



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES  
DEPARTAMENTO NACIONAL DE  
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES  
DIRETORIA-GERAL  
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E  
PESQUISA  
INSTITUTO DE PESQUISAS EM  
TRANSPORTES  
Setor de Autarquias Norte  
Quadra 03 Lota A  
Ed. Núcleo dos Transportes  
Brasília – DF – CEP 70040-902  
Tel./fax: (61) 3315-4831

JUNHO 2023

NORMA DNIT 258/2023 – ME

## Solos – Compactação em equipamento miniatura – Ensaio Mini-MCV e perda de massa por imersão – Método de ensaio

**Autor:** Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR

**Processo:** 50600.005709/2023-13

**Origem:** Revisão das normas DNER – ME 256/94 e DNER – ME 258/94

**Aprovada pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 06/06/2023.**

*Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.*

Palavras-chave:	Nº total de páginas
Ensaio de compactação, Mini-MCV, perda de massa por imersão, solos tropicais	22

### Resumo

Este documento estabelece a sistemática a ser empregada na execução dos ensaios Mini-MCV e perda de massa por imersão, necessários para determinação dos coeficientes empíricos utilizados na caracterização e classificação de solos finos tropicais, compactados em escala reduzida, utilizando corpos de prova cilíndricos com 50 mm de diâmetro e amostras não trabalhadas. Descreve equipamentos, cálculos e condições para a obtenção dos resultados.

### Abstract

This document establishes the systematic to be used for performing the Mini-MCV and mass loss by immersion tests, required for the determination of the empirical coefficients used in the characterization and classification of tropical fine soils, compacted on a reduced scale, using 50 mm diameter cylindrical specimens and undisturbed samples. It describes the apparatus, the required calculations and conditions for obtaining the results.

### Sumário

Prefácio.....	1
1 Objetivo.....	1
2 Referências normativas .....	2
3 Termos e definições.....	2

4 Aparelhagem.....	5
5 Amostragem.....	6
6 Preparação das amostras .....	6
7 Aferição do aparelho de compactação.....	6
8 Execução dos ensaios .....	7
9 Cálculos .....	9
10 Resultados.....	10
Anexo A (normativo) – Tabelas e figuras .....	11
Anexo B (informativo) – Bibliografia .....	21
Índice geral.....	22

### Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR conforme a Instrução Normativa nº 20/DNIT SEDE, de 1º de novembro de 2022 e a norma DNIT 001/2023 – PRO.

Esta publicação cancela e substitui as normas DNER – ME 256/94 e DNER – ME 258/94.

### 1 Objetivo

Esta Norma estabelece a avaliação à susceptibilidade dos solos finos tropicais à compactação e à perda de massa por imersão, propriedades que são utilizadas para a caracterização e classificação dos solos tropicais de

comportamento laterítico e não laterítico, no sistema de classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical).

## 2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação desta Norma. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

- a) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – EM 035/95: Peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos.
- b) \_\_\_\_\_. DNER – PRO 003/94: Coleta de amostras deformadas de solos.
- c) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 228 – ME: Solos – Ensaio de compactação em equipamento miniatura – Método de ensaio.

## 3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento técnico, aplicam-se os seguintes termos e definições:

### 3.1 Solo fino

Solo que passa integralmente na peneira nº 10 (2 mm), com tolerância de até 5 % de fração retida.

### 3.2 Compactação

Processo mecânico destinado a reduzir o volume de vazios de um solo, com o objetivo de aumentar sua massa específica, resistência e estabilidade. No ensaio de compactação Mini-MCV, esse processo é realizado com solo fino tropical, utilizando apenas a fração que passa integralmente na peneira nº 10 (2 mm). As amostras são compactadas em moldes cilíndricos, por meio da aplicação de golpes sucessivos, com soquete de massa e altura de queda padronizadas, com a energia de compactação necessária para atingir a máxima massa específica, tendendo a um valor próximo da condição de saturação.

Na metodologia MCT, existem dois métodos de compactação: Mini-Proctor (DNIT 228 – ME) e Mini-MCV. As principais diferenças entre os dois métodos estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Principais diferenças entre as compactações Mini-Proctor e Mini-MCV**

Compactação	Energia	Altura do CP	Massa do CP
Mini-Proctor	Fixa	50 ± 1 mm	Variável
Mini-MCV	Variável	Variável	200 g

### 3.3 Teor de umidade

Razão entre a quantidade de água contida em uma certa porção de solo e a sua massa seca em estufa, expressa em porcentagem.

### 3.4 Umidade higroscópica

Teor de umidade residual que o solo apresenta quando seco ao ar.

### 3.5 Massa específica aparente seca (MEAS)

Razão entre a massa de uma certa porção de solo seco em estufa e o seu volume aparente, expressa em quilogramas por metro cúbico, ou outra unidade do SI.

### 3.6 Série de golpes

Corresponde aos números de golpes para os quais se mede a altura do corpo de prova, durante a compactação, que deve ser realizada de forma contínua, com a aplicação de golpes sucessivos.

Pode-se utilizar as duas séries de golpes seguintes:

- a) Série de Parsons: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192, 256.
- b) Série Simplificada: 1, 3, 6, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250.

O número de golpes (n) é acumulativo. Por exemplo, para a série 1, 3, 6, 10..., os golpes devem ser contados da seguinte forma: efetuam-se um golpe (n = 1); efetuam-se mais dois golpes (n = 3); efetuam-se mais três golpes (n = 6); efetuam-se mais quatro golpes (n = 10); etc.

NOTA 1: A Série de Parsons é recomendada para a classificação de solos que caem muito próximos do limite entre as classes de solos com comportamentos lateríticos e não lateríticos.

### 3.7 Afundamento ( $a_n$ )

Varição da altura do corpo de prova durante a compactação. O afundamento pode ser calculado de duas formas, dependendo da série de golpes adotada:

a) Série de Parsons, pela Equação (1):

$$a_n = A_n - A_{4n} \quad (1)$$

Onde:

$a_n$  é o afundamento do golpe  $n$ , expresso em milímetros (mm);

$A_n$  é a altura do corpo de prova após a aplicação de  $n$  golpes, expressa em milímetros (mm);

$A_{4n}$  é altura do corpo de prova após a aplicação de  $4 \times n$  golpes, expressa em milímetros (mm).

b) Série simplificada, pela Equação (2):

$$a_n = A_n - A_f \quad (2)$$

Onde:

$a_n$  é o afundamento do golpe  $n$ , expresso em milímetros (mm);

$A_n$  é a altura do corpo de prova após a aplicação de  $n$  golpes, expressa em milímetros (mm);

$A_f$  é altura final do corpo de prova após a aplicação do último golpe, expressa em milímetros (mm).

### 3.8 Curva de deformabilidade

Gráfico cartesiano que correlaciona, para cada teor de umidade, os afundamentos sucessivos do corpo de prova, no eixo das ordenadas (escala aritmética), com o número de golpes aplicados, no eixo das abscissas (escala logarítmica decimal). A Figura A9 do Anexo A

apresenta exemplos de curvas de deformabilidade.

### 3.9 Mini-MCV

Coefficiente adimensional calculado pela Equação (3):

$$Mini - MCV = 10 \cdot \log_{10}(B_n) \quad (3)$$

Onde:

$Mini - MCV$  é um coeficiente adimensional;

$B_n$  é o número de golpes correspondente a um afundamento de 2 mm.

O coeficiente Mini-MCV deve ser calculado para todas as curvas de deformabilidade, havendo um valor de Mini-MCV para cada teor de umidade.

### 3.10 Coeficiente de argilosidade ( $c'$ )

Valor absoluto do coeficiente angular da parte retilínea (ou assimilável a uma reta) mais inclinada da curva de deformabilidade com  $Mini-MCV = 10$  (real ou interpolada), calculado pela Equação (4):

$$c' = \left| \frac{\Delta a_n}{\Delta(Mini - MCV)} \right| \quad (4)$$

Onde:

$c'$  é o coeficiente de argilosidade, expresso em milímetros (mm);

$\Delta a_n$  é a variação do afundamento, no trecho retilíneo e mais inclinado da curva de deformabilidade com  $Mini-MCV = 10$ , expressa em milímetros (mm);

$\Delta(Mini - MCV)$  é a variação do eixo das abscissas, no trecho retilíneo e mais inclinado da curva de deformabilidade com  $Mini-MCV = 10$ , adimensional.

NOTA 2: Para determinar o coeficiente de argilosidade, as curvas de deformabilidade devem ser plotadas com os valores do eixo das abscissas na escala  $10 \cdot \log_{10}(n)$ , conforme a Figura A10 do Anexo A.

NOTA 3: Como raramente se obtém a curva de deformabilidade com Mini-MCV = 10, esta curva pode ser obtida por interpolação gráfica, conforme exemplo da Figura A10 do Anexo A.

### 3.11 Curva de compactação Mini-MCV

Para cada valor de  $n$  da série de golpes, é o gráfico cartesiano que correlaciona, em escala aritmética, os valores dos teores de umidade de compactação ( $h_c$ ), no eixo das abscissas, e seus correspondentes valores de  $MEAS$ , no eixo das ordenadas.

As curvas de compactação do Mini-MCV, em geral, apresentam formatos semelhantes aos das curvas de compactação obtidas pelo Mini-Proctor, sendo a região anterior ao ponto máximo teórico da curva designada como “ramo seco” e a região posterior designada como “ramo úmido”. Em geral, os ramos secos das curvas de compactação devem ser aproximadamente paralelos. A Figura A11 do Anexo A apresenta exemplos de curvas de compactação Mini-MCV.

Recomenda-se que sejam traçadas, pelo menos, cinco curvas de compactação, para avaliar a qualidade do ensaio. Para a série de Parsons, devem-se traçar as curvas referentes aos golpes 8, 10, 12, 16 e 24. Para a série Simplificada, devem-se traçar as curvas referentes aos golpes 3, 6, 10, 20 e 30.

### 3.12 Coeficiente $d'$

Coeficiente angular da parte retilínea (ou assimilável a uma reta) mais inclinada do ramo seco da curva de compactação correspondente ao número de golpes de referência, conforme Figura A11 do Anexo A. Adotando-se a série de golpes de Parsons, o número de golpes de referência é 12. Para a série Simplificada, o número de golpes de referência é 10.

O coeficiente  $d'$  é obtido pela Equação (5):

$$d' = \frac{\Delta MEAS}{\Delta h_c} \quad (5)$$

Onde:

$d'$  é o coeficiente angular da parte retilínea (ou assimilável a uma reta) mais inclinada do ramo seco da

curva de compactação correspondente ao número de golpes de referência, expresso em quilogramas por metro cúbico por porcentagem [(kg/m<sup>3</sup>) / %];

$\Delta MEAS$  é a variação da massa específica aparente seca do solo, para a parte retilínea (ou assimilável a uma reta) mais inclinada do ramo seco da curva de compactação de referência, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>);

$\Delta h_c$  é a variação do teor de umidade do solo, para a parte mais inclinada e retilínea do ramo seco da curva de compactação de referência, expressa em porcentagem (%).

### 3.13 Perda de massa por imersão ( $Pi$ )

Porcentagem de massa seca desprendida de um corpo de prova, quando imerso em água, em relação à parte extrudada da amostra de solo compactada, calculada pela Equação (6):

$$Pi = 100 \times \frac{M_d \times L_{cp}}{M_s \times L_{ex}} \times F_c \quad (6)$$

Onde:

$Pi$  é o coeficiente de perda de massa por imersão, expresso em porcentagem (%);

$M_d$  é a massa seca desprendida, após a imersão, expressa em gramas (g);

$M_s$  é a massa seca do CP íntegro, antes da imersão, expressa em gramas (g);

$L_{cp}$  é a altura do CP íntegro, antes da imersão, expressa em milímetros (mm);

$L_{ex}$  é a altura da parte extrudada do CP, expressa em milímetros (mm);

$F_c$  é o fator de correção, adimensional ( $F_c = 1$  : desprendimento normal e  $F_c = 0,5$  : desprendimento em monobloco coeso).

A perda de massa por imersão deve ser determinada

para cada corpo de prova, havendo um valor de  $P_i$  para cada teor de umidade.

#### 4 Aparelhagem

A aparelhagem e o material necessários:

a) Compactador miniatura, Figura A1 do Anexo A, e acessórios, conforme especificado abaixo:

- Base de concreto para fixar a armação.
- Armação metálica composta por base, placa superior, placa inferior, pistão cilíndrico com 49,8 mm de diâmetro e 80 mm de altura, hastes com extremidades rosqueáveis e porcas para ajuste da altura das placas, conforme Figura A2 do Anexo A.
- Soquete cilíndrico de aço, tipo leve, com massa de 2,270 kg, altura de queda de 30,5 cm e com sapata de 49,8 mm de diâmetro, conforme Figura A3 do Anexo A.
- Dispositivo de alavanca para extração de corpos de prova, conforme Figura A4 do Anexo A.
- Espaçadores, de aço, tipo meia cana, com altura de 50 mm e raio interno de 25 mm, conforme Figura A5 do Anexo A.
- Moldes cilíndricos de compactação, confeccionados em aço inoxidável, latão ou bronze, com diâmetro interno de 50 mm e altura de 130 mm, conforme Figura A5 do Anexo A.
- Cilindro padrão de aço maciço, com diâmetro de 49,8 mm, de faces perfeitamente paralelas e polidas, com altura de 50 mm, conforme Figura A5 do Anexo A.
- Assentador cilíndrico tipo sapata, conforme Figura A5 do Anexo A, com base de 49 mm de diâmetro e comprimento de cerca de 130 mm, confeccionado em madeira, alumínio ou outro material com resistência adequada.
- Anéis de vedação, de latão, bronze ou aço inoxidável, com 50 mm de diâmetro externo e

seção triangular isósceles, com catetos de 2,5 mm (um paralelo ao eixo do molde e outro perpendicular ao mesmo), conforme Figura A5 do Anexo A.

- Discos de polietileno de 0,2 mm de espessura e 50 mm de diâmetro, conforme Figura A6 do Anexo A.
  - Funil, com bocal maior com 15 cm de diâmetro, bocal menor com 4,5 cm de diâmetro e altura de cerca de 25 cm, conforme Figura A6 do Anexo A.
  - Extensômetro com curso mínimo de 50 mm e precisão de 0,01 mm, conforme exemplo da Figura A1 do Anexo A.
  - Dispositivo para fixar o extensômetro na armação, permitindo a leitura da altura do corpo de prova, conforme exemplo da Figura A1 do Anexo A.
- b) Balança de precisão com capacidade nominal de 2 kg e resolução de 0,01 g.
- c) Estufa capaz de manter a temperatura a  $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ . Se possível, a estufa deve ser ventilada.
- d) Cápsulas de alumínio ou outro material adequado.
- e) Peneira de malha quadrada com abertura de 2 mm, conforme a DNER – EM 035/95.
- f) Almofariz com capacidade de cerca de 5 litros e mão de gral recoberta de borracha.
- g) Sacos plásticos, hermeticamente vedados, com capacidade de cerca de 2 litros.
- h) Recipientes e utensílios de laboratório necessários para a preparação das amostras de solo.
- i) Vaselina sólida.
- j) Recipiente de imersão, conforme Figura A7 do Anexo A, com capacidade de conter um nível de água, pelo menos, 1,0 cm acima do molde de compactação, acomodado sobre o suporte, na posição descrita na alínea seguinte.

- k) Suportes para os moldes de compactação, capazes de manter os moldes em repouso na posição horizontal, a uma distância de, no mínimo, 4,0 cm do fundo do recipiente de imersão, conforme exemplo ilustrado na Figura A7 do Anexo A.
- l) Cápsulas cilíndricas de porcelana ou alumínio, com diâmetro de 8,0 cm e capacidade de 75 ml, conforme Figura A7 do Anexo A.
- m) Planilha de ensaio impressa, conforme modelo constante na Figura A8 do Anexo A.

## 5 Amostragem

A amostra deve ser coletada de acordo com a norma DNER – PRO 003/94, com quantidade mínima de 2,50 kg de fração passando na peneira de nº 10 (2 mm).

## 6 Preparação das amostras

- a) Colocar toda a amostra recebida em bandejas, para secar até que a sua umidade fique próxima da umidade higroscópica. A secagem pode ser realizada ao ar livre ou em estufa com temperatura máxima de 60 °C.
- b) Depois da secagem, destorroar toda a amostra, com o auxílio do almofariz e da mão de gral revestida de borracha.
- c) Em seguida, peneirar toda a amostra na peneira de malha quadrada nº 10 (2 mm). Os torrões de solo retidos na peneira devem ser destorroados de maneira contínua, sem que ocorra quebra de partículas, até que a fração fina passe totalmente. Ao final deste processo, deve-se determinar a porcentagem correspondente à fração retida na peneira nº 10, que não deve ultrapassar 5 %, e este material deve ser descartado.
- d) Homogeneizar bem a amostra destorroada e passante na peneira nº 10.
- e) Pesar a amostra homogeneizada e retirar uma fração para determinação do teor de umidade higroscópica, conforme a subseção 8.3, para eventual uso nos cálculos da porcentagem de fração retida na peneira nº 10 e das umidades nas porções que serão

compactadas.

- f) Dividir a amostra restante em cinco porções iguais de aproximadamente 500 g cada.
- g) Em uma das cinco porções, adicionar água gradativamente (medindo o volume adicionado) e revolvendo continuamente o material, até atingir um teor de umidade considerado próximo da umidade ótima presumível para o solo utilizado.
- h) Homogeneizar a porção preparada com a umidade ótima presumível, destorroando o solo manualmente, para minimizar os grumos e uniformizar o teor de umidade. Em seguida, adicioná-la em um saco plástico hermeticamente vedado, identificado com o número três (3º valor de umidade) e manter em câmara úmida, por um período mínimo de 12 horas.
- i) Para as quatro porções restantes, adicionar, em cada uma delas separadamente, os volumes de água necessários para que se obtenham duas porções com umidade inferior à umidade ótima presumível e duas com umidade superior, de modo que as cinco amostras preparadas para o ensaio tenham teores de umidade sucessivamente crescentes entre si, com variação de umidade entre pontos consecutivos de, aproximadamente, 1 % a 2 % para solos arenosos e 2 % a 3 % para solos argilosos e siltosos.
- j) Homogeneizar, separadamente, as quatro porções preparadas, logo após a adição de água, destorroando o solo manualmente, para minimizar os grumos e uniformizar os teores de umidade. Em seguida, adicioná-las, individualmente, em sacos plásticos hermeticamente vedados, identificados com os números um, dois, quatro e cinco, seguindo a ordem crescente de teores de umidades, e manter as amostras em câmara úmida, junto com a amostra de umidade ótima presumível, por um período mínimo de 12 horas.

## 7 Aferição do aparelho de compactação

O aparelho de compactação miniatura deve ser aferido, para efeito da determinação da altura do corpo de prova, do seguinte modo:

- a) Posicionar o suporte espaçador bipartido em torno do pistão inferior do conjunto compactador.
- b) Assentar o molde cilíndrico sobre o espaçador bipartido, envolvendo o pistão inferior, e colocar dentro do molde os discos de polietileno e o cilindro padrão de aço maciço.
- c) Posicionar o soquete compactador a ser utilizado sobre a superfície superior do cilindro padrão (dentro do molde) e fixar a sua haste à placa inferior da armação, de forma centralizada.
- d) Fixar o suporte do extensômetro sobre a placa superior da armação de compactação e posicionar o extensômetro, de modo que a sua haste móvel fique perfeitamente centrada sobre a haste do soquete.
- e) Ajustar a altura do extensômetro e fixá-lo no suporte, de modo que a sua haste móvel fique em contato com o topo da haste do soquete compactador e que seu curso fique totalmente livre para realizar as leituras.
- f) Realizar a leitura do extensômetro.
- g) Calcular a constante de aferição ( $K_a$ ) do conjunto compactador-soquete e anotar seu valor na folha de ensaio. O cálculo de  $K_a$  é feito pela Equação (7):

$$K_a = A_c + L_a \quad (7)$$

Onde:

$K_a$  é a constante de aferição, expressa em milímetros (mm);

$A_c$  é a altura do cilindro padrão, expressa em milímetros (mm);

$L_a$  é a leitura do extensômetro a que se refere a alínea “e”, expressa em milímetros (mm).

NOTA 4: A constante  $K_a$  depende da posição do extensômetro. Portanto, na execução do ensaio, as leituras devem ser realizadas com o extensômetro fixado na mesma posição utilizada na aferição. Caso o extensômetro

seja invertido, os sinais nas Equações (7) e (9) também devem ser invertidos.

NOTA 5: Alguns extensômetros podem apresentar leitura inicial ajustável. Nesse caso, as alturas dos corpos de prova poderão ser determinadas diretamente das leituras, sem o uso da constante  $K_a$ .

## 8 Execução dos ensaios

### 8.1 Ensaio Mini-MCV

As etapas para a execução do ensaio Mini-MCV estão descritas a seguir:

- a) Limpar os moldes a serem usados e lubrificar com vaselina, removendo os excessos.
- b) Posicionar os espaçadores envolvendo o pistão inferior. Assentar o molde sobre os espaçadores, também envolvendo o pistão inferior. Colocar dentro do molde, de forma centralizada, um disco de polietileno e, se necessário, um anel de vedação.

NOTA 6: Recomenda-se o uso do anel de vedação quando a folga entre o diâmetro interno do molde e o diâmetro do pistão inferior for superior a 0,2 mm e/ou quando se utilizarem porções muito úmidas de argilas e siltes argilosos.

- c) Tomar a porção de amostra preparada com o maior teor de umidade, retirar do saco plástico, homogeneizar e pesar a quantidade de 200 g, com precisão de 0,01 g.
- d) Despejar no molde a porção pesada, com auxílio do funil.
- e) Nivelar o solo dentro do molde com auxílio do assentador, exercendo uma leve pressão e efetuando pequenos movimentos rotativos.
- f) Colocar o segundo disco de polietileno sobre o topo da porção de solo, introduzindo em seguida, se necessário, o anel de vedação, obedecendo as recomendações constantes na NOTA 6.

- g) Coletar duas amostras para determinar o teor de umidade, conforme a subseção 8.3, utilizando a porção da amostra que restou no saco plástico.
- h) Efetuar a compactação obedecendo a seguinte sequência:
- Colocar o soquete tipo leve, previamente aferido, sobre o topo da amostra protegida com disco de polietileno e efetuar a primeira medida do extensômetro, movimentando previamente o seu braço de sustentação e encaixando-o de maneira apropriada na armação do compactador. O valor obtido é a leitura correspondente ao golpe zero.
  - Aplicar o primeiro golpe, efetuar, logo em seguida, a leitura do extensômetro correspondente ao golpe um ( $n = 1$ ) e retirar o espaçador.
  - Aplicar golpes sucessivos na amostra e efetuar as leituras do extensômetro nos números de golpes correspondentes à série de golpes adotada.
  - Finalizar o processo de compactação quando:
    - (i) na série de Parsons, a diferença entre a leitura dos golpes  $4n$  e  $n$  for inferior a 2 mm; (ii) na série Simplificada, a diferença entre as leituras de dois pontos consecutivos da série de golpes for inferior a 0,1 mm; (iii) houver intensa exsudação de água no topo e na base do corpo de prova; ou (iv) o número de golpes atingir 256, na série de Parsons, ou 250, na série Simplificada.
- i) Repetir todo o procedimento utilizando as demais porções da amostra, em ordem decrescente de umidade.

## 8.2 Ensaio de perda de massa por imersão

As etapas para a execução do ensaio perda de massa por imersão estão descritas a seguir:

- a) Posicionar o recipiente de imersão em local adequado e colocar dentro dele uma cápsula de alumínio ou de porcelana para cada corpo de prova,

de maneira que o centro da cápsula coincida com a vertical passando pelo centro da parte extrudada do corpo de prova, conforme a Figura A7 do Anexo A, para que todo o material desprendido caia dentro da cápsula.

- b) Preencher o recipiente de imersão com água, até que a lâmina de água atinja um nível, de no mínimo, 10 mm acima daquele em que ficará a superfície externa dos moldes quando estes forem transferidos para o recipiente.
- c) Após a compactação, conforme a alínea “h” da subseção 8.1, deslocar parcialmente, de forma suave e contínua, o corpo de prova contido no molde, com uso do extrator, de maneira que o seu topo (superfície que esteve em contato com o soquete de compactação) fique extrudado 10 mm, conforme Figura A7 do Anexo A..
- d) Retirar os discos de polietileno e os anéis de vedação das extremidades do corpo de prova e transferir os moldes com os corpos de prova e os seus suportes para o recipiente de imersão, cuidadosamente, posicionando os moldes horizontalmente, conforme as alíneas “j” e “k” da seção 4 e conforme Figura A7 do Anexo A.
- e) Repetir as alíneas “c” e “d” para todos os corpos de prova.
- f) Observar o comportamento dos corpos de prova nos primeiros minutos e anotar eventuais peculiaridades, tais como: desagregação, desprendimento de bolhas, inchamento e trincamento.
- g) Após um período de imersão de 20 horas, esvaziar o recipiente de imersão, de maneira contínua e suave, e retirar os moldes, cuidadosamente, mantendo-os na posição horizontal, a fim de evitar derramamento de solo. Examinar e anotar a forma das porções de solo que permaneceram nos moldes.
- h) Retirar cuidadosamente do recipiente de imersão as cápsulas que apresentaram deposição de solo e anotar o aspecto do material, após a eliminação da água limpa. Colocar as cápsulas com solo desprendido em estufa (temperatura de 105 °C a 110 °C) por, no mínimo, 12 horas ou até constância



de massa, para determinar a massa de solo seco desprendido.

### 8.3 Determinação da umidade

A determinação do teor de umidade, onde for necessária, deve ser feita conforme os passos seguintes:

- Identificar e pesar, separadamente, duas cápsulas, limpas e secas e anotar as respectivas massas como  $A_1$  e  $B_1$ .
- Colocar as amostras úmidas coletadas dentro das duas cápsulas, pesar, separadamente, os dois conjuntos solo úmido + cápsula e anotar as respectivas massas obtidas como  $A_2$  e  $B_2$ . As massas das amostras de solo úmido serão iguais a  $A_2 - A_1$  e  $B_2 - B_1$ , respectivamente.
- Transferir os conjuntos para uma estufa e secar as amostras na temperatura de  $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , por um período mínimo de 12 horas ou até constância de massa. No caso da umidade higroscópica, a temperatura não deve ultrapassar  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Pesar, separadamente, os conjuntos, solo seco + cápsula e anotar as respectivas massas obtidas como  $A_3$  e  $B_3$ . As massas das amostras de solo seco serão iguais a  $A_3 - A_1$  e  $B_3 - B_1$ , respectivamente.
- Calcular os dois valores de umidade, conforme a subseção 9.1, e obter a média aritmética entre eles.

## 9 Cálculos

### 9.1 Teor de umidade

O teor de umidade deve ser calculado pela Equação (8), utilizando as massas determinadas conforme a subseção 8.3:

$$h = \frac{(m_h - m_s) \times 100}{m_s} \quad (8)$$

Onde:

$h$  é o teor de umidade, expresso em porcentagem (%);

$m_h$  é a massa da amostra de solo úmido, expressa em gramas (g);

$m_s$  é a massa da amostra de solo seco em estufa, expressa em gramas (g).

### 9.2 Alturas e afundamentos

- Calcular, para cada corpo de prova, as alturas ao longo da série de golpes, a partir das leituras correspondentes do extensômetro, utilizando a Equação (9):

$$A_n = K_a - L_n \quad (9)$$

Onde:

$A_n$  é a altura do corpo de prova, após a aplicação de  $n$  golpes, expressa em milímetros (mm);

$K_a$  é a constante de aferição, expressa em milímetros (mm);

$L_n$  é a leitura do extensômetro, após a aplicação de  $n$  golpes, expressa em milímetros (mm).

NOTA 7: Se não for necessário utilizar a constante de aferição, conforme a NOTA 5, a altura do corpo de prova será igual ao valor da leitura.

- Calcular, para cada corpo de prova, os afundamentos do corpo de prova para a série de golpes adotada, conforme a subseção 3.7.

### 9.3 Massa específica aparente seca

Calcular os valores de massa específica aparente seca de cada corpo de prova compactado, para cada valor de  $n$  da série de golpes utilizada, pela Equação (10):

$$MEAS = \frac{M_h \times 100}{(100 + h_c) \times V} \quad (10)$$

Onde:

$MEAS$  é massa específica aparente seca do corpo de prova compactado, expressa em quilogramas por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$M_h$  é a massa úmida do corpo de prova compactado, expressa em quilogramas (kg);

$h_c$  é teor de umidade do corpo de prova compactado, expresso em porcentagem (%);

$V$  é volume do corpo de prova compactado, expresso em metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

O volume deve ser calculado para cada valor de  $n$  da série de golpes, utilizando as alturas obtidas conforme a subseção 9.2.

NOTA 8: Quando forem utilizados anéis de vedação, o volume total dos anéis deve ser subtraído do volume do corpo de prova.

#### 9.4 Coeficientes

- a) Traçar as curvas de deformabilidade de cada corpo de prova, conforme a Figura A9 do Anexo A, plotando no eixo das abscissas o número de golpes, em escala logarítmica decimal, e no eixo das ordenadas os valores de afundamento, em escala aritmética.
- b) A partir das curvas de deformabilidade, calcular o Mini-MCV para cada teor de umidade, conforme a subseção 3.9.
- c) Determinar a curva de deformabilidade de Mini-MCV = 10 (real ou interpolada) e calcular o coeficiente de argilosidade, conforme a subseção 3.10.
- d) Traçar as curvas de compactação, separadas em função do número de golpes, plotando no eixo das abscissas os valores de umidade de compactação e no eixo das ordenadas, os valores de massa específica aparente seca.

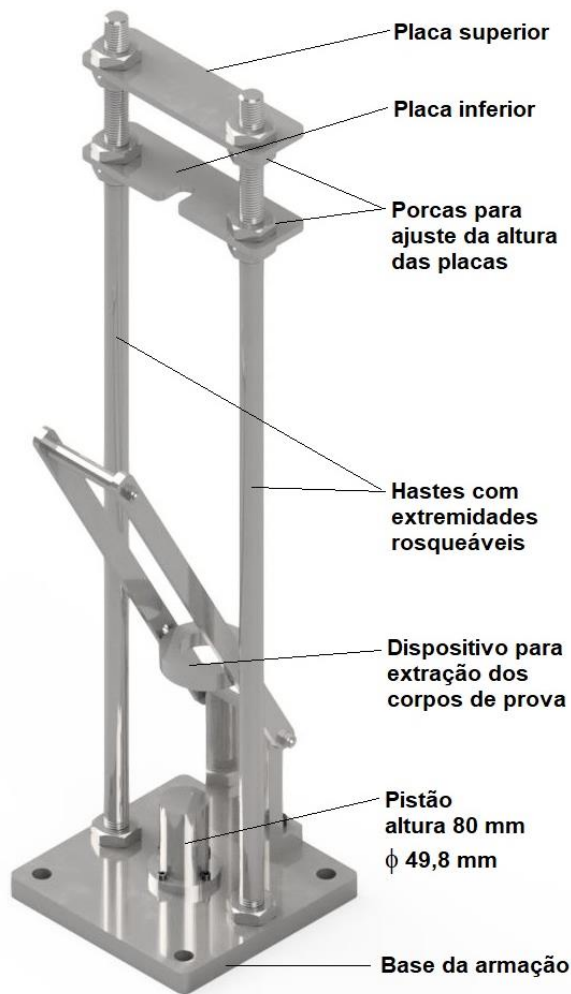
- e) Calcular o coeficiente  $d'$  para a curva de compactação de referência, conforme a subseção 3.12.
- f) Calcular, para cada corpo de prova, a perda de massa por imersão, conforme a subseção 3.13.

#### 10 Resultados

O Relatório deve conter os dados de identificação do solo e do ensaio e as informações seguintes:

- a) porcentagem retida na peneira nº 200 (0,075 mm);
- b) série de golpes utilizada;
- c) alturas finais dos corpos de prova;
- d) curvas de deformabilidade;
- e) curvas de compactação;
- f) valores de Mini-MCV para cada teor de umidade;
- g) valores de perdas de massa por imersão para cada teor de umidade;
- h) observações sobre o comportamento das amostras, após a imersão;
- i) forma das porções de solo que permaneceram nos moldes;
- j) tipo de desprendimento do solo das amostras, após a imersão;
- k) coeficientes  $c'$  e  $d'$ ;
- l) planilha de ensaio completa.

Anexo A (normativo) – Tabelas e figuras



(a) Modelo de equipamento de compactação miniatura.



(b) Exemplo de equipamento real.

Figura A1 – Equipamento de compactação miniatura

Fontes: Petrodidática e Egis

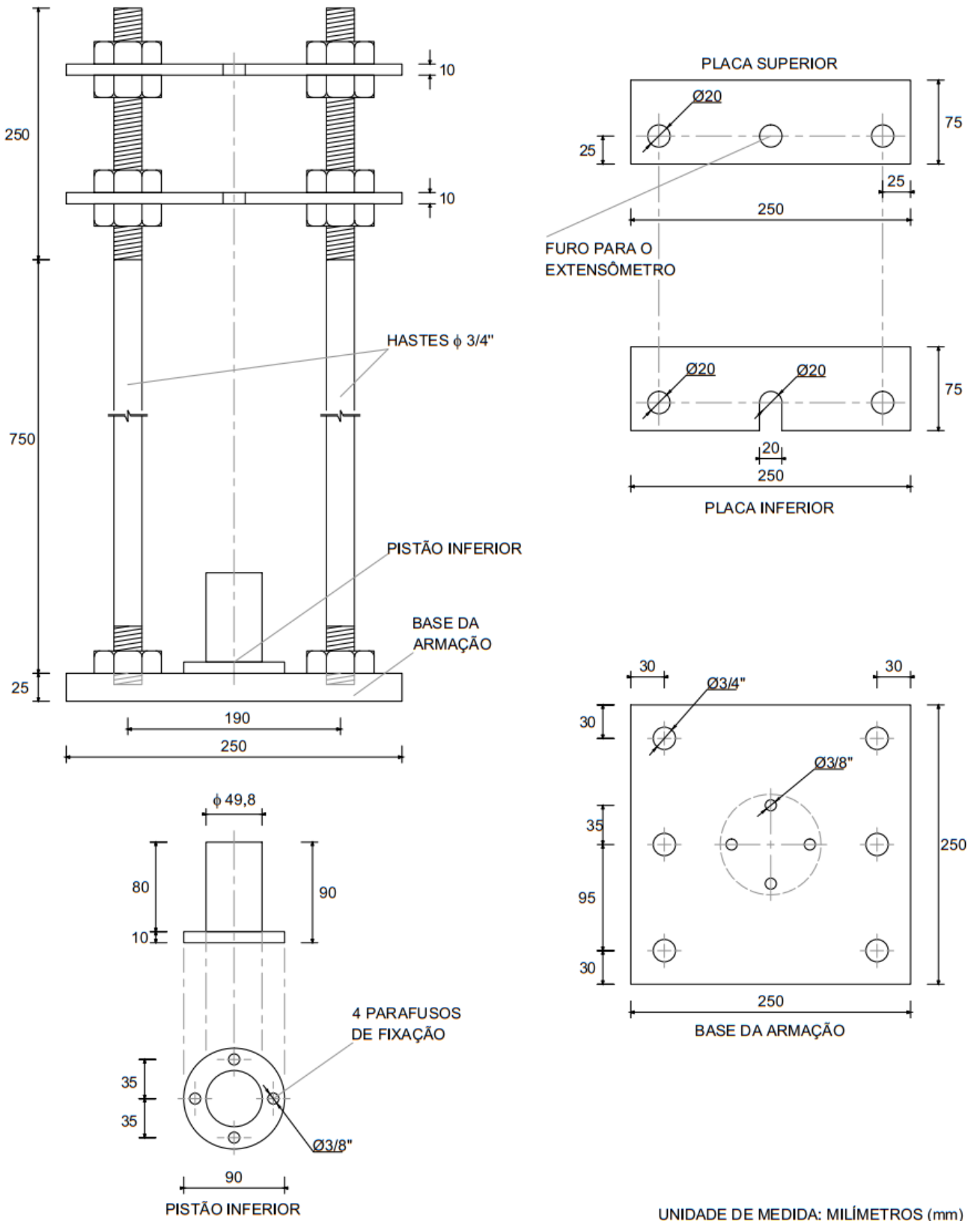


Figura A2 – Exemplo de detalhamento da armação do equipamento de compactação miniatura

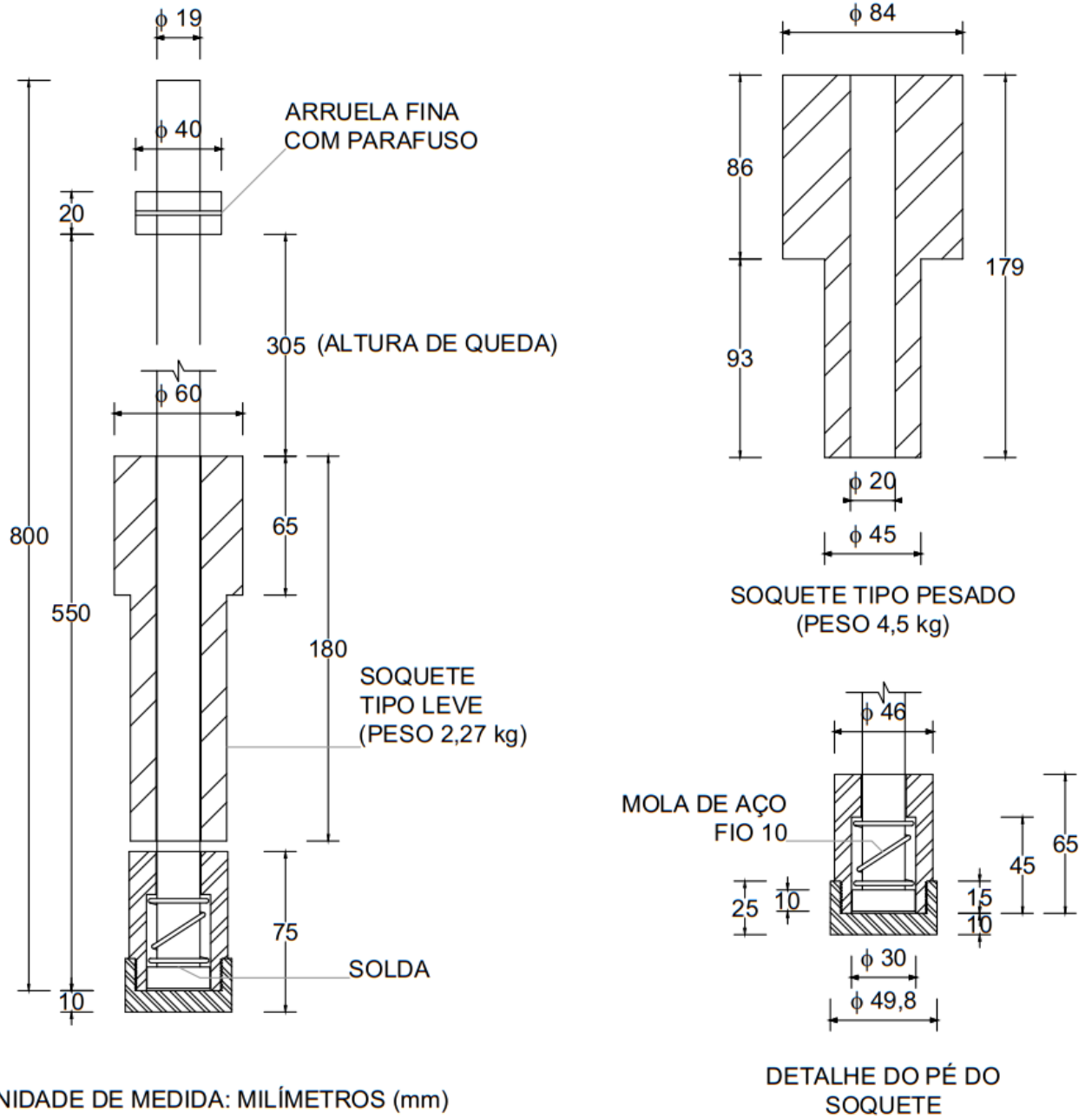


Figura A3 – Exemplo de detalhamento dos soquetes de compactação

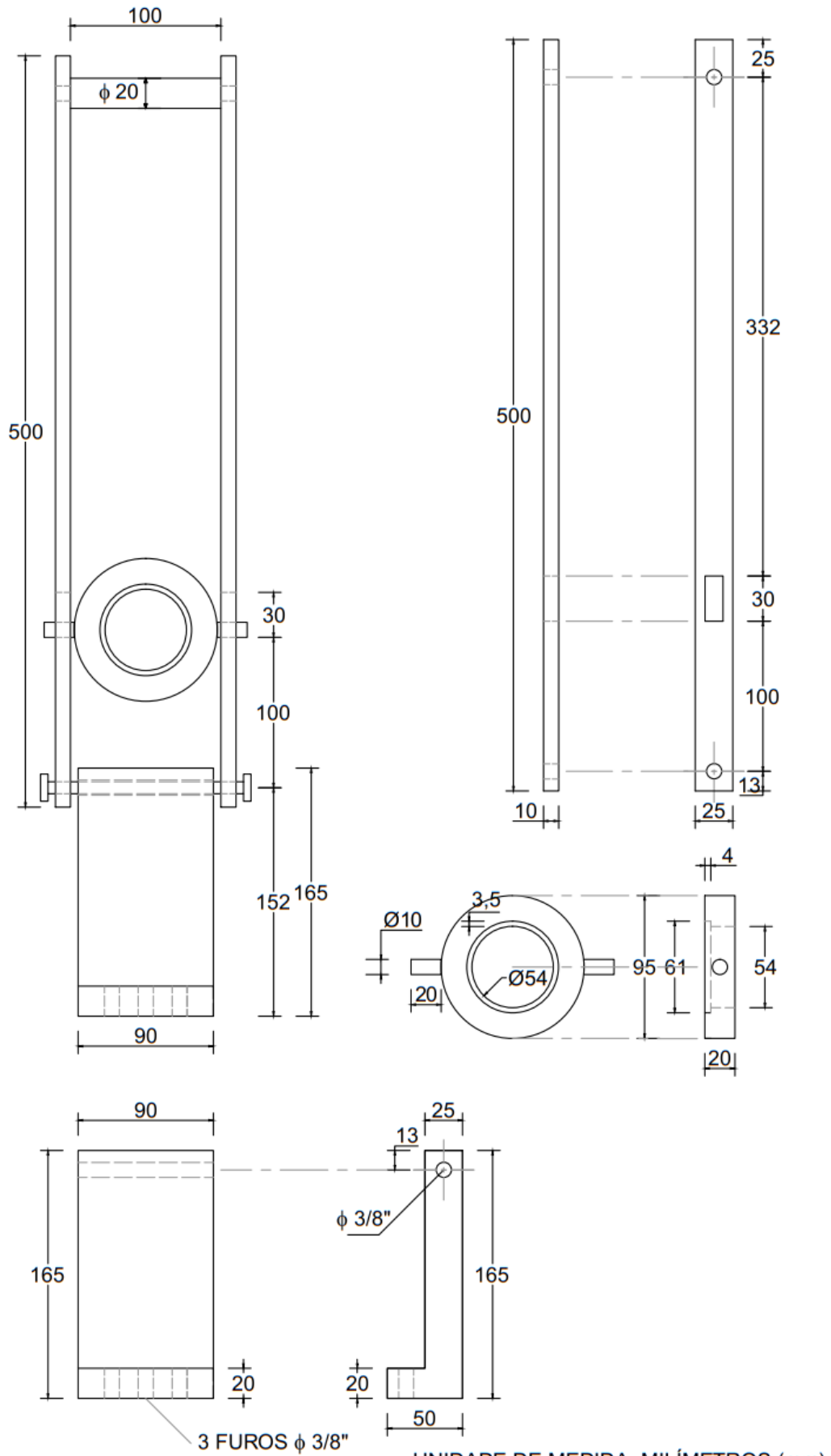
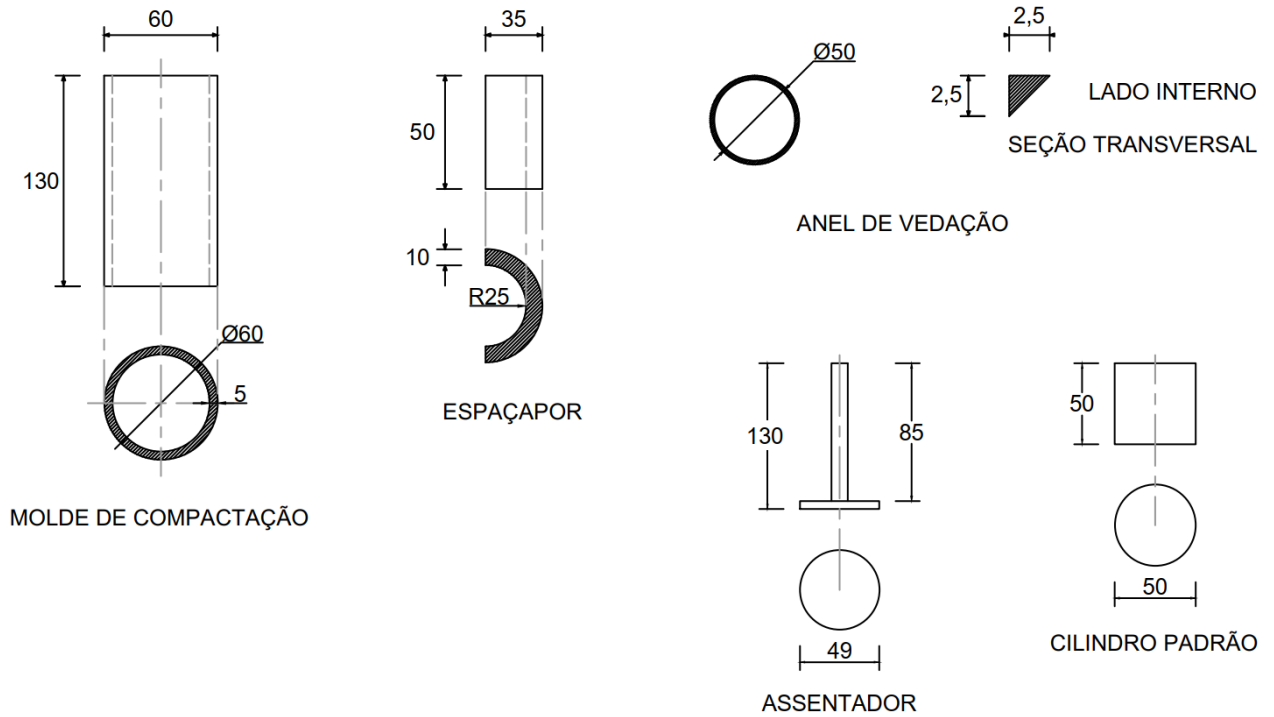


Figura A4 – Exemplo de detalhamento da alavanca para extração dos corpos de prova

UNIDADE DE MEDIDA: MILÍMETROS (mm)



UNIDADE DE MEDIDA: MILÍMETROS (mm)

**Figura A5 – Exemplo de detalhamento dos acessórios do equipamento de compactação**



(a) Equipamentos e acessórios para o ensaio de compactação miniatura



(b) Molde, discos de polietileno e anéis de vedação



(c) Equipamento montado sobre a base de concreto



(d) Aplicação de golpe com soquete



(e) Realização da leitura do extensômetro



(f) Corpo de prova compactado

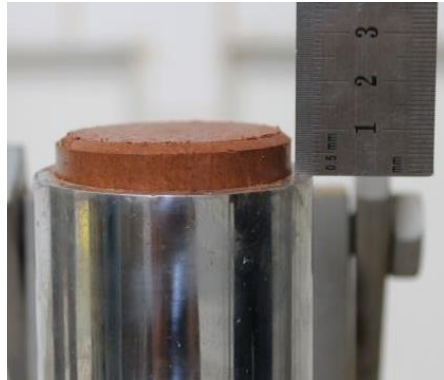
**Figura A6 – Exemplo de equipamentos, acessórios e procedimento de compactação**

Fontes: Lopes (2011), Oliveira (2018) e Pereira *et al.* (2020)





(a) Extrusão do corpo de prova compactado



(b) Corpo de prova com extrusão de 10 mm



(c) Corpo de prova sobre o suporte para a imersão



(d) Corpos de prova imersos



(e) Corpos de prova após o período de imersão



(f) Corpos de prova retirados da imersão

**Figura A7 – Equipamentos e procedimento de imersão**  
Fontes: Lopes (2011), Oliveira (2018) e Pereira *et al.* (2020)

ENSAYO MINI-MCV		RODOVIA:										OPERADOR:												
		TRECHO:										DATA: / /												
Cilindro N°	1	2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		
Massa de solo úmido (g)	200	200		200		200		200		200		200		200		200		200		200		200		
Massa de solo seco (g)	166,8	169,6		172,7		175,9		179,2		183,3		187,4		191,5		195,6		199,7		203,8		207,9		
Umidade (%)	19,90	17,90		15,80		13,70		11,60		9,50		7,40		5,30		3,20		1,10		-0,90		-2,80		
Área do cilindro = 19,635	Se Ka = 0, Altura = Leitura																							
Série Simplificada	Ka = 82,26 mm		Altura = Ka - Leitura		Se Ka = 0, Altura = Leitura		Se Ka = 0, Altura = Leitura		Se Ka = 0, Altura = Leitura		Se Ka = 0, Altura = Leitura		Se Ka = 0, Altura = Leitura		Se Ka = 0, Altura = Leitura		Se Ka = 0, Altura = Leitura		Se Ka = 0, Altura = Leitura		Se Ka = 0, Altura = Leitura		Se Ka = 0, Altura = Leitura	
N° de golpes	Leitura (mm)	Altura (mm)	MEAS (kg/m³)	an (mm)	Leitura (mm)	Altura (mm)	MEAS (kg/m³)	an (mm)	Leitura (mm)	Altura (mm)	MEAS (kg/m³)	an (mm)	Leitura (mm)	Altura (mm)	MEAS (kg/m³)	an (mm)	Leitura (mm)	Altura (mm)	MEAS (kg/m³)	an (mm)	Leitura (mm)	Altura (mm)	MEAS (kg/m³)	
3	25,95	56,31	1509	5,99	24,68	57,58	1500	9,04	23,93	58,33	1491	11,10	23,20	59,04	1482	13,20	22,47	59,75	1473	15,30	21,74	60,46	1464	
6	29,78	52,48	1619	2,16	28,33	53,93	1602	5,39	27,53	54,73	1593	7,50	26,73	55,53	1584	9,70	25,93	56,33	1575	11,90	25,13	57,13	1566	
10	31,48	50,78	1673	0,46	30,99	51,27	1685	2,73	30,30	51,96	1693	4,73	29,60	52,66	1701	7,22	28,80	53,26	1709	9,70	28,00	53,86	1717	
20	31,70	50,56	1680	0,24	33,25	49,01	1763	0,47	32,94	49,32	1783	2,09	32,14	49,63	1803	3,67	31,34	50,03	1811	5,30	30,74	50,63	1819	
30	31,88	50,38	1686	0,06	33,40	48,86	1768	0,32	33,84	48,42	1817	1,19	33,04	47,62	1867	2,17	32,24	48,02	1875	3,80	31,44	48,62	1883	
40	31,94	50,32	1688		33,65	48,61	1777	0,07	34,62	47,64	1846	0,41	33,82	46,64	1925	1,27	33,02	46,04	1933	2,90	32,24	46,64	1941	
60					33,72	48,54	1780		34,98	47,28	1860	0,05	34,18	45,66	1959	0,47	33,38	45,06	1967	2,10	32,68	45,66	1975	
80									35,00	47,26	1861	0,03	34,20	44,64	1979	0,20	33,40	44,04	1987	2,70	32,80	44,64	1995	
100									35,03	47,23	1862		34,23	43,62	1983	0,12	33,43	43,02	1991	2,80	32,80	43,62	2000	
120																				31,75	50,51	0,05	1774	
140																				31,80	50,46		1775	
160																							1689	
180																							1691	
Mini-MCV	7,8	10,5		13,1		15,0		18,0		21,0		24,0		27,0		30,0		33,0		36,0		39,0		
<b>PERDA DE MASSA POR IMERSÃO</b>																								
Tipo de desprendimento	Normal	Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		
Fator de correção	1	1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		
Altura final do CP (mm)	50,32	48,54		47,23		45,92		44,61		43,30		42,00		40,69		39,38		38,07		36,76		35,45		
Comprimento saliente (mm)	10	10		10		10		10		10		10		10		10		10		10		10		
Cápsula N°	38	156		136		116		96		76		56		36		16		-4		-24		-44		
Solo seco + cápsula (g)	101,77	81,44		65,89		50,34		34,79		19,24		3,69		-11,86		-27,41		-42,96		-58,51		-74,06		
Massa da cápsula (g)	54,19	50,94		47,69		44,44		41,19		37,94		34,69		31,44		28,19		24,94		21,69		18,44		
Massa seca desprendida (g)	47,58	30,50		14,81		-0,74		-12,29		-24,84		-37,39		-50,04		-62,59		-75,14		-87,69		-100,24		
Perda de massa (%)	143,5	87,3		40,5		-1,1		-30,9		-61,8		-92,7		-123,6		-154,5		-185,4		-216,3		-247,2		

Figura A8 – Exemplo de planilha de ensaio para a série Simplificada

Fonte: Adaptado de Villibor e Alves (2019)

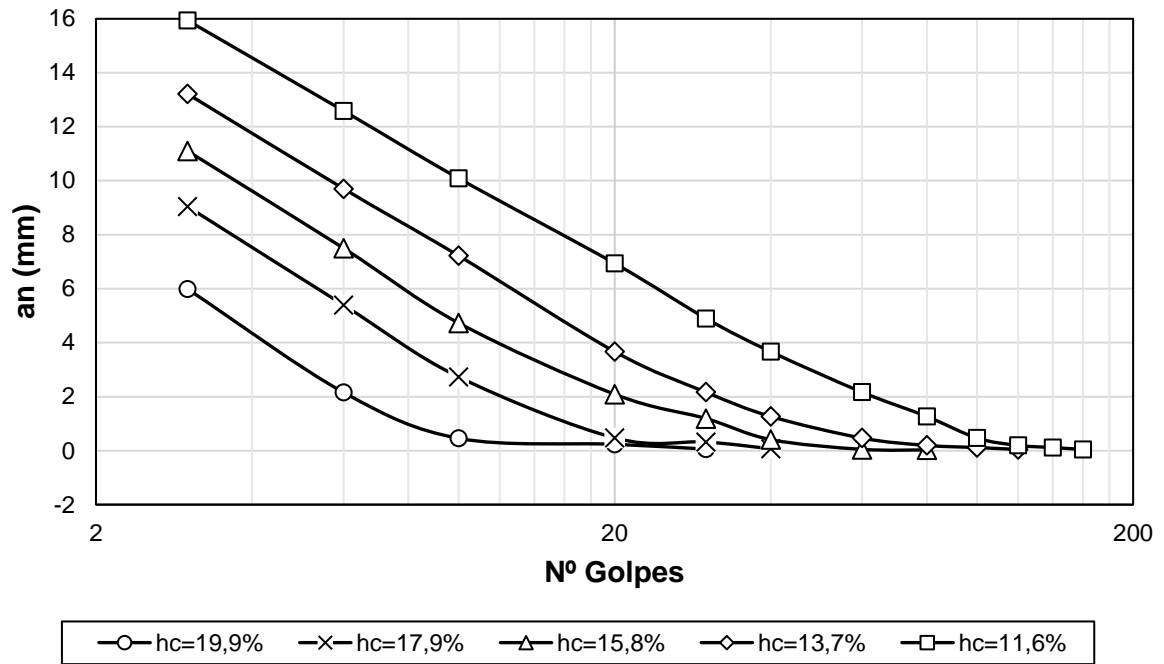


Figura A9 – Exemplos de curvas de deformabilidade obtidas com a Série Simplificada

Fontes: Adaptado de Villibor e Alves (2019)

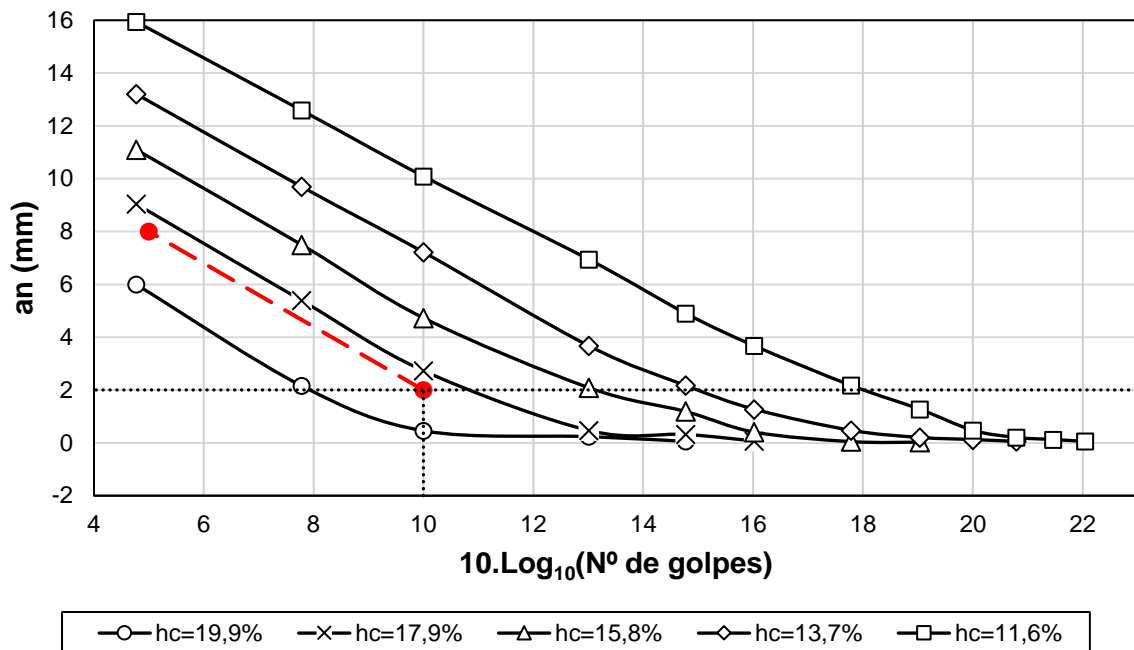


Figura A10 – Exemplos de curvas de deformabilidade obtidas com a Série Simplificada, plotadas em função dos valores de Mini-MCV, destacando a curva interpolada com Mini-MCV=10 (curva tracejada), para determinação do coeficiente  $c'$

Fontes: Adaptado de Villibor e Alves (2019)

O coeficiente de argilidade deste exemplo é calculado como segue:

$$c' = \left| \frac{\Delta a_n}{\Delta \text{Mini} - \text{MCV}} \right| = \left| \frac{8 - 2}{5 - 10} \right| = 1,20 \text{ mm}$$

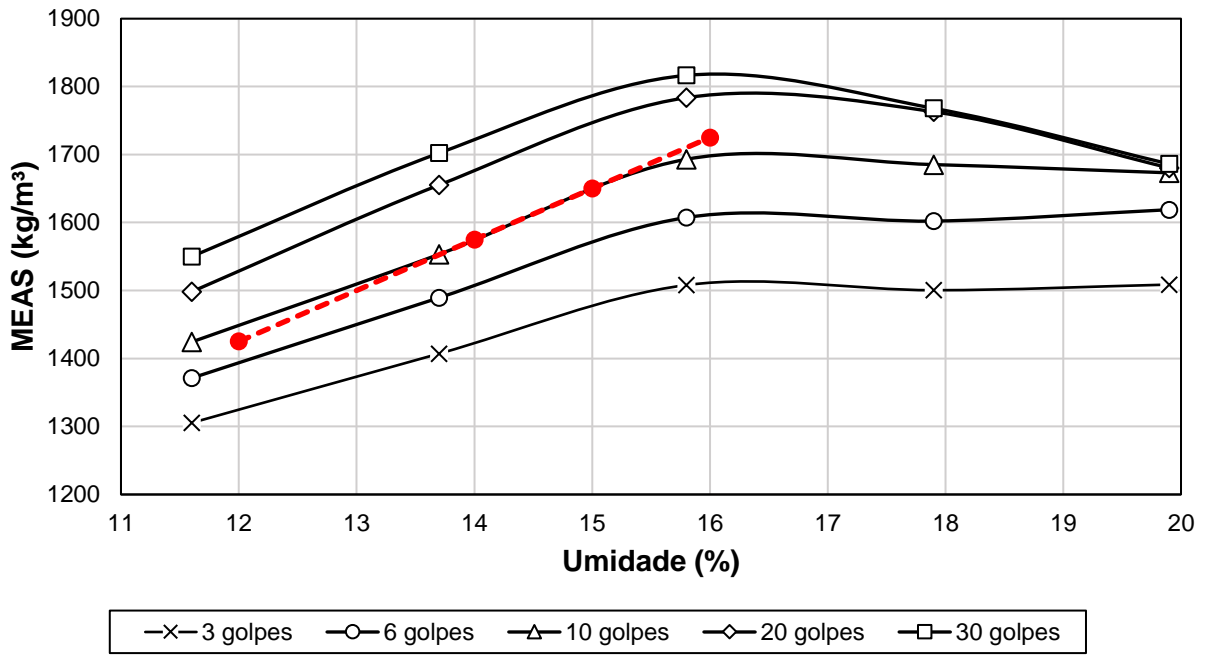


Figura A11 - Exemplos de curvas de compactação obtidas com a Série Simplificada, destacando a curva interpolada para determinação do coeficiente  $d'$  (curva tracejada).

Fontes: Adaptado de Villibor e Alves (2019)

O coeficiente  $d'$  deste exemplo é calculado como segue:

$$d' = \frac{\Delta MEAS}{\Delta h_c} = \frac{1650 - 1575}{15 - 14} = 75 \text{ kg} \cdot \text{m}^3/\%$$

**Anexo B (informativo) – Bibliografia**

- a) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7182:2016 – Solo – Ensaio de compactação.
- b) \_\_\_\_\_. ABNT NBR 6457:2016 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.
- c) BARROSO, S. H. A. Estudo do comportamento de solos artificiais através da adsorção de azul de metileno. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1996.
- d) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – ME 162/94: Solos - ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas. Método de Ensaio.
- e) \_\_\_\_\_. DNER – ME 258/94: Solos – compactação de solos em equipamento miniatura - Mini-MCV. Método de Ensaio.
- f) \_\_\_\_\_. DNER – CLA 259/2023: Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura. Classificação.
- g) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 228 – ME: Solos – Ensaio de compactação em equipamento miniatura – Método de ensaio.
- h) LOPES, L. S. E. Análise do Comportamento Mecânico e Ambiental de Misturas Solo-Cinzas de Carvão Mineral para Camadas de Base de Pavimentos. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2011.
- i) OLIVEIRA, F. G. Análise da aplicabilidade da classificação MCT na execução de bases rodoviárias com utilização de solos lateríticos estabilizados. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UFOP. Ouro Preto. 2018.
- j) PEREIRA, L. F. *et al.* Estudo da utilização de solos lateríticos e a metodologia MCT: Análise em trecho a ser duplicado na BR-116. Núcleo do Conhecimento. 2020.
- k) VILLIBOR, D. F.; ALVES, D. M. L. Pavimentação de baixo custo para regiões tropicais - Projeto e construção - Novas considerações. Editora Tribo da Ilha. Florianópolis. 2019.

## Índice geral

Abstract .....	1	Ensaio Mini-MCV .....	8.1.....7
Aferição do aparelho de compactação .....	7.....6	Execução dos ensaios.....	8.....7
Afundamento (an).....	3.7.....3	Massa específica aparente seca .....	3.5...9.3.....2, 9
Alturas e afundamentos .....	9.2.....9	Mini-MCV .....	3.9.....3
Amostragem.....	5.....6	Objetivo .....	1.....1
Anexo A (Normativo) – Tabelas e figuras.....	11	Perda de massa por imersão ( <i>P<sub>i</sub></i> ) .....	3.11.....4
Anexo B (informativo) - Bibliografia.....	21	Prefácio .....	1
Aparelhagem.....	4.....5	Preparação das amostras.....	6.....6
Cálculos .....	9.....9	Referências normativas .....	2.....2
Coefficiente d' .....	3.12.....4	Resultados.....	10.....10
Coefficiente de argilosidade (c') .....	3.10.....3	Resumo .....	1
Coefficientes .....	9.4.....9	Sumário .....	1
Compactação.....	3.2.....2	Série de golpes.....	3.6.....2
Curva de compactação Mini-MCV.....	4	Solo fino.....	3.1.....2
Curva de deformabilidade .....	3.8.....3	Termos e definições .....	3.....2
Determinação da umidade .....	8.3.....9	Teor de umidade .....	3.3...9.1.....2,9
Ensaio de perda de massa por imersão.....	8.2.....8	Umidade higroscópica .....	3.4.....2