



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES,  
PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL - MT

DEPARTAMENTO NACIONAL DE  
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES -  
DNIT

DIRETORIA GERAL - DG

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E  
PESQUISA - DPP

INSTITUTO DE PESQUISAS  
RODOVIÁRIAS - IPR

Rodovia Presidente Dutra, Km 163  
Centro Rodoviário - Vigário Geral  
Rio de Janeiro - RJ - CEP21240-000  
Tel/Fax: (21) 3545-4600

MAR 2017

NORMA DNIT 410/2017 - ME

**Solos - Prova de carga estática em placa para controle de  
qualidade na execução de aterros solo-enrocamento -  
Método de Ensaio**

**Autor:** Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

**Processo:** 50600.006433/2015-72

**Origem:**

**Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de 20/03/2017**

*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:**

Placa, Compactação, Módulo de Deformabilidade, Aterros, Solo-enrocamento

**Nº Total de  
páginas**

8

**Resumo**

Esta norma define a sistemática a ser adotada para a execução de prova de carga estática sobre placa, visando a determinação do Módulo de Deformabilidade em camadas de solo-enrocamento, para o controle de qualidade na conformação de aterros solo-enrocamento em estradas de rodagem. São também apresentados os requisitos concernentes a aparelhagem, montagem, execução e apresentação dos resultados dos ensaios.

**Abstract**

This standard provides the method of performing the plate static loading test method for determining the Deformability Modulus to soils-backfill layers to use them in the construction of embankments to roads. It includes the requirement concerning to equipment, assembling, execution and presentation of test results.

**Sumário**

Prefácio.....	1
1 Objetivo.....	2
2 Referências normativas.....	2
3 Definições.....	2
4 Escolha de pontos para realização do ensaio.....	3
5 Aparelhagem.....	3
6 Preparo do local de ensaio.....	3

7 Montagem.....	3
8 Execução do ensaio.....	3
9 Cálculos.....	4
10 Valores mínimos.....	4
11 Relatório.....	5
Anexo A (Normativo) – tipos de placa que podem ser utilizadas na prova de carga estática.....	6
Anexo B (Normativo) – representação esquemática da montagem da prova de carga estática.....	7
Índice Geral.....	8

**Prefácio**

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias-IPR/DPP para servir como documento base para a determinação do Módulo de Deformabilidade ( $EV_2$ ) utilizando o ensaio de carga estática sobre placa. O ensaio pode ser realizado para controle da qualidade das camadas de solo-enrocamento utilizadas na construção de aterros.

Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009-PRO.

**1 Objetivo**

Esta Norma fixa a sistemática a ser adotada na realização do ensaio de placa para a determinação do Módulo de Deformabilidade ( $EV_2$ ) visando o controle de

camadas solo-enrocamento, quando utilizadas nos serviços de terraplenagem sob estruturas de pavimento.

## 2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação desta Norma. Aplicam-se as edições mais recentes dos referidos documentos (inclusive emendas).

- a) DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 18134. Soil-Testing Procedures and Testing Equipment – Plate load Test. DIN. Berlin, 2012.
- b) ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMATISATION. NF p 94-117-1. Portance des plates-formes. Partie1: Module sous chargement statique à la plaque (EV2). AFNOR. Paris, 2000.
- c) AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. ASTM D1196-93: Nonrepetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements. *Annual Book of ASTM Standards*. Philadelphia, 1994.
- d) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 055/2004-ME: Pavimento rígido – Prova de carga estática para determinação do coeficiente de recalque de subleito e sub-base em projeto e avaliação de pavimentos - Método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 2004.
- e) \_\_\_\_\_.DNIT 070/2006 – PRO: Elaboração e apresentação de normas do DNIT. Rio de Janeiro, 2009.

## 3 Definições

### 3.1 Ensaio de placa

Ensaio em que uma placa circular é submetida a um processo de carga e descarga estática. O processo é realizado em incrementos, obtendo-se medidas do deslocamento associado a cada valor de carga.

O ensaio de placa pode ser realizado em solos finos firmes, solos grossos e misturas de solos e blocos de rocha.

### 3.2 Aterros

Segmentos de rodovia cuja implantação requer depósito

de materiais provenientes de cortes e/ou de empréstimos no interior dos limites das seções de projeto (*off sets*) que definem o corpo estradal, o qual corresponde à faixa terraplenada.

### 3.3 Solo-enrocamento

Mistura de material, constituída por solos e materiais provenientes da escavação de rocha sã, com adequadas características de resistência e durabilidade, baixa fragmentação, além de uma faixa granulométrica específica, intermediária entre as dos solos e dos enrolamentos. A granulometria máxima dos fragmentos de rocha sã permitida na conformação de aterros de solo-enrocamento será de 25 cm.

A faixa granulométrica para solo-enrocamento deverá atender aos seguintes critérios:

- a) tamanho máximo das partículas inferior a 2/3 da espessura da camada compactada;
  - b) Porcentagem de partículas com tamanhos menores que a abertura da peneira de 1" deve ser inferior a 30%;
  - c) Porcentagem de partículas com tamanhos menores que a abertura da peneira N° 200 deve ser inferior a 10%;
- Preferencialmente, a faixa granulométrica deverá cumprir as condições apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Faixa granulométrica para solo-enrocamento.

Tamanho (cm)	Intervalo da porcentagem que passa (%)
D	90 - 100
D/4	45 - 60
D/16	25 - 45
D/64	15 - 35

Nota: D = diâmetro máximo.

### 3.4 Módulo de Deformabilidade

Parâmetro que representa as características de deformação de um solo. É determinado a partir da curva de tensão-deslocamento obtida do ensaio de placa.

## 4 Escolha dos pontos para realização do ensaio

Os pontos para realizar o ensaio de carga estática sobre placa devem ser escolhidos com base nas informações geológicas e geotécnicas disponíveis.

Para o caso de trechos aparentemente homogêneos, as determinações podem ser feitas, inicialmente, a cada 100

m, obedecendo à ordem: borda direita, eixo, borda esquerda, eixo, etc.

Estes intervalos poderão ser modificados, a critério da fiscalização, em função da uniformidade observada nos resultados dos ensaios.

## **5 Aparelhagem**

### **5.1 Sistema de reação**

Qualquer sistema rígido que permita aplicar uma carga de reação pelo menos 20% maior que a carga máxima aplicada no ensaio.

Pode ser utilizado qualquer sistema como carreta, caminhão, etc., que ofereça reação mínima de 80 kN.

### **5.2 Placa de prova**

Placa circular de aço. Pode-se utilizar uma placa circular com diâmetro mínimo de 76,2 cm e 2,0 cm de espessura.

A placa deve possuir rigidez suficiente para o trabalho a ser executado.

Para garantir a rigidez do sistema pode-se utilizar, conforme o Anexo A.:

- a) Um arranjo piramidal de no mínimo quatro placas superpostas, com máximo 15 cm de diferença nos diâmetros entre placas adjacentes, ou;
- b) Reforços enrijecedores igualmente espaçados na face superior, e que permitam a colocação do macaco hidráulico e a aplicação do carregamento.

### **5.3 Macaco hidráulico**

Equipamento com capacidade entre 100 e 200 KN, que permita a aplicação de pequenos incrementos de carga, que serão mantidos até que se obtenha a estabilização dos deslocamentos.

Deve ser dotado de sistema de controle (p.e manômetro) com precisão da ordem de 0,01 MPa.

### **5.4 Defletômetros**

Três no mínimo, graduados em 0,01 mm, com curso mínimo de 10 mm.

### **5.5 Dispositivos de suporte dos defletômetros**

O sistema de suporte dos defletômetros deverá ser composto, com um mínimo de:

- a) Duas hastes verticais de aço galvanizado com diâmetro  $\frac{3}{4}$ " = 19mm e 1,50m de comprimento, fixadas em sapatas metálicas;
- b) Viga de sustentação das hastes de fixação dos defletômetros, com comprimento mínimo de 5,5m;
- c) Hastes de fixação deslocáveis nos sentidos horizontal e vertical, com os respectivos suportes.

## **5.6 Ferramentas**

Nível de pedreiro, trena de aço de 2,00m, enxada, picareta, alicate, pá e chave de grifo.

## **6 Preparo do local do ensaio**

Deve-se garantir uma área livre em torno de 2,00m de diâmetro para a execução do ensaio (nunca inferior ao dobro do diâmetro da placa). Qualquer material solto deverá ser removido.

As áreas de apoio da placa e das sapatas de suporte dos defletômetros devem ser niveladas, colocando-se um colchão de areia com a menor espessura necessária para formar um apoio uniforme (máximo 2 cm).

Deve ser tomado cuidado para assegurar que a placa não seja colocada diretamente sobre as partículas de maior tamanho (maiores do que um quarto do diâmetro da placa).

## **7 Montagem**

Colocar a placa sobre o colchão de areia, movimentando-a nos dois sentidos de rotação (horário e anti-horário), duas ou três vezes, até que a placa fique convenientemente assentada sobre a superfície lisa e nivelada.

Alinhar o centro da placa de forma que sua vertical fique no mesmo eixo com o ponto de aplicação da carga no sistema de reação.

Colocar o veículo de reação (carreta, caminhão etc) na posição de operação. A distância entre os apoios do sistema de reação e a periferia da placa deve ser, no mínimo, de 1,50 m.

Deve-se garantir que o sistema de reação e de carga permaneçam estáveis, sem inclinações, durante o tempo do ensaio.

Montar o dispositivo de suporte dos defletômetros, colocando suas sapatas sobre o colchão de areia, com o mesmo procedimento prescrito no primeiro parágrafo deste item.

A distância entre o centro da placa e o ponto de apoio do suporte dos defletômetros, deve ser de no mínimo 1,5 m.

Fixar os defletômetros na viga de sustentação, formando um triângulo equilátero sobre a placa (separação de 120° entre cada um deles).

Se necessário, proteger todo o equipamento da ação direta do sol e do vento.

Colocar o macaco hidráulico na posição de carregamento, de forma a permitir a utilização do seu curso máximo, com livre operação e fácil leitura do manômetro e dos defletômetros, que devem estar de frente para o operador.

Um esquema da montagem é apresentado no Anexo B.

## 8 Execução do ensaio

Antes de iniciar o ensaio, os instrumentos de medida devem estar ajustados em zero.

Determinar o carregamento máximo que será aplicado, em função do tipo de camada, do objetivo do ensaio e do diâmetro da placa.

O carregamento será aplicado em pelo menos seis etapas, com incrementos aproximadamente iguais, até atingir o máximo carregamento.

### 8.1 Pre-carregamento

Aplicar um primeiro carregamento que produza uma pressão de 0,005 MPa. Manter durante pelo menos 30 s e, após, descarregar e retornar os defletômetros a zero.

### 8.2 Primeiro ciclo de carregamento

Cada carga do ciclo deve ser colocada gradativamente, em um intervalo mínimo de 60 s (1 minuto) e ser mantida constante pelo menos durante 120 s (2 minutos).

Após a estabilização dos defletômetros, registrar as leituras. O processo deverá ser realizado em, no mínimo, 6 etapas, até que se atinja o carregamento máximo desejado. A carga máxima deve ser retirada em três etapas, variando de 100% para 50%, 25% e 2% do valor total.

A Tabela 1 ilustra modelo de planilha para a leituras do

primeiro ciclo de um ensaio de carga estática em placa.

Tabela 1 – Leituras do primeiro ciclo de carregamento.

Etapas	Carga kN	Tensão Normal MPa	Leitura da média dos defletômetros mm	Deslocamento mm
0	0,71	0,00		
1	5,65	0,01		
2	11,31	0,02		
3	17,67	0,04		
4	23,33	0,05		
5	29,69	0,07		
6	35,34	0,08		
7	17,67	0,04		
8	8,84	0,02		
9	0,71	0,00		

### 8.3 Segundo ciclo de carregamento

Após descarregar a placa, deve ser realizado um segundo ciclo de carregamento, até a penúltima carga da etapa anterior (sem atingir a carga máxima).

A Tabela 2 ilustra modelo de planilha para as leituras do segundo ciclo de um ensaio de carga estática em placa, tendo como referência o primeiro ciclo ilustrado na Tabela 1.

Tabela 2 – Leituras do segundo ciclo de carregamento.

Etapas	Carga kN	Tensão Normal MPa	Leitura da média dos defletômetros mm	Deslocamento mm
9	0,71	0,00		
10	5,65	0,01		
11	11,31	0,02		
12	17,67	0,04		
13	23,33	0,05		
14	29,69	0,07		

Para placas de diâmetro mínimo de 76,2 cm, sugeridas nesta Norma, o Módulo de Deformabilidade será

determinado para tensões e deslocamentos máximos de 0,2 MPa e 13,0 mm, respectivamente.

## 9 Cálculos

### 9.1 Curva de tensão – deslocamento

É obtida plotando-se, nas ordenadas, os deslocamentos verticais após cada carregamento (média dos resultados dos três defletômetros) e, nas abscissas, as tensões (pressões) transmitidas pela placa.

### 9.2 Cálculo do Módulo de Deformabilidade (EV<sub>2</sub>)

O módulo de deformabilidade deve ser calculado para o primeiro e o segundo ciclo de carregamento, com base nos pontos da curva tensão – deslocamento.

Para cada ciclo de carga deve ser realizada uma regressão polinomial de segunda ordem, de acordo com a equação:

$$s = a_0 + a_1 \sigma_0 + a_2 \sigma_0^2$$

Onde:

$s$  = deslocamento da placa (média dos três defletômetros), (mm);

$\sigma_0$  = pressão média na placa, (MN/m<sup>2</sup>);

$a_0$  = constante da regressão polinomial de segunda ordem, (mm);

$a_1$  e  $a_2$  = constantes da regressão polinomial de segunda ordem, (mm/(MN<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>)).

O Módulo de Deformabilidade (EV<sub>2</sub>) é determinado com a expressão:

$$EV_2 = 1,5 r \frac{1}{a_1 + a_2 \sigma_0 \text{ máx}}$$

Onde:

EV<sub>2</sub> = Módulo de deformabilidade (MPa);

$r$  = raio da placa (mm);

$\sigma_0 \text{ máx}$  = pressão máxima vertical sob a placa no ensaio ou pressão máxima no primeiro ciclo de carregamento (MPa).

$a_1$  e  $a_2$  = constantes da regressão polinomial de segunda ordem, com os dados do segundo ciclo de carga e as unidades acima indicadas.

As constantes  $a_0$ ,  $a_1$  e  $a_2$  poderão ser obtidas por meio da curva tensão – deslocamento, na qual se estabelece

uma linha de tendência polinomial do segundo grau, ligando os pontos do segundo ciclo, adotando-se algum aplicativo de criação de planilhas eletrônicas.

Pode ser estabelecido um Módulo do primeiro ciclo de carga (EV<sub>1</sub>), utilizando a expressão acima e as constantes de regressão polinomial de segunda ordem, com os dados do primeiro ciclo.

Para a regressão do primeiro ciclo, deve desconsiderar-se a primeira etapa do carregamento (ver Tabela 1).

A razão entre os valores dos módulos ( $k_{EV}$ ), é um indicativo do grau de compactação. Esta razão pode ser determinada com a expressão:

$$k_{EV} = \frac{EV_2}{EV_1}$$

O Módulo de Deformabilidade (EV<sub>2</sub>) e o Módulo para o primeiro ciclo de carregamento (EV<sub>1</sub>), deverão ser expressados em MPa, ou em unidades similares do Sistema Internacional de Unidades.

## 10 Valores sugeridos

Para camadas de solo-enrocamento, os valores sugeridos, obtidos do ensaio de placa, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores sugeridos para o ensaio de carga estática em placa em solo-enrocamento.

Parâmetro	Valor
EV <sub>2</sub> (MPa)	≥ 60
S <sub>máx</sub> (mm)	13
k <sub>EV</sub> (%)	≥ 2

Salienta-se que o controle de execução de aterros com solo-enrocamento dependerá principalmente dos parâmetros obtidos em trechos experimentais executados com o material, equipamento e método construtivo que será implementado pela construtora, e aprovado pela fiscalização.

Assim, os valores da Tabela 3 podem ser modificados pela fiscalização, dependendo das condições específicas de cada projeto.

## 11 Relatório

O relatório deve conter como mínimo as seguintes informações:

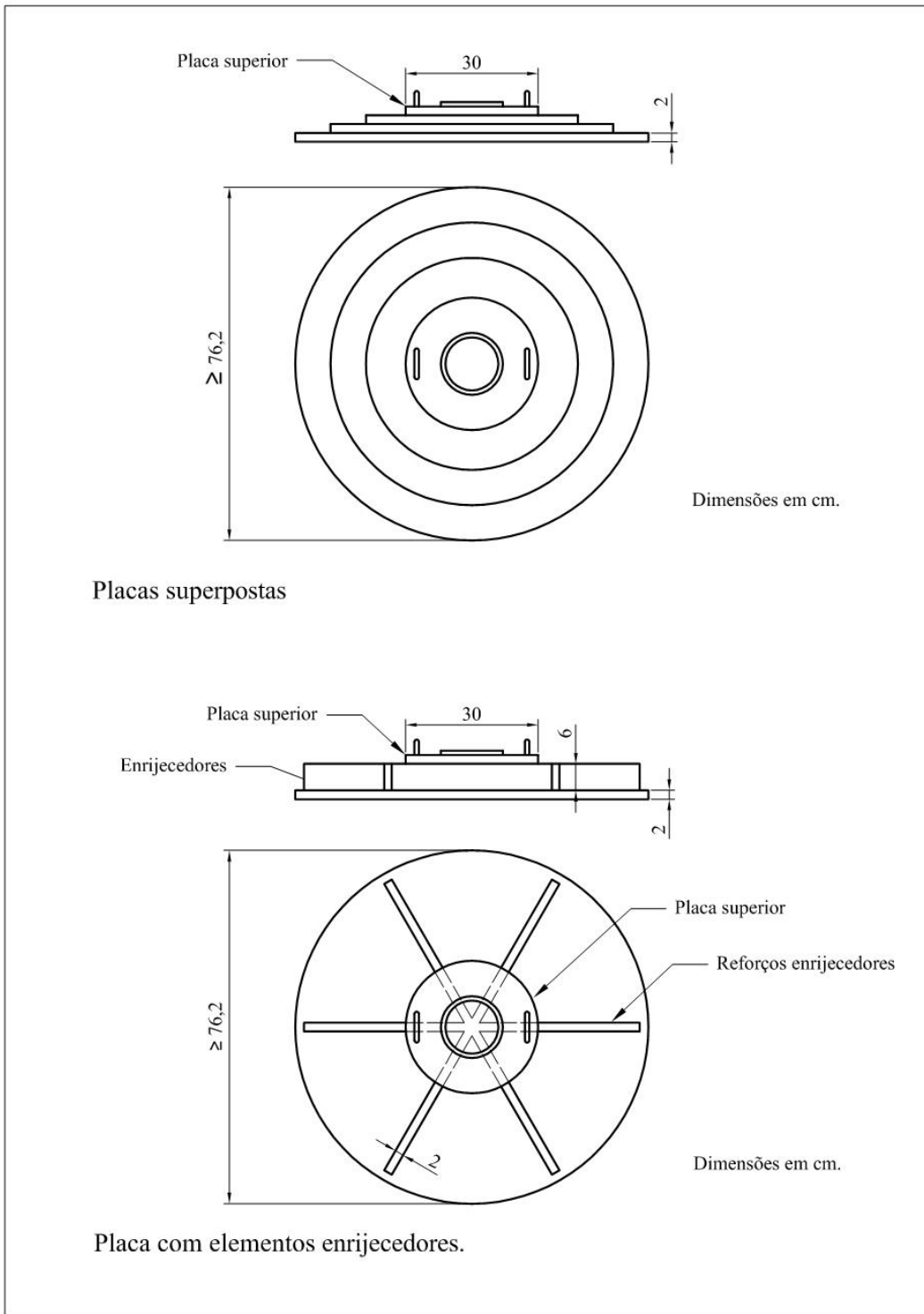
a) Identificação da obra e do ponto do ensaio (estaca,

- km, etc.);
- b) Data, horário de início e fim das operações e pessoal empregado;
- c) Condições climáticas;
- d) Identificação das características da placa e do sistema de reação utilizado;
- e) Identificação, tipo e espessura da camada avaliada;
- f) Descrição do material;
- g) Leituras;
- h) Curvas de tensão - deslocamento;
- i) Memórias de cálculo para a determinação dos Módulos de Deformabilidade ( $EV_1$ ), ( $EV_2$ ) deslocamento máximo ( $s_{máx}$ ) e razão entre os valores dos Módulos ( $k_{EV}$ ).

\_\_\_\_\_/Anexo A

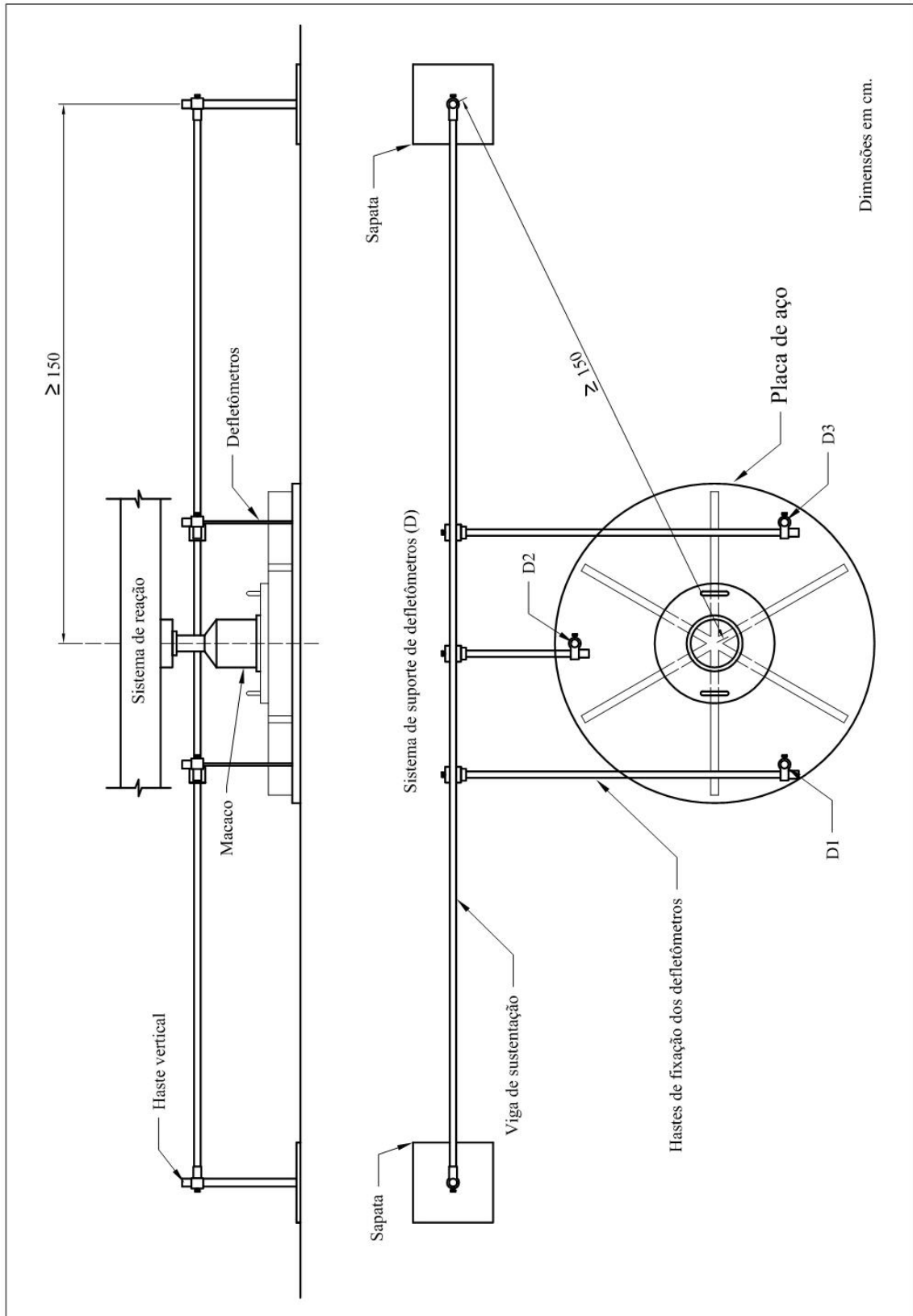
Anexo A (normativo)

Configuração das placas que podem ser utilizadas na prova.



Anexo B (normativo)

Representação esquemática da montagem da prova.





## Índice geral

Abstract	.....	1	Índice geral	.....	8
Anexo A (Normativo) – tipos de placa que podem ser utilizados na prova	.....	6	Misturas de solo	3.5. ....	2
Anexo B (Normativo) – representação esquemática dos equipamentos do ensaio	.....	7	Macaco hidráulico	5.3. ....	3
Aparelhagem	5. ....	3	Módulo de Deformabilidade	3.4. ....	2
Aterros	3.2. ....	2	Montagem	7. ....	3
Cálculos	9. ....	4	Objetivo	1. ....	2
Cálculo do Módulo de Deformabilidade ( $EV_2$ )	9.2. ....	4	Placa de Prova	5.2. ....	2
Curva de tensão–deslocamento	9.1. ....	4	Prefácio	.....	1
Definições	3. ....	2	Preparo do local do ensaio	6. ....	3
Defletômetros	5.4. ....	3	Referências normativas	2. ....	2
Dispositivos de suporte dos defletômetros	5.5. ....	3	Relatório	11. ....	5
Ensaio de placa	3.1. ....	2	Resumo	.....	1
Escolha de pontos para realização do ensaio	4. ....	2	Sistema de reação	5.1. ....	2
Execução do ensaio	8. ....	3	Solo-enrocamento	3.3. ....	2
Ferramentas	5.6. ....	3	Sumário	.....	1
			Tabela 1 – Valores sugeridos do ensaio de placa em solo-enrocamento	.....	4
			Valores sugeridos	10. ....	4