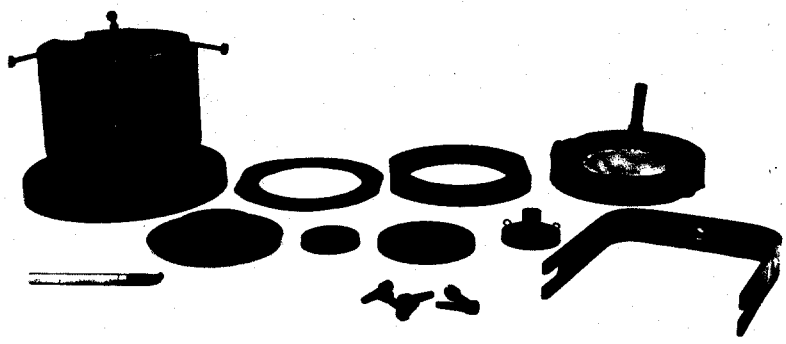


FIGURA 5 - A PARTIR DA ESQUERDA: APARELHO PARA TORNEAR A AMOSTRA, FERRAMENTA CORTANTE E CÉLULA DE ADENSAMENTO DE ANEL FIXO, DESMONTADA

FIGURA 6

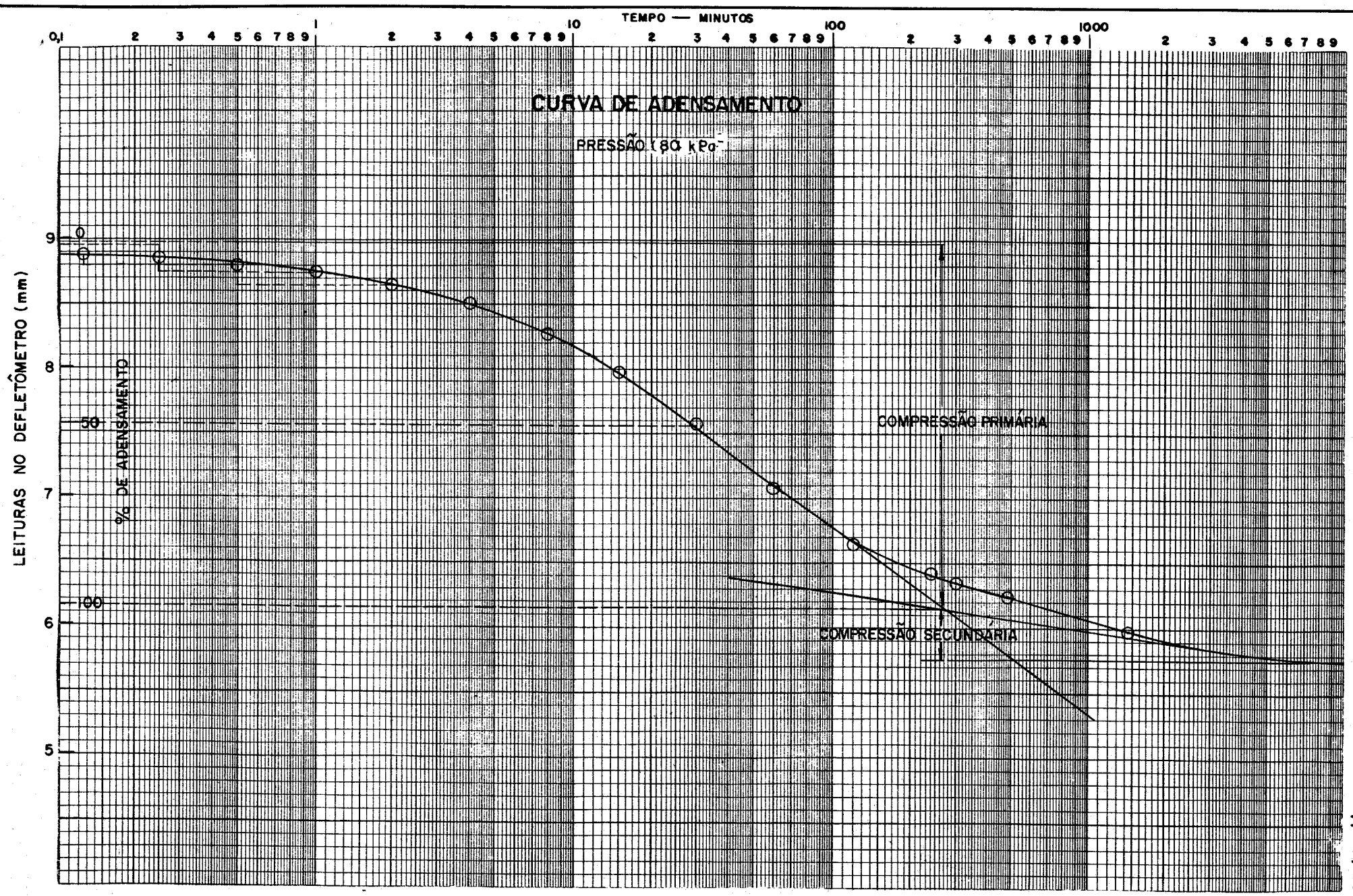

CURVA DE ADENSAMENTO
PRESSÃO (80 kPa)
TEMPO — MINUTOS
0,1
1
10
100
1000
LEITURAS NO DEFLETÔMETRO (mm)
9
8
7
6
5
% DE ADENSAMENTO
0
50
100
COMPRESSÃO PRIMÁRIA
COMPRESSÃO SECUNDÁRIA

FIGURA 6

ENSAIO DE ADENSAMENTO

ESTRADA: BR-101 / SC	ORGÃO EXECUTOR: DIVISÃO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO
TRECHO: PAULO LOPES - TUBARÃO	REGISTRO: 10 109
SONDAGEM: 6 — ESTACA: 19	AMOSTRA: 4 — PROFUNDIDADE: 6,50 m
INTERESSADO: 16º DISTRITO RODOVIÁRIO FEDERAL	OPERADOR: — DATA: 5 / 8 / 93

CARGA kg	PRESSÃO kPa	DATA																					
		HORA																					
		TEMPO minutos																					
		LEITURA mm																					
CARGA kg	PRESSÃO kPa	DATA																					
		HORA																					
		TEMPO minutos																					
		LEITURA mm																					
CARGA kg	PRESSÃO kPa	DATA	5/8/93															6/8/93					
		HORA	9:30													14:35	17:30	9:30					
26,6	80	TEMPO minutos	0	1/8	1/4	1/2	1	2	4	8	15	30	60	120	240	305	480	1440					
		LEITURA mm	8,99	8,89	8,86	8,80	8,75	8,66	8,50	8,28	7,96	7,56	7,07	6,64	6,32	6,27	6,15	5,99					
CARGA kg	PRESSÃO kPa	DATA																					
		HORA																					
		TEMPO minutos																					
		LEITURA mm																					
CARGA kg	PRESSÃO kPa	DATA																					
		HORA																					
		TEMPO minutos																					
		LEITURA mm																					
CARGA kg	PRESSÃO kPa	DATA																					
		HORA																					
		TEMPO minutos																					
		LEITURA mm																					
CARGA kg	PRESSÃO kPa	DATA																					
		HORA																					
		TEMPO minutos																					
		LEITURA mm																					

FIGURA 7 - FOLHA DE ENSAIO

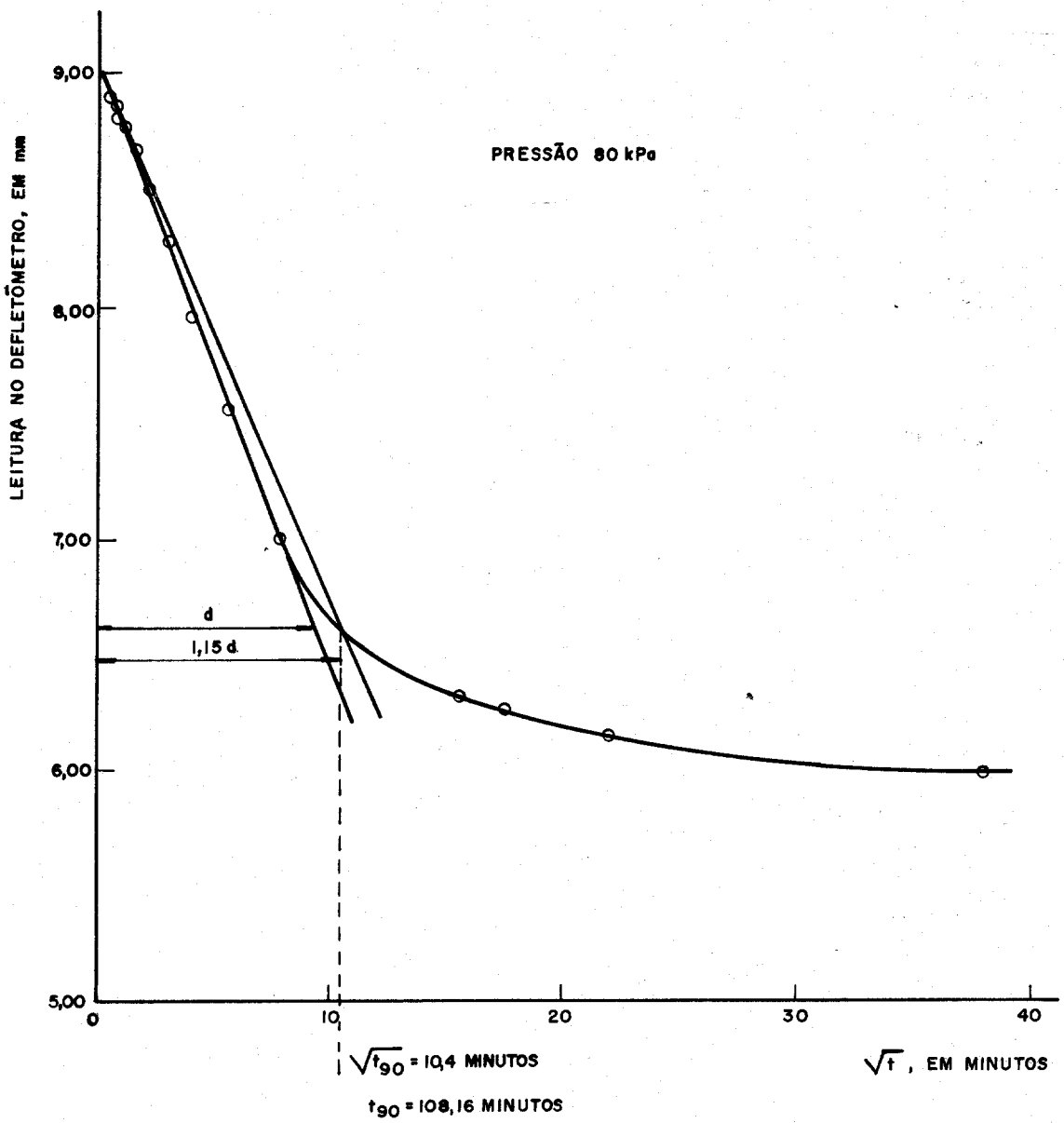


FIGURA 8 - CURVA DE ADENSAMENTO

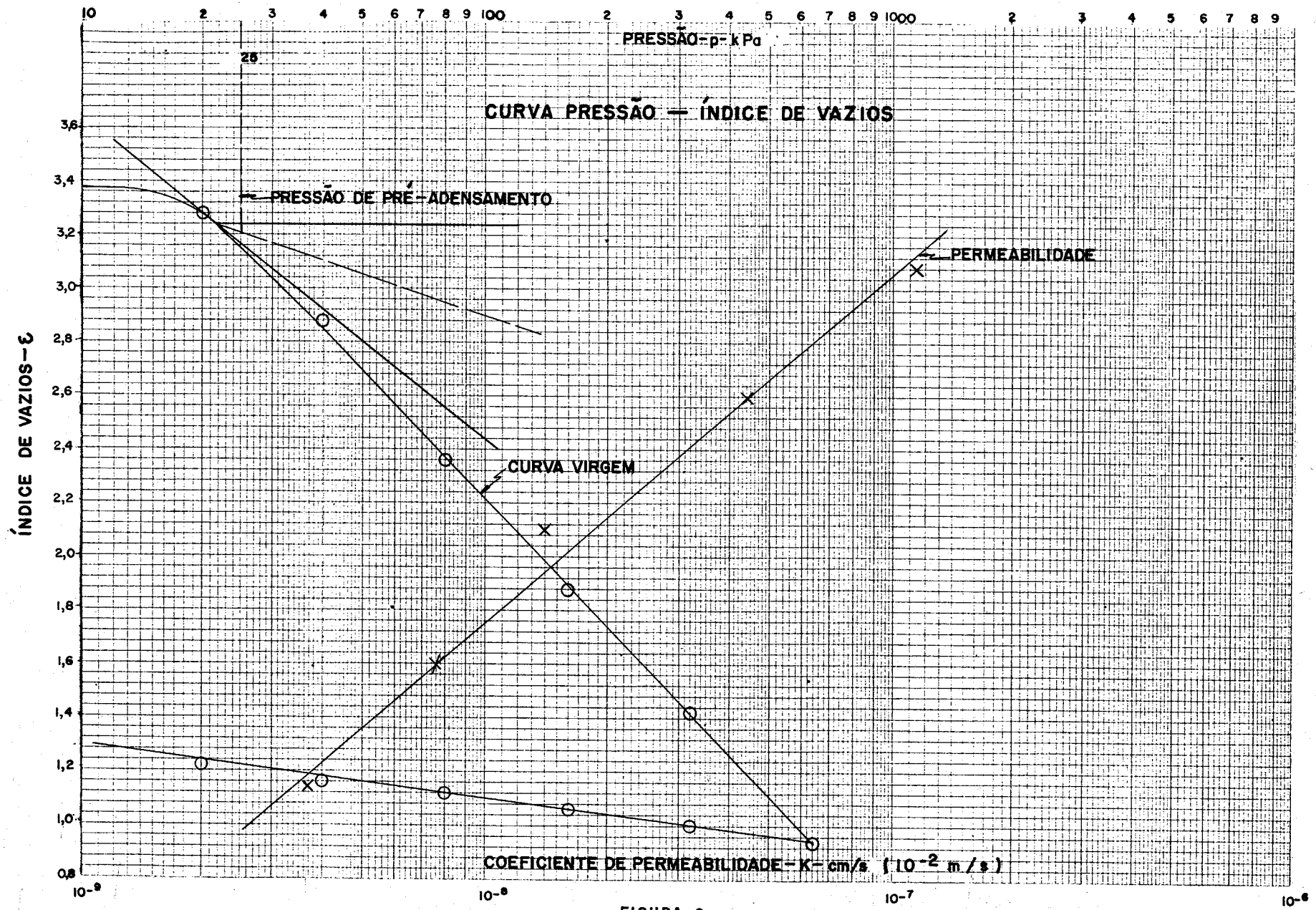

CURVA PRESSÃO — ÍNDICE DE VAZIOS
PRESSÃO - p - kPa
25
PRESSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO
PERMEABILIDADE
CURVA VIRGEM
ÍNDICE DE VAZIOS - ε
COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE - K - cm/s (10^-2 m/s)
10
2
3
4
5
6
7
8
9
100
1000
3,6
3,4
3,2
3,0
2,8
2,6
2,4
2,2
2,0
1,8
1,6
1,4
1,2
1,0
0,8
10^-9
10^-8
10^-7
10^-6

FIGURA 9

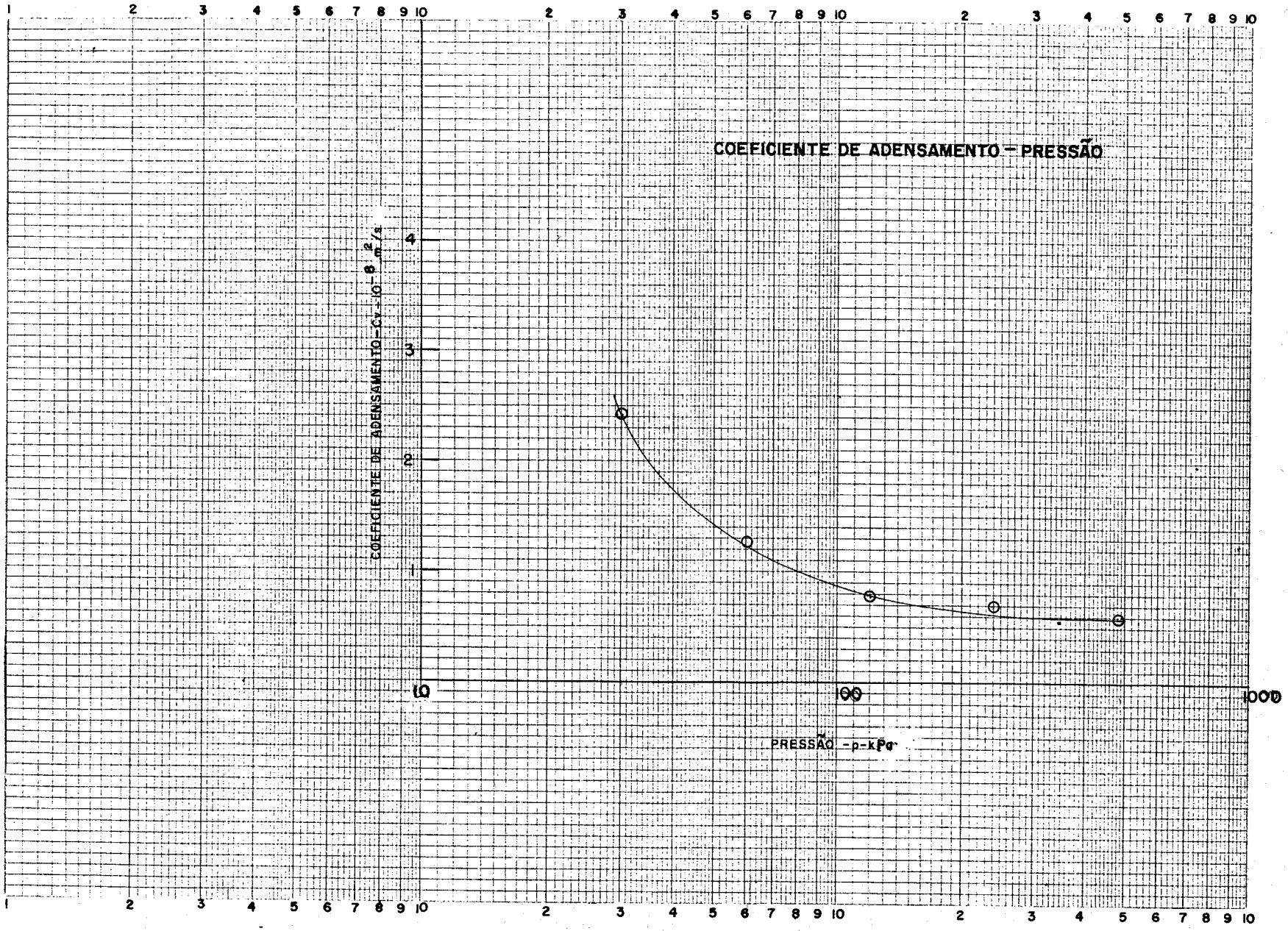

COEFICIENTE DE ADENSAMENTO - PRESSÃO
COEFICIENTE DE ADENSAMENTO - Cv - 10^{-8} m^2/s
PRESSÃO - p - kPa
10
100
1000
1
2
3
4

FIGURA 10

ENSAIO DE ADENSAMENTO

ESTRADA: BR-101 / SC	ORGÃO EXECUTOR: DIVISÃO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO
TRECHO: PAULO LOPES-TUBARÃO	REGISTRO: 10 109
SONDAGEM: 6 ESTACA: 19	AMOSTRA: 4 PROFUNDIDADE: 6,50m
INTERESSADO: 16ª DISTRITO RODOVIÁRIO FEDERAL	OPERADOR: DATA: 5/6/93

ANEL Nº:	23
ÁREA DO ANEL - A - cm^2	33,2
VOLUME DO ANEL - V - cm^3	88,3
PESO DO ANEL + SOLO ÚMIDO - g	1528,6
PESO DO ANEL - g	1415,0
PESO DO SOLO ÚMIDO - g	113,6
MASSA ESPECÍFICA APARENTE DO SOLO ÚMIDO - γ - g/cm^3	1,286
MASSA ESPECÍFICA APARENTE DO SOLO SECO - γ_s - g/cm^3	0,557
MASSA ESPECÍFICA REAL DOS GRÃOS DO SOLO - γ_g - g/cm^3	2,58
ALTURA INICIAL DO CORPO DE PROVA - H_o - cm	2,66
ALTURA SÓLIDA - h_s - cm	0,574
ÍNDICE DE VAZIOS NATURAL	3,63

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE

	INICIAL			FINAL
CÁPSULA Nº	16	18	15	17
AMOSTRA ÚMIDA + TARA - g	41,24	37,59	63,05	107,22
AMOSTRA SECA + TARA - g	33,04	32,00	41,54	82,71
PESO DA TARA - g	27,01	27,84	21,51	33,57
PESO DA ÁGUA - g	8,20	5,59	25,52	24,51
PESO DO SOLO SECO - g	6,03	4,16	16,02	49,14
UMIDADE (%)	135,99	134,38	134,27	49,88
UMIDADE MÉDIA (%)	134,88			
GRAU DE SATURAÇÃO - S (%)	95,87			98,24

P (kPa)	ΔP (kPa)	Pm (kPa)	H (10^{-2}m)	ΔH (10^{-2}m)	ε	Δε	ε_m	$1+\varepsilon_m$	$\bar{H}m$ (10^{-2}m)	Hm/2 (10^{-2}m)	$(Hm/2)^2$ (10^{-4}m)	t (s)	C_v (10^{-8} m^2/s)	a_v (10^{-2} kPa^{-1})	m_v (10^{-2} kPa^{-1})	k (10^{-9} m/s)
0			2,660		3,63											
	20	10		0,203		0,35	5,46	4,46	2,559	1,279	1,637	102	31,618	1,750	0,392	12,394
20			2,457		3,28											
	20	30		0,230		0,40	3,08	4,08	2,342	1,171	1,371	1140	2,369	2,000	0,490	1,161
40			2,227		2,88											
	40	60		0,300		0,52	2,62	3,62	2,077	1,039	1,079	1680	1,265	1,300	0,359	0,454
80			1,927		2,36											
	80	120		0,276		0,48	2,12	3,12	1,789	0,895	0,801	1800	0,730	0,600	0,192	0,140
160			1,651		1,88											
	160	240		0,268		0,47	1,65	2,65	1,517	0,759	0,576	1620	0,700	0,294	0,111	0,078
320			1,383		1,41											
	320	480		0,269		0,47	1,18	2,18	1,249	0,625	0,391	1380	0,558	0,147	0,067	0,037
640			1,114		0,94											
	320			0,022												
320			1,136		0,98											
	160			0,040												
160			1,176		1,04											
	80			0,041												
80			1,217		1,12											
	40			0,029												
40			1,246		1,17											
	20			0,028												
20			1,274		1,22											
	20			0,050												
0			1,324		1,31											

FIGURA 11 - FICHA DE ENSAIO DE ADENSAMENTO