



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES,  
PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL

DEPARTAMENTO NACIONAL DE  
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA GERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E  
PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS  
RODOVIÁRIAS

Rodovia Presidente Dutra, km 163  
Centro Rodoviário – Vigário Geral  
Rio de Janeiro – RJ – CEP 21240-000  
E-mail: ipr@dnit.gov.br

Julho/2018

NORMA DNIT 134/2018-ME

## Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio

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

**Processo:** 50607.005821/2016-57

**Origem:** Revisão da Norma DNIT 134/2010-ME

**Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de 25/07/2018**

*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:**

Solos, Britas, Módulo de resiliência

**Total de páginas**

18

### Resumo

Esta norma especifica os procedimentos de ensaio para determinação do comportamento resiliente de solo e materiais não estabilizados quimicamente com características que simulam as condições físicas e os estados de tensões que estes materiais estarão submetidos nas camadas do pavimento devido às cargas móveis do tráfego. Descreve o equipamento e as condições do ensaio para obtenção de modelos de comportamento.

Este procedimento serve para determinar propriedades mecânicas que podem ser usadas para previsão do desempenho dos materiais e para calcular a resposta estrutural do pavimento. O ensaio é aplicável em corpos de prova cilíndricos preparados por compactação em laboratório ou resultantes de amostra indeformada, com tamanho máximo da partícula menor ou igual a  $\frac{1}{4}$  do diâmetro do corpo de prova.

### Abstract

This standard specifies the test procedures for determining the resilient behavior of soil and unbound mixtures under conditions that simulate the physical conditions and stress states of these materials in pavement layers subjected to moving loads. It describes the equipment and test conditions for obtaining behavior models.

This procedure is useful to determine mechanical properties that can be used to predict the performance of

materials and for calculating the structural responses of pavement structures. The test is applicable to cylindrical specimens of unbound mixtures prepared by laboratory compaction or undisturbed sample, with a maximum particle size less than or equal to  $\frac{1}{4}$  of the specimen diameter.

### Sumário

Prefácio.....	2
1 Objetivo.....	2
2 Referência normativa.....	2
3 Definições.....	2
4 Aparelhagem.....	3
5 Amostra.....	4
6 Montagem do ensaio.....	5
7 Aplicação das cargas repetidas.....	6
8 Resultados.....	8
Anexo A (Normativo) - Figuras - Esquemas.....	9
Anexo B (Normativo) - Figura - Aparelhagem.....	10
Anexo C (Normativo) - Figura - Cilindro.....	11
Anexo D (Normativo) - Tabela.....	12
Anexo E (Normativo) - Relatório.....	13
Anexo F (Informativo) - Foto - Equipamento.....	14
Anexo G (Informativo) - Fotos - Ensaio.....	15

Anexo H (Informativo) - Bibliografia ..... 17

Índice geral..... 18

## Prefácio

A presente Norma foi revisada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer os procedimentos para a realização do ensaio para determinação do módulo de resiliência de solos. Sua revisão teve origem nos estudos e pesquisa realizados no âmbito do Termo de Execução Descentralizada – TED nº 682/2014 firmado com o COPPE/UFRJ, para desenvolvimento de método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimento asfáltico. Está formatada de acordo com a norma DNIT 001/2009-PRO e cancela e substitui a norma DNIT134/2010-ME.

## 1 Objetivo

Este método prescreve o modo pelo qual se determinam os valores do módulo de resiliência de solos para várias combinações de tensões aplicadas, utilizando o equipamento triaxial de carga repetida.

O comportamento resiliente do material representa sua resposta elástica resultante de uma carga aplicada em pulsos de curta duração. O resultado deste ensaio pode ser usado para determinar valores de módulo elástico, a diferentes níveis de tensão, ou parâmetros de modelos elásticos não lineares, usados na análise numérica de dimensionamento de pavimentos.

Além das amostras de solo, esta norma pode ser aplicada para amostras de britas graduadas, materiais estabilizados granulometricamente, solos e materiais melhorados por pequenas quantidades de adições de produtos químicos ou elementos tipo fibras naturais ou sintéticas e outros materiais alternativos, desde que não estabilizados quimicamente.

## 2 Referência normativa

O documento a seguir é indispensável à aplicação desta norma. Aplica-se somente a edição mais recente do referido documento (incluindo emendas):

DNER–ME 213: Solos – Determinação do teor de umidade – Método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR.

## 3 Definições

Para os fins desta norma aplicam-se as definições seguintes:

### 3.1 Pulso

É o tempo de duração da carga em que o corpo de prova é submetido a uma tensão pulsante vertical, denominada tensão desvio ( $\sigma_d$ ). O pulso padrão neste ensaio é de 0,1 segundo de duração.

### 3.2 Duração do ciclo da carga repetida

Uma repetição de carga ou ciclo corresponde a um pulso de carregamento seguido de um intervalo ou período de repouso. Uma repetição de carga neste ensaio corresponde a um pulso de 0,1 segundo de duração seguido de um tempo de repouso de 0,9 segundo.

### 3.3 Frequência

No ensaio de carga repetida a frequência corresponde a quantos ciclos de carga são aplicados por minuto.

No caso deste ensaio utiliza-se a frequência de 1 HZ que corresponde ao pulso de carga de 0,1 segundo seguido de um tempo de repouso de 0,9 segundo (ou 60 ciclos por minuto). Ver esquema ilustrativo da Figura 1 do Anexo A.

### 3.4 Deslocamento resiliente ou recuperável - $\delta_r$

Deslocamento resiliente axial ou vertical de um ciclo de carga é definido como deslocamento recuperável entre o ponto onde a tensão desvio aplicada é máxima e o fim do ciclo que é o descarregamento. Ver esquema da Figura 2 do Anexo A.

### 3.5 Deslocamento plástico ou permanente - $\delta_p$

Deslocamento plástico ou permanente axial ou vertical é definido como deslocamento acumulado durante a aplicação do condicionamento e dos pares de tensão, do primeiro ao último ciclo do ensaio.

### 3.6 Deformação resiliente ou recuperável - $\varepsilon_r$

É o deslocamento resiliente vertical dividido pela altura de referência do medidor de deslocamento, que deve ter descontado o deslocamento plástico eventual.

### 3.7 Deformação plástica ou permanente - $\varepsilon_p$

É o deslocamento plástico ou permanente dividido pela altura de referência do medidor de deslocamento.

### 3.8 Módulo de resiliência (MR) dos solos

É a relação entre a tensão-desvio ( $\sigma_d$ ) aplicada repetidamente em uma amostra de solo e a correspondente deformação vertical recuperável ou resiliente  $\varepsilon_r$ :

$$MR = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r} \quad (1)$$

## 4 Aparelhagem

A aparelhagem se encontra esquematizada no Anexo B desta norma e é constituída do seguinte:

a) Prensa pneumática: estrutura de suporte, base ou suporte vertical da célula triaxial, cilindro de pressão a ar comprimido com pistão de carga. Admite-se também o uso de prensa hidráulica com estrutura que permita a aplicação de cargas repetidas. Toda prensa deve ter capacidade de carga compatível com os níveis de tensões a serem aplicados sem apresentar deformações que comprometam o ensaio.

b) Célula ou câmara triaxial, composta de um cilindro de policarbonato (corpo da câmara) ou material similar que permita a visualização do corpo de prova durante a execução do ensaio, base e tampa (placa superior de vedação) metálicos. As dimensões desta câmara devem ser suficientes para comportar com folga corpos de prova dos tamanhos especificados nesta norma, com todo o sistema de medições necessário para ensaiar amostras sob a ação de cargas verticais repetidas. A câmara deve ter um furo no centro da base inferior de 3 mm de diâmetro conectado à base da mesma e com ligação externa de mesmo diâmetro, com terminação por válvula de drenagem;

c) Sistema pneumático de carregamento, composto de:

- Válvulas reguladoras de pressão de ar comprimido, para aplicação da tensão-desvio ( $\sigma_d$ ) e da tensão confinante ( $\sigma_3$ );
- Válvula de três vias do carregamento vertical (pressão de ar, tempo de carregamento e frequência);

- Temporizador eletrônico, para controle do tempo de abertura da válvula e frequência de aplicação do carregamento.

d) Sistema de vácuo, com a finalidade de verificar a presença de furos na membrana que envolve a amostra;

e) Transdutor de carga axial. A carga vertical ou axial aplicada repetidamente no corpo de prova deve ser monitorada por um transdutor de carga axial (célula de carga) com sensibilidade para medir com acurácia de  $\pm 0,5\%$  do valor a ser medido, ou outro sistema calibrado que garanta a precisão das tensões desvio aplicadas durante todo o ensaio. Quando utilizada célula de carga, esta deve ser colocada dentro da câmara triaxial, em contato direto com o cabeçote.

f) Sistema de medição do deslocamento vertical do corpo de prova sob o carregamento repetido, constituído de:

- Dois transdutores mecânico – eletromagnéticos do tipo LVDT (“linear variable differential transformer”) posicionados diametralmente opostos no corpo de prova;
- Cada LVDT pode estar preso ao cabeçote superior e apoiado em haste guia, que se estende até a base onde se encontra um prolongador ajustável externamente à célula (Anexo B), ou fixado no terço-médio da amostra;
- O LVDT e o sistema de aquisição de dados usados devem garantir uma precisão na leitura do deslocamento de  $1 \times 10^{-3}$  mm. A faixa de leitura para o LVDT deve ser de até  $\pm 5$  mm.
- Computador ou sistema de aquisição de dados, com placa conversora de sinal analógico/digital capaz de medir e registrar deslocamentos cíclicos compatível com a sensibilidade do LVDT e a carga cíclica.

O princípio de funcionamento dos transdutores LVDT consiste em transformar as deformações axiais durante o carregamento repetido em potencial elétrico, cujo valor é registrado no computador ou sistema de aquisição de dados. A média dos deslocamentos registrados nos dois LVDTs é usada para o cálculo do MR. Uma calibração, com micrômetro ou outro equipamento preciso, é necessária para correlacionar os deslocamentos com os valores dos registros.

NOTA: É possível utilizar outros tipos de medidores de deslocamento desde que atendida a precisão da leitura cíclica.

g) Pedra porosa - disco rígido poroso de diâmetro igual ou ligeiramente menor que o corpo de prova. O disco deve ser regularmente checado por passagem de água ou ar sob pressão para verificar a sua porosidade.

h) Membrana de borracha ou látex - a membrana usada para encamisar o corpo de prova deve propiciar proteção contra a entrada de ar. Para que não haja compressão no corpo de prova pela membrana, a mesma em repouso deve ter um diâmetro não menos que 95 % do diâmetro do corpo de prova. A espessura da membrana não deve exceder 0,8 % do diâmetro do corpo de prova.

i) Molde cilíndrico tripartido de aço com dimensões internas de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, ou 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, base de aço, duas braçadeiras de aço (ou abas soldadas nas laterais do molde), apertadas por meio de parafusos, e anel complementar (colarinho). Ver Anexo C.

A escolha do tamanho do cilindro tripartido está condicionada à granulometria da amostra a ser ensaiada (ver subseção 5.2).

j) Soquete para compactação por impacto (manual ou mecânica). O soquete é do tipo Proctor e pode ser leve (massa de 2.270 g) ou pesado (massa de 4.540 g);

k) Balança de precisão com capacidade para determinar a massa do corpo de prova (dentro e fora do cilindro) com acurácia de  $\pm 0,2$  %.

l) Estufa com capacidade de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C.

## 5 Amostra

### 5.1 Amostra indeformada

As amostras indeformadas são obtidas de blocos escavados do subleito ou camadas do pavimento. Do bloco são esculpido corpos de prova que devem apresentar dimensões próximas às de um corpo de prova compactado em laboratório. Aproveita-se o solo restante da parte mais próxima do corpo de prova esculpido para determinação do teor de umidade. Mede-se o diâmetro e a altura do corpo de prova com paquímetro, tirando-se a média aritmética de três ou

mais leituras, que são as medidas a serem usadas nos cálculos. Pesar o corpo de prova depois de esculpido. Este tipo de amostra é de uso eventual, quando se quer conhecer a deformabilidade de solos nas condições que se encontram num pavimento em uso, no momento da amostragem.

### 5.2 Amostra deformada

As amostras são preparadas conforme alíneas "a" e "b".

a) No caso de solo ou material sem pedregulho:

Material totalmente passante na peneira 4,8 mm, procede-se primeiramente a secagem ao ar ou em estufa, desde que a mesma não ultrapasse a temperatura de 60 °C, após realiza-se o destorroamento em almofariz com pilão de ponta recoberta por borracha, e o quarteamento da amostra.

Para este tipo de solo, utiliza-se o cilindro tripartido de dimensões internas de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura.

Conhecidas as condições de umidade ótima e densidade máxima determinadas na curva de compactação, utilizando a energia especificada, determina-se a umidade higroscópica da amostra, para calcular a quantidade de água a ser acrescida. Toma-se uma fração dessa amostra que seja suficiente para preencher o molde de compactação no volume previsto e se acrescenta a quantidade de água necessária para atingir a umidade ótima. Misturar bem até obter uma massa homogênea, o mais rapidamente possível, a fim de evitar a evaporação da água.

O material homogêneo, no teor de umidade especificado, deve ser colocado num saco plástico hermeticamente fechado e ser levado à câmara úmida por um prazo de 12 horas, no mínimo, antes da compactação;

b) No caso de solo pedregulhoso e brita:

Para este tipo de material deve-se obedecer a relação de diâmetro máximo das partículas para diâmetro do corpo de prova de 1:4, da seguinte forma:

- i. Caso a amostra seja integralmente passante na peneira de 25,4 mm deve ser utilizado o cilindro de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura;
- ii. Caso a amostra apresente material retido na peneira de 25,4 mm, mas que seja totalmente passante na peneira de 38,1 mm, deve ser

utilizado o cilindro de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura;

- iii. Caso a amostra apresente até 10 % de material retido na peneira de 38,1 mm, descarta-se este material retido nessa peneira e se utiliza o cilindro de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura;
- iv. Caso a amostra apresente até 10 % de material retido na peneira de 25,4 mm e não exista material suficiente para a realização do ensaio no cilindro de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura, descarta-se o material retido na peneira de 25,4 mm e se utiliza apenas o material passante na peneira de 25,4 mm no cilindro de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, obrigatoriamente constando esta informação no Relatório Final do Ensaio.

O material homogêneo deve ser colocado num saco plástico hermeticamente fechado e ser levado à câmara úmida por um prazo de 12 horas, no mínimo, antes da compactação. No caso de brita não é necessária a permanência da amostra na câmara úmida.

O teor de umidade medido com o corpo de prova, após o ensaio, pode variar em relação à umidade ótima até  $\pm 1\%$  para material granular e  $\pm 0,5\%$  para material fino.

Admite-se a execução do ensaio em outras condições de umidade e densidade que não a ótima para estudos específicos, sempre mantendo a condição de aceitação da variação da moldagem em relação ao teor pretendido. Estas condições de ensaio devem ser informadas no Relatório Final do Ensaio.

No caso de solo pedregulhoso ou brita, a curva de compactação utilizada para definição da umidade ótima deve ser definida em cilindro de mesma dimensão da realização do ensaio de MR.

NOTA: A quantidade de material sugerida para a moldagem de um corpo de prova na dimensão de 100 mm por 200 mm é de 4.000 gramas para solo e até 6.000 gramas para brita; e para um corpo de prova na dimensão de 150 mm por 300 mm necessita-se em média de 15.000 gramas de material.

### 5.3 Preparação do corpo de prova

É feita por compactação dinâmica ou por impacto de um soquete, à energia especificada, conforme os seguintes passos:

- a) Montar o molde cilíndrico tripartido de aço, untado internamente com óleo ou vaselina, de dimensões internas iguais às do corpo de prova a ser compactado, preso a duas braçadeiras de aço envolvendo o cilindro tripartido, apertadas por meio de parafusos, de modo que as partes do molde não se afastem durante a compactação. Anota-se a massa do cilindro com as braçadeiras (P1);
- b) Colocar o cilindro tripartido com as braçadeiras preso a uma base de aço por três parafusos;
- c) Compactar o solo no molde tripartido de 100 por 200 mm ou no de 150 por 300 mm; a compactação deve ser realizada em 10 camadas e se acrescenta o anel complementar do cilindro na penúltima camada;
- d) Pesquisar uma parte do solo que não foi utilizado na compactação em duas ou três cápsulas, para obter uma aproximação da umidade média da amostra;
- e) A quantidade de golpes por camada depende do tamanho do corpo de prova, da energia de compactação, do peso do soquete e da altura de queda do soquete. A Tabela do Anexo D mostra relações do número de golpes por camada para diferentes combinações;
- f) Pesquisar o corpo de prova, no molde, com as braçadeiras e sem a base de aço (P2), e calcular a massa do corpo de prova úmido, por diferença entre essa massa P2 e o P1 (massa P3). Dividir essa massa P3 (g) pelo volume interno do cilindro ( $\text{cm}^3$ ), para obter a massa específica úmida do corpo de prova;
- g) Desapertar os parafusos das braçadeiras e retirar cada uma das partes do molde, que deve deslizar pela superfície lateral do corpo de prova, sem provocar perda de material.

### 6 Montagem do ensaio

A montagem do ensaio compreende as seguintes etapas:

- a) Colocar o corpo de prova sobre uma pedra porosa com papel filtro;

- b) Colocar a membrana de borracha com auxílio de um encamisador, para envolver toda a lateral do corpo de prova, que está apoiado na pedra porosa;
- c) Posicionar o corpo de prova envolvido na membrana e apoiado na pedra porosa sobre a base inferior da câmara triaxial. Antes de colocar a membrana de borracha no corpo de prova, verificar se não está furada. No caso de furo, a membrana deve ser substituída para realização do ensaio;
- d) Colocar o cabeçote sobre o corpo de prova, prender a membrana de borracha na base da câmara triaxial e no cabeçote do corpo de prova com anéis de borracha (elásticos ou oring);
- e) Colocar cada LVDT preso ao cabeçote superior e apoiado numa haste guia que se estende até a base, ou fixado no terço-médio da amostra;
- f) Colocar o corpo da câmara (o invólucro cilíndrico) e a placa superior de vedação (tampa);
- g) Abrir a válvula de drenagem que conecta o corpo de prova à pressão atmosférica realizando ensaio drenado. A simulação da condição não drenada requer a saturação do corpo de prova. Este procedimento está descrito apenas para a condição de ensaio drenado;
- h) Ajustar os transdutores com o auxílio do computador ou sistema de aquisição de dados, até que a leitura fique dentro do intervalo recomendado pelo programa ou sistema de aquisição de dados.

## 7 Aplicação das cargas repetidas

### 7.1 Condicionamento

Antes de iniciar o ensaio propriamente dito de determinação do módulo de resiliência deve-se aplicar uma sequência de carregamentos cíclicos, com a finalidade de eliminar as deformações permanentes que podem ocorrer nas primeiras aplicações de tensão desvio. A frequência das cargas repetidas na tensão vertical (tensão desvio) é de 1 Hz (60 ciclos por minuto), que corresponde a duração do pulso de carga de 0,1 segundo e 0,9 segundo de repouso. Durante todo o ensaio a tensão confinante é mantida constante (não cíclica).

Para o condicionamento deve-se aplicar 500 repetições de cada tensão desvio correspondente aos pares constantes da Tabela 1, na sequência que aparecem.

NOTA: Admite-se para os solos de subleito que o condicionamento seja feito apenas com o primeiro par de tensões ( $\sigma_3 = 0,07$  MPa e  $\sigma_d = 0,07$  MPa) da Tabela 1, aplicando 500 repetições.

**Tabela 1 - Sequência de tensões para fase de condicionamento**

Tensão Confinante $\sigma_3$ (MPa)	Tensão Desvio $\sigma_d$ (MPa)	Razão de Tensões $\sigma_1 / \sigma_3$
0,070	0,070	2
0,070	0,210	4
0,105	0,315	4

Durante o condicionamento, ou em qualquer outra fase do ensaio, se for alcançada uma deformação permanente acumulada igual ou maior que 5 % da altura do corpo de prova, o ensaio deve ser interrompido e o resultado desconsiderado.

### 7.2 Determinação do módulo de resiliência

Após a fase de condicionamento deve ser iniciado o procedimento para determinação do módulo de resiliência, com aplicação de sequência de 18 pares das tensões indicadas na Tabela 2, para obtenção das leituras das deformações específicas. Para cada par de tensões aplica-se no mínimo 10 ciclos de carga e se faz a aquisição de dados de pelo menos 5 repetições de carga, nas quais se garanta a constância das leituras com diferença entre elas de, no máximo, 5 %. Para o cálculo do módulo de resiliência deve-se utilizar a média destas 5 leituras.

Ao fim do ensaio, o corpo de prova deve ser pesado, sem a membrana, e levado à estufa com temperatura de aproximadamente 110 °C, por 48 horas ou até constância de massa seca, para determinação da sua umidade, utilizando-se para o cálculo a norma de ensaio DNER-ME 213/1994.

**Tabela 2 - Sequência de tensões para determinação do módulo de resiliência**

$\sigma_3$ (MPa)	$\sigma_d$ (MPa)	$\sigma_1/\sigma_3$
0,020	0,020	2
	0,040	3
	0,060	4
0,035	0,035	2
	0,070	3
	0,105	4
0,050	0,050	2
	0,100	3
	0,150	4
0,070	0,070	2
	0,140	3
	0,210	4
0,105	0,105	2
	0,210	3
	0,315	4
0,140	0,140	2
	0,280	3
	0,420	4

**Tabela 3 - Sequência de tensões para determinação do módulo de resiliência para solos de subleito**

$\sigma_3$ (MPa)	$\sigma_d$ (MPa)	$\sigma_1/\sigma_3$
0,020	0,020	2
	0,040	3
	0,060	4
0,035	0,035	2
	0,070	3
	0,105	4
0,050	0,050	2
	0,100	3
	0,150	4
0,070	0,070	2
	0,140	3
	0,210	4

NOTA: A critério do projetista, admite-se para solos de subleito a utilização dos pares de tensão da Tabela 3.

## 8 Resultados

Com os valores obtidos são calculados os módulos de resiliência para cada par de tensões, por meio das expressões

$$\sigma_d = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Onde:  $\sigma_d$  = tensão desvio (MPa)

P = carga cíclica aplicada (N)

A = área do corpo de prova

$$\varepsilon_r = \frac{\delta_r}{H_0} \quad (3)$$

Onde:  $\varepsilon_r$  = deformação específica recuperável ou resiliente

$\delta_r$  = deslocamento resiliente ou recuperável (mm)

$H_0$  = Altura de referência do medidor de deslocamento (LVDT), descontado o deslocamento plástico ou permanente acumulado correspondente à tensão desvio usada no cálculo (mm). Ver Figura 2 do Anexo A.

$$MR = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r} \quad (4)$$

Onde:

MR = Módulo de Resiliência (MPa)

$\sigma_d$  = tensão desvio (MPa)

$\varepsilon_r$  = deformação específica recuperável ou resiliente

O valor de  $H_0$  vai depender da posição do medidor de deslocamento (topo-base ou terço médio).

Os resultados devem ser apresentados conforme o modelo de Relatório de Ensaio de Módulo de Resiliência do anexo E. Estes resultados podem ser expressos por relações matemáticas (modelos de comportamento elástico linear ou não linear) entre o Módulo de Resiliência e as tensões aplicadas, obtidos por regressão.

NOTA: Se a amostra do material for única em relação à jazida, pedra ou poço de sondagem recomenda-se a preparação e o ensaio de três corpos de prova em condições iguais de umidade e densidade (ensaio em Triplicata).

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



Anexo A (Normativo)

Figura 1 – Esquema da carga repetida com frequência de 1 Hz

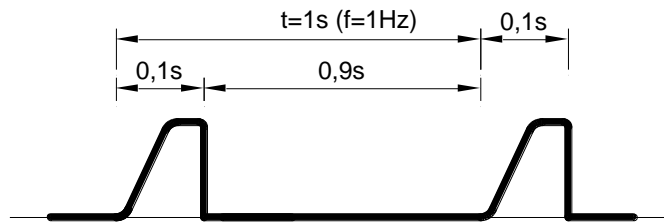
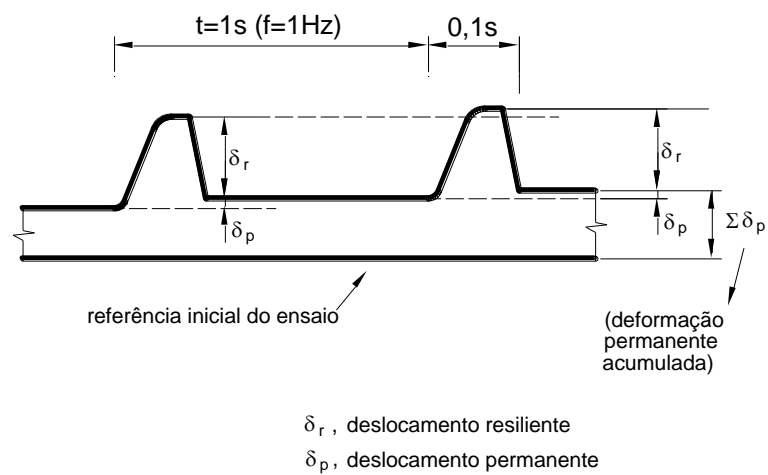
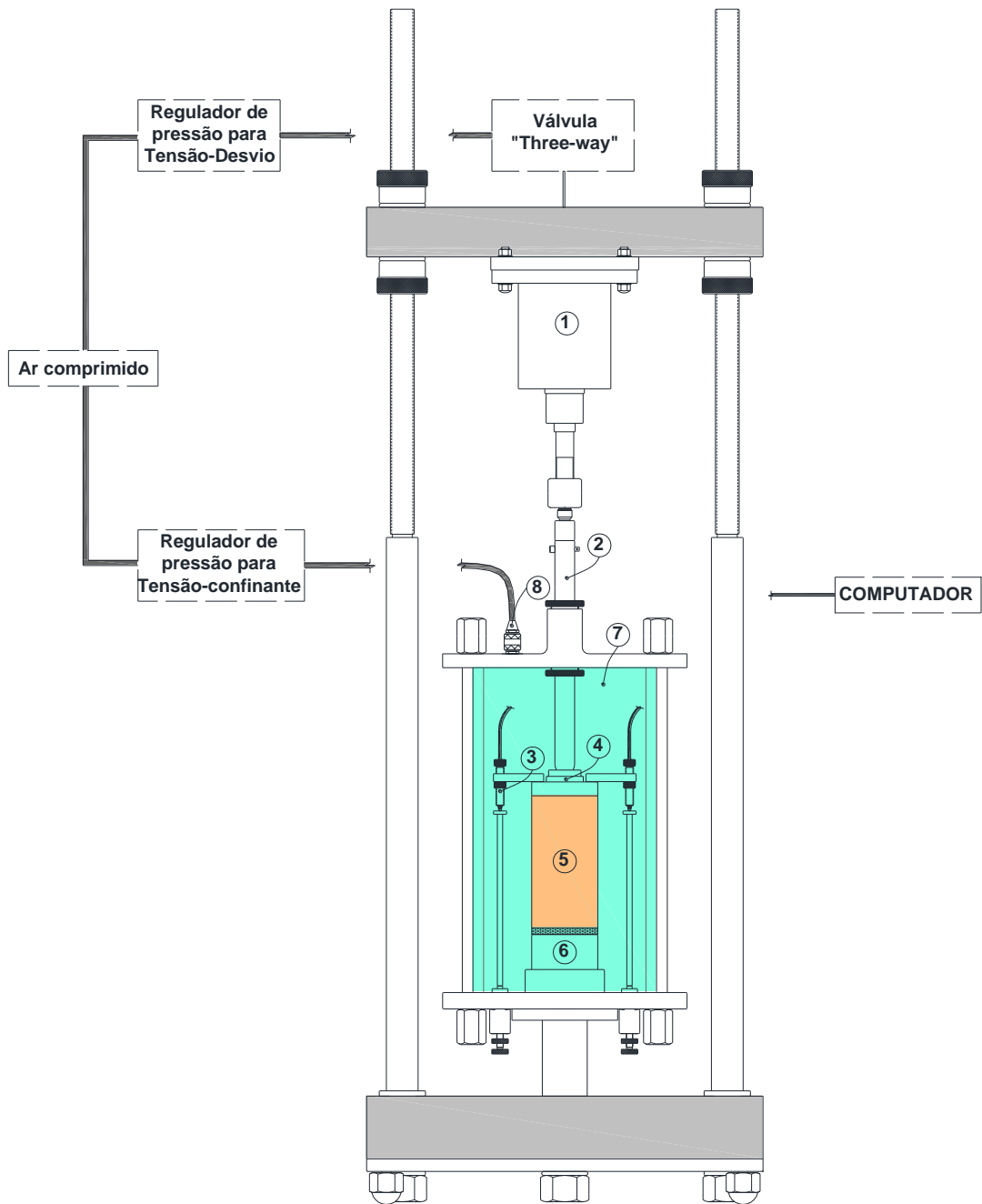


Figura 2 – Modelo esquemático de registro dos deslocamentos verticais do ensaio triaxial de cargas repetidas.



**Anexo B (Normativo)**

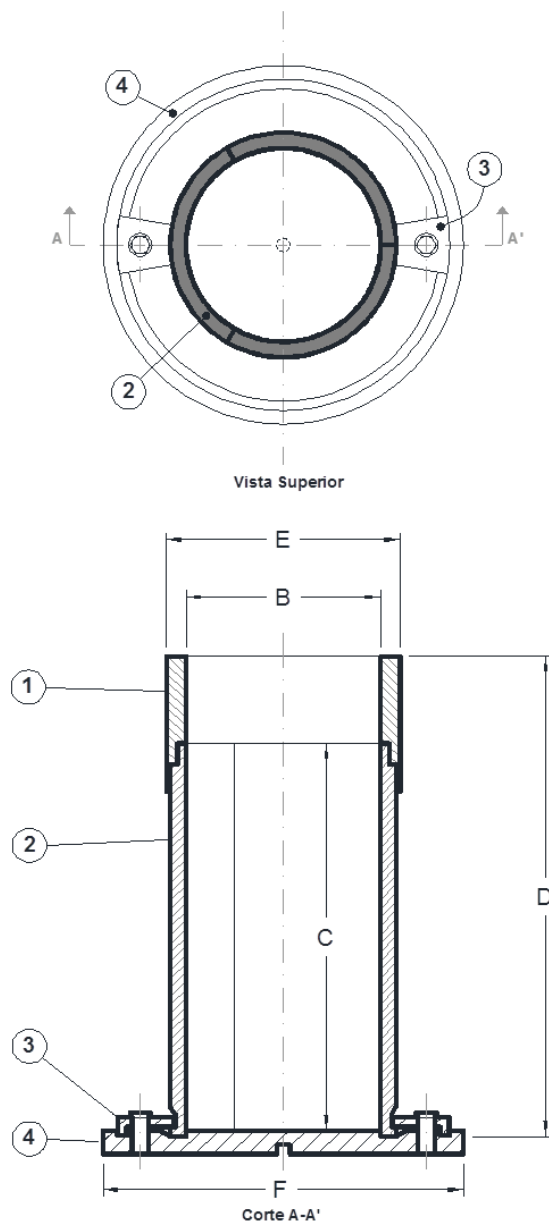
**Aparelhagem para Determinação do Módulo de Resiliência dos Solos –  
Esquema do equipamento triaxial de carga repetida, LVDTs apoiados em hastes guias.**



1 - Cilindro de Pressão	5 - Corpo de prova
2 - Pistão de Carga	6 - Base de apoio
3 - LVDT	7 - Câmara triaxial
4 - Cabeçote ( <i>Top-cap</i> )	8 - Aplicação da tensão confinante

**Anexo C (Normativo)**

**Cilindro tripartido**



**Dimensões do cilindro tripartido**

Peças	Dimensões (mm)		
	Cota	100 x 200	150 x 300
1 - Coroa	B	100	150
	E	116	174
2 - Cilindro tripartido	C	200	300
	D	248	372
3 - Fixador	-	-	-
4 - Base de suporte	F	184	220

**Anexo D (Normativo) - Tabela**

**Condições de compactação de corpo de prova em cilindro tripartido para ensaio de módulo de resiliência.**

Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Energia (kgf.cm/cm <sup>3</sup> )	Nº de camadas	Altura de queda (cm)	Peso do soquete (kgf)	Nº de golpes por camada
10	20	1570,8	Normal 6	10	30,5	2,5	12
					45,7	4,53	5
					30,5	4,53	7
					45,7	2,5	8
			Intermediária 13		30,5	2,5	27
					45,7	4,53	10
					30,5	4,53	15
					45,7	2,5	18
			Modificada 27,3		30,5	2,5	56
					45,7	4,53	21
					30,5	4,53	31
					45,7	2,5	38
15	30	5301,5	Normal 6	10	30,5	2,5	42
					45,7	4,53	15
					30,5	4,53	23
					45,7	2,5	28
			Intermediária 13		30,5	2,5	90
					45,7	4,53	33
					30,5	4,53	50
					45,7	2,5	60
			Modificada 27,3		30,5	2,5	190
					45,7	4,53	70
					30,5	4,53	105
					45,7	2,5	127
	$N = ( E \cdot V ) / ( n \cdot p \cdot h )$			N - nº de golpes por camada E - energia de compactação V - volume de solo compactado n - nº de camadas p - peso do soquete h - altura de queda			

## Anexo E (Normativo)

## Relatório de Ensaio de Módulo de Resiliência

Norma de referência

Identificação do laboratório

Data do ensaio

Identificação e natureza da amostra

Tipo de amostra (indeformada ou deformada)

Energia de compactação

Tamanho do corpo de prova (mm)

Teor de umidade da amostra (%)

Massa específica seca da amostra ( $\text{g/cm}^3$ )

Altura de referência do medidor de deslocamento (LVDT), mm.

Observação: (Se teve alguma modificação no ensaio em relação a norma utilizada)

## Quadro de resultados

Tensão confinante (MPa)	Tensão desvio (MPa)	Deslocamento recuperável (mm)	Deformação resiliente	Módulo de Resiliência (MPa)
0,020	0,020			
0,020	0,040			
0,020	0,060			
0,035	0,035			
0,035	0,070			
0,035	0,105			
0,050	0,050			
0,050	0,100			
0,050	0,150			
0,070	0,070			
0,070	0,140			
0,070	0,210			
0,105	0,105			
0,105	0,210			
0,105	0,315			
0,140	0,140			
0,140	0,280			
0,140	0,420			

Deslocamento permanente acumulado no condicionamento (mm)

Deslocamento permanente acumulado total (condicionamento + ensaio) (mm)

**OBS: Informações que o relatório de ensaio de módulo de resiliência deve apresentar.**

\_\_\_\_\_/Anexo F

## Anexo F (Informativo)

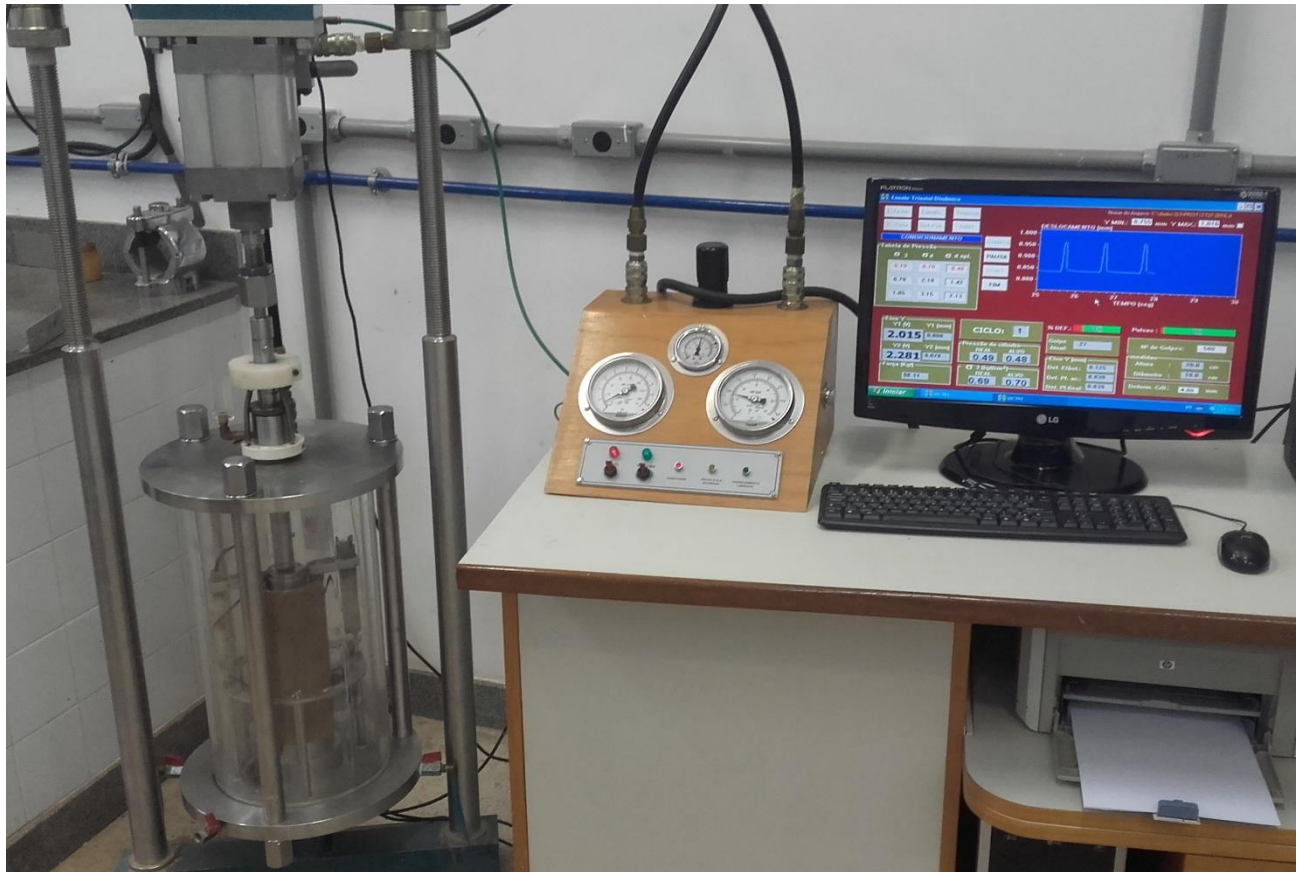


Foto - Exemplo de Equipamento triaxial com LVDTs fixados no cabeçote superior e apoiados em hastes guias.

\_\_\_\_\_ /Anexo G

Anexo G (Informativo) - Fotos



1 - Moldagem do corpo de prova (CP) compactador mecânico.



2 - Compactação da penúltima camada com anel complementar.



3 - Corpo de prova após a compactação da última camada



4 - Rasando o corpo de prova após a retirada do colarinho



5 - Corpo de prova depois de rasado



6 - Pesagem do corpo de prova



7 - Retirada do CP do cilindro tripartido



8 - Retirada do CP do cilindro tripartido.



9 - Amostra moldada pronta para o ensaio (CP).



10 - CP desmoldado e encamisador com a membrana.



11 - Montagem dos LVDTs sobre o cabeçote na câmara triaxial



12 - Equipamento triaxial dinâmico pronto para ensaio.



13 - Detalhe: Tampa colocada e fixada.



14 - Tela do sistema de aquisição de dados.



15 - Peças do cilindro tripartido

**Sequência de fotos: desde a compactação do corpo de prova até a montagem do ensaio.**



## Anexo H (Informativo) - Bibliografia

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY TRANSPORTATION OFFICIALS. *AASHTO T 307-99-UL*: Standard method of test for determining the resilient modulus of soils and aggregate materials. Washington, D.C., 1999. 40 p. Disponível em: <[https://bookstore.transportation.org/item\\_details.aspx?id=841](https://bookstore.transportation.org/item_details.aspx?id=841)>. Acesso em: 10 maio 2017.
- b) AUSTRROADS. *AG:PT T-053:2007*: Determination of permanent deformation and resilient modulus characteristics of unbound granular materials under drained conditions. Sidney, 2007. 29 p. Disponível em: <<https://www.onlinepublications.austroroads.com.au/items/AGPT-T053-07>>. Acesso em: 09 maio 2017.
- c) BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *BS EN 13286-7:2004*: Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 7: Cyclic load Triaxial test for unbound mixtures. London, 2004. 40 p. Disponível em: <[shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030037150](http://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030037150)>. Acesso em: 08 maio 2017.
- d) MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. *Mecânica dos pavimentos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. 620 p.
- e) PETROBRAS. Procedimento Rede nº 04/2010: Detalhamento do ensaio triaxial de módulo de resiliência de solos. In: \_\_\_\_\_. *Manual de execução de trechos monitorados da rede temática de asfalto*: Anexo digital. Rio de Janeiro, 2010. p. 26-30. Disponível em: <[https://pt.scribd.com/document/331948658/Anexo\\_digital\\_Procedimentos\\_Rede](https://pt.scribd.com/document/331948658/Anexo_digital_Procedimentos_Rede)>. Acesso em: 10 maio 2017.

\_\_\_\_\_ / Índice geral

## Índice geral

Abstract	1	Deslocamento resiliente ou recuperável	3.4	2
Amostra	5	Determinação do módulo de resiliência	7.2	6
Amostra deformada	5.2	Duração do ciclo da carga repetida	3.2	2
Amostra indeformada	5.1	Frequência	3.3	2
Anexo A (Normativo)	9	Índice geral		18
Anexo B (Normativo)	10	Módulo de resiliência (MR) dos solos	3.8	3
Anexo C (Normativo)	11	Montagem do ensaio	6	5
Anexo D (Normativo)	12	Objetivo	1	2
Anexo E (Normativo)	13	Prefácio		2
Anexo F (Informativo)	14	Preparação do corpo de prova	5.3	5
Anexo G (Informativo)	15	Pulso	3.1	2
Anexo H (Informativo)	17	Referência normativa	2	2
Aparelhagem	4	Resultados	8	8
Aplicação das cargas repetidas	7	Resumo		1
Condicionamento	7.1	Sumário		1
Definições	3	Tabela 1		6
Deformação plástica ou permanente	3.7	Tabela 2		7
Deformação resiliente ou Recuperável	3.6	Tabela 3		7
Deslocamento plástico ou permanente	3.5			