



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  
Tel/fax: (21) 3545-4600

Maio/2017

NORMA DNIT xxx/2017-ME

## Pavimentação – Material Estabilizado Quimicamente – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio

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

**Processo:** 50607.005823/2016-46

**Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de / / .**

*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:

BGTC, solo-cimento CCR, material tratado quimicamente, módulo de resiliência.

### Total de páginas

16

### Resumo

Esta norma especifica os procedimentos de ensaio para determinação do comportamento resiliente de brita graduada tratada com cimento Portland (BGTC), concreto compactado com rolo (CCR), material de reciclagem de revestimento e de base com adição de cimento Portland, solo cimento e outros materiais de pavimentação estabilizados quimicamente. As características simulam as condições físicas e os estados de tensões que estes materiais estarão submetidos devido às cargas móveis do tráfego nas camadas do pavimento. Descreve o equipamento e as condições do ensaio para obtenção desta propriedade mecânica do material.

O ensaio é conduzido à semelhança de um ensaio de compressão simples, onde a tensão de confinamento é nula, porém a tensão axial (ou vertical) é aplicada de forma repetida com o controle do pulso, duração e frequência de aplicação da carga.

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 com a dimensão máxima das partículas sendo 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 cement treated base (CCTB), roller compacted concrete (RCC), cold recycling with cement, soil - cement, and other pavement materials that are chemically stabilized. The test conditions are such that they 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.

The test is conducted similarly to a unconfined compressive strength test, in which the confining stress is null, but the axial stress (or vertical) is applied in a repetitive manner controlling the pulse, duration and frequency of the load.

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 Referências normativas .....	2
3 Definições .....	2
4 Aparelhagem.....	4
5 Amostra.....	5
6 Preparação do corpo de prova.....	6
7 Montagem do ensaio.....	6
8 Aplicação das cargas repetidas .....	7
9 Resultados .....	7
Anexo A (Normativo) - Figuras - Esquemas.....	8
Anexo B (Normativo) - Figura - Aparelhagem .....	9
Anexo C (Normativo) - Figura - Cilindro .....	10
Anexo D (Normativo) - Tabela.....	11
Anexo E (Normativo) - Relatório .....	12
Anexo F (Informativo) - Foto - Equipamento .....	13
Anexo G (Informativo) - Foto.....	14
Anexo H (Informativo) - Bibliografia .....	15
Índice geral.....	16

**Prefácio**

A presente Norma foi preparada 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 materiais estabilizados quimicamente. Sua criação foi promovida no âmbito do Termo de Execução Descentralizada nº 682/2014 firmado com a COPPE/UFRJ. Os Anexos de A, B, C, D e E são de caráter normativo e os Anexos F, G e H são de caráter informativo. Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009-PRO.

**1 Objetivo**

Este método prescreve o modo pelo qual se determinam os valores do módulo de resiliência de BGTC, concreto compactado com rolo (CCR), material de reciclagem de revestimento e base com adição de cimento Portland, solo-cimento e materiais estabilizados quimicamente para diferentes tensões aplicadas, utilizando um equipamento que permita aplicação de tensões repetidas com o padrão exigido nesta norma, seja o equipamento triaxial de carga repetida, sem o uso da tensão confinante ou equipamento axial de carga repetida.

O módulo de resiliência 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, usados na análise numérica de dimensionamento de pavimentos. O comportamento resiliente é medido para cinco diferentes tensões aplicadas, compatíveis com as condições esperadas no campo.

NOTA: Esta norma pode ser aplicada em amostras de materiais estabilizados quimicamente com cimento Portland, cal, mistura de ambos, outros produtos pozolânicos e aditivos de outra natureza, desde que a tensão de confinamento não tenha influência nos resultados.

**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 dos referidos documentos (inclusive emendas).

- DNER – ME 213: Solos – Determinação do teor de umidade – Método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR.
- DNIT 134 - ME: Pavimentação - Solos - Determinação do módulo de resiliência – 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 do carregamento a que o corpo de prova é submetido a uma tensão axial pulsante vertical, tensão principal maior ( $\sigma_1$ ). A duração do pulso padrão neste ensaio é de 0,1 segundo.

### 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 1Hz, 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 total

Deslocamento total axial, ou vertical, é definido como o deslocamento total medido entre o deslocamento correspondente ao ponto de início da aplicação da tensão axial e o deslocamento onde a tensão aplicada é máxima.

### 3.5 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 aplicada é máxima e o fim do ciclo que é o descarregamento. Ver esquema da Figura 2 do anexo A.

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

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

NOTA: Esta norma não se aplica para a avaliação da deformação permanente ou plástica de materiais estabilizados quimicamente. O valor medido se presta única e exclusivamente para se corrigir a distância entre alças do dispositivo de medição do

deslocamento, para efeitos de cálculo da deformação específica recuperável durante a execução do ensaio.

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

É o deslocamento resiliente vertical dividido pela altura de referência do medidor de deslocamento ou deformação específica elástica.

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

É o deslocamento plástico ou permanente dividido pela altura de referência do medidor de deslocamento, deformação plástica específica.

### 3.9 Módulo de resiliência (MR)

É a relação entre a tensão pulsante, no caso a tensão principal maior ou tensão vertical ( $\sigma_1$ ), aplicada repetidamente na amostra e a correspondente deformação vertical recuperável ou resiliente ( $\varepsilon_r$ ):

$$MR = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_r}$$

### 3.10 Material estabilizado ou tratado quimicamente

A estabilização química consiste na adição de um ou mais produtos químicos (agente estabilizador), que ao solidificarem ou reagirem com as partículas de solo, de brita, de agregados naturais, de resíduos ou de materiais reciclados, aglomeram-nas, diminuem os vazios ou tornam o material mais resistente à água.

Material estabilizado quimicamente consiste na mistura íntima de solo, brita, agregados naturais, resíduos ou materiais reciclados, e combinações destes, com produtos químicos que promovam a cimentação da maioria das partículas minerais, promovendo mudança radical do comportamento mecânico do material, em comparação com sua condição natural. Em geral, o material passa a apresentar comportamento mecânico de material frágil.

Quando se forma a mistura material-estabilizador pode ocorrer que o estabilizador forme ou não uma matriz contínua com o material. Na matriz contínua o agente estabilizador preenche quase todos os vazios e as partículas do material ficam nela mergulhadas como se fossem um inerte de enchimento. Nesse caso, as propriedades do sistema são essencialmente as da

matriz e as propriedades mecânicas do estabilizador predominam.

Os produtos químicos mais comumente empregados na pavimentação são o cimento Portland e a cal, mas outros produtos pozolânicos ou mesmo combinações de resíduos e produtos comerciais também podem ter este efeito cimentante.

O teor de agente cimentante utilizado determina se a cimentação foi radical ou se a modificação foi parcial, neste caso obtendo-se um solo melhorado. Métodos de dosagem próprios para cada par estabilizador/material definem este teor.

Esta norma se aplica a solos, britas, materiais granulares naturais, resíduos e materiais reciclados estabilizados quimicamente.

#### 4 Aparelhagem

A aparelhagem se encontra esquematizada no Anexo B, sendo constituída de:

a) Prensa pneumática: estrutura de suporte, cilindro de pressão a ar comprimido com pistão de carga.

NOTA: Admite-se o uso de prensa hidráulica com estrutura que permita a aplicação de cargas cíclicas. Toda prensa deve ter capacidade de carga compatível com os níveis de tensões a serem aplicados, sem apresentar deformações que comprometam o ensaio;

b) Sistema de carregamento: o sistema a ser empregado deve ser capaz de garantir a aplicação do ciclo de tensão com duração e frequência do pulso de carregamento requerido pelo ensaio, conforme definido na seção 3 – Definições, desta norma;

c) Sistema pneumático de carregamento, composto de:

- Válvula reguladora de pressão de ar comprimido, para aplicação da tensão vertical ( $\sigma_1$ );
- 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) 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 aplicadas durante todo o ensaio. Quando utilizada célula de carga, esta deve ser colocada em contato direto com o cabeçote.

e) 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;
- Cada LVDT deve estar fixado no terço-médio da amostra, por meio de alças (Anexo B) ou outro dispositivo que garanta uma referência de medida solidária ao corpo de prova;
- O LVDT e o sistema de aquisição de dados usados devem garantir uma precisão na leitura do deslocamento de 1x10-3mm. A faixa de leitura para o LVDT deve ser de até  $\pm 0,5$  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 da frequência e duração do pulso de aplicação da 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 LVDTs é usada para o cálculo do módulo de resiliência - MR. Uma calibração, com micrômetro é necessária para correlacionar as deformações com os valores dos registros.

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

f) 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), conforme figura do Anexo C.

NOTA: A escolha do tamanho do cilindro tripartido está condicionada à granulometria da amostra a ser ensaiada (ver seção 5). Admite-se,

eventualmente, o cilindro bipartido, respeitando a relação altura/diâmetro igual 2 para 1;

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

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

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

NOTA: Se o equipamento a ser utilizado for o mesmo da norma descrita no ensaio triaxial de solos (DNIT\_134/2017-ME) deve-se manter a pedra porosa, devido a calibração do cilindro de aplicação de carga.

## 5 Amostra

Inicialmente a amostra deve ser seca ao ar, ou em estufa, desde que a temperatura da estufa não ultrapasse a 60 °C, destorroada em almofariz com pilão de ponta recoberta por borracha e quarteada, no caso de amostra de solo. No caso de amostra de agregado, este pode ser seco em estufa até 100 °C e não necessita ser destorroado, mas é necessário o peneiramento de toda a amostra, para que a mesma fique dentro da faixa granulométrica especificada em projeto.

Para as amostras 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 38,1mm, descarta-se esse material retido na peneira de 38,1 mm e utiliza-se 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 utiliza-se apenas o material passante na peneira de 25,4 mm no cilindro de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, desde que essa informação esteja descrita no Relatório Final do ensaio.

Para BGTC a porcentagem de cimento Portland previamente escolhida para a estabilização química deve ser misturada à brita na condição seca e em seguida adicionada a quantidade de água necessária para se atingir a umidade ótima. Deve ser garantida a homogeneização adequada do conjunto. A compactação do corpo de prova deve ser feita o mais rapidamente possível, no máximo no intervalo de uma hora após a mistura com água.

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 desta amostra que seja suficiente para preencher o molde de compactação no volume previsto e acrescenta-se 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 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, e o grau de compactação entre 98% e 101%.

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 de umidade e ao grau de compactação pretendidos. Informar estas condições de preparação do corpo de prova 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.

NOTAS:

- 1) A quantidade de material sugerida para a moldagem de um corpo de prova de dimensões 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 de dimensões 150 mm por 300 mm necessita-se em média de 15.000 gramas de material;

2) A umidade ótima da amostra quando o agente estabilizador químico é o cimento Portland não tem grande variação em relação ao material puro. Mas para alguns estabilizantes como, por exemplo, a cal, as condições de compactação (umidade ótima e densidade máxima) variam muito com o teor de agente, portanto, a curva de compactação deve ser feita previamente com o teor de agente escolhido.

## 6 Preparação do corpo de prova

É feita por compactação mediante impacto de um soquete, à energia especificada, baseado na norma DNIT 134/2017-ME, de acordo com o que segue:

- 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 o peso 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 material no molde tripartido de 100 por 200 mm ou no de 150 por 300 mm; a compactação deve ser realizada em 10 camadas e acrescenta-se o anel complementar do cilindro na penúltima camada;
- d) Pesar uma parte do material que não foi utilizado na compactação em duas ou três cápsulas, para obter uma aproximação da umidade média da amostra, utilizando para o cálculo a norma de método de ensaio DNER - ME 213/94;
- e) A quantidade de golpes por camada depende das dimensões 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) Pesar 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 a P1 (massa P3). Dividir essa massa P3 (g) pelo volume interno do cilindro (cm<sup>3</sup>), para obter a massa específica úmida do corpo de prova;

g) Desapertar os parafusos das braçadeiras, retirando cada uma das partes do molde, que deve deslizar pela superfície lateral do corpo de prova. Se necessário, pode ser utilizado um soquete leve de madeira para auxiliar com pequenos golpes no topo para a retirada do molde.

h) Colocar o corpo de prova na câmara úmida pelo período de cura indicado no projeto, adotando-se medidas preventivas para garantir a integridade física do mesmo, especialmente nas primeiras horas após a moldagem.

### NOTAS:

- 1) Os períodos de cura normalmente recomendados para material estabilizado com cimento são 7 e 28 dias. Para materiais estabilizados com cal, recomendam-se tempos de cura maiores.
- 2) Para garantir uma superfície plana no topo do corpo de prova, se necessário utilizar recapeamento com gesso ou pasta de cimento branco, ou qualquer outro procedimento adequado para esse fim.

## 7 Montagem do ensaio

A montagem do ensaio compreende as seguintes etapas:

- a) Colocar o corpo de prova sobre a base do equipamento, com ou sem pedra porosa, conforme o equipamento utilizado;
- b) Fixar as alças de suporte do par de LVDT no corpo de prova. As alças devem estar espaçadas de um comprimento correspondente ao terço médio da altura do corpo de prova e fixadas equidistantes das faces do corpo de prova;
- c) Fixar os LVDTs nas alças, ajustando o seu posicionamento com o auxílio do sistema de aquisição de dados, até que a leitura fique dentro do intervalo recomendado pelo programa de aquisição de dados;

d) Medir a distância entre as alças de fixação dos LVDTs, com acurácia de ± 0,1 mm. Fazer quatro medidas e determinar a média. Esta distância é a altura de referência inicial para o cálculo da deformação recuperável correspondente a cada ciclo de tensão aplicada;

e) Colocar o cabeçote sobre o corpo de prova;

f) Ajustar a haste de aplicação da carga axial de tal forma que fique centralizada no cabeçote e pressionando levemente o corpo de prova;

g) Rever o ajuste dos transdutores com o auxílio do computador ou sistema de aquisição de dados, até que a leitura fique dentro do intervalo recomendado.

**8 Aplicação das cargas repetidas**

A frequência das cargas repetidas na tensão vertical (tensão principal maior) 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. Este ensaio é realizado sem tensão confinante.

Realizar 50 repetições de aplicação de carga para cada tensão vertical da Tabela 1. O cálculo usado para determinar o MR leva em consideração apenas o valor médio do deslocamento resiliente das últimas 5 aplicações de carga para cada tensão vertical.

**Tabela 1 – Tensões verticais para determinação do módulo de resiliência**

Sequência	Tensão principal maior $\sigma_1$ (MPa)	Número de aplicações de cargas
1	0,1	50
2	0,2	50
3	0,3	50
4	0,4	50
5	0,5	50

Deve-se adequar as tensões indicadas na Tabela 1 de forma que as deformações medidas se situem no intervalo entre 25 e 50  $\mu$ m.

**9. Resultados**

Com os valores obtidos são calculados os módulos de resiliência para cada tensão vertical aplicada, por meio das expressões:

$$MR = \frac{\sigma_1}{\epsilon_R}$$

$$\epsilon_R = \frac{\delta_r}{H_0}$$

Onde:

MR = Módulo de Resiliência, MPa;

$\sigma_1$  = Tensão vertical, MPa;

$\epsilon_R$  = Deformação resiliente;

$\delta_r$  = Deslocamento resiliente, mm;

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

O valor de  $H_0$  vai depender da posição do medidor de deslocamento.

Os resultados devem ser apresentados no Relatório de Ensaio de Módulo de Resiliência, cujo modelo consta do Anexo E.

Recomenda-se o ensaio de três corpos de prova em condições iguais de umidade e densidade (ensaio em triplicata), garantindo que os resultados não difiram 10% da média para a aceitação do ensaio.

Anexo A (Normativo)

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

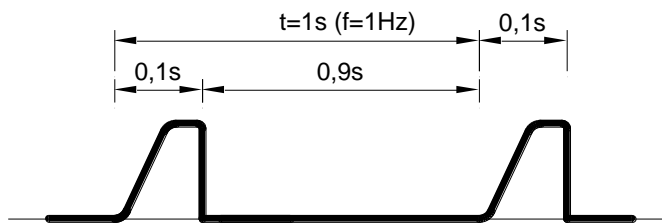
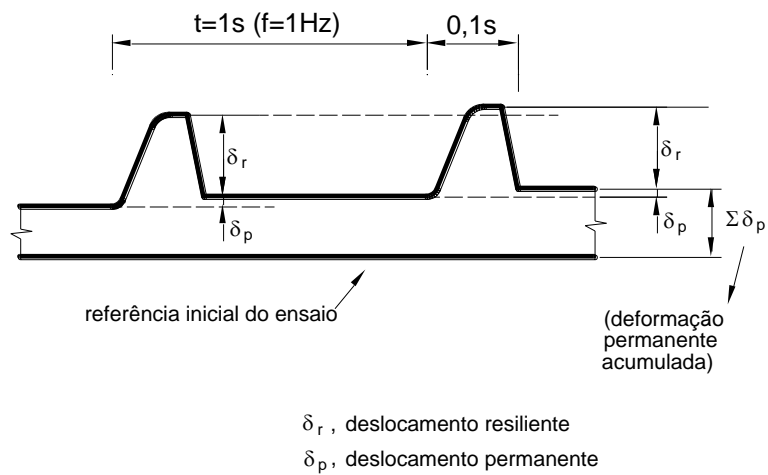


Figura 2 – Modelo esquemático de registro dos deslocamentos verticais do ensaio de cargas repetidas.

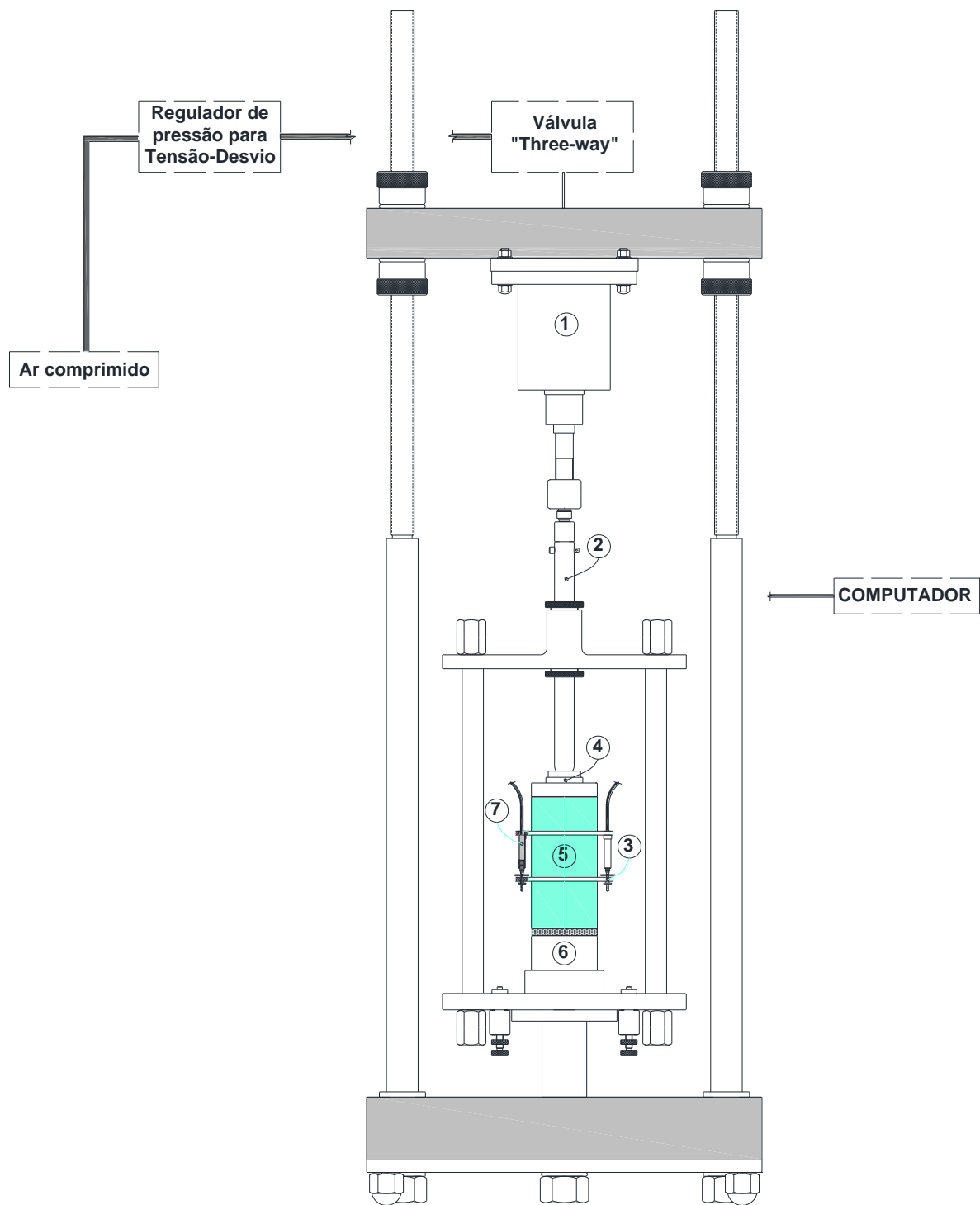




Anexo B (Normativo)

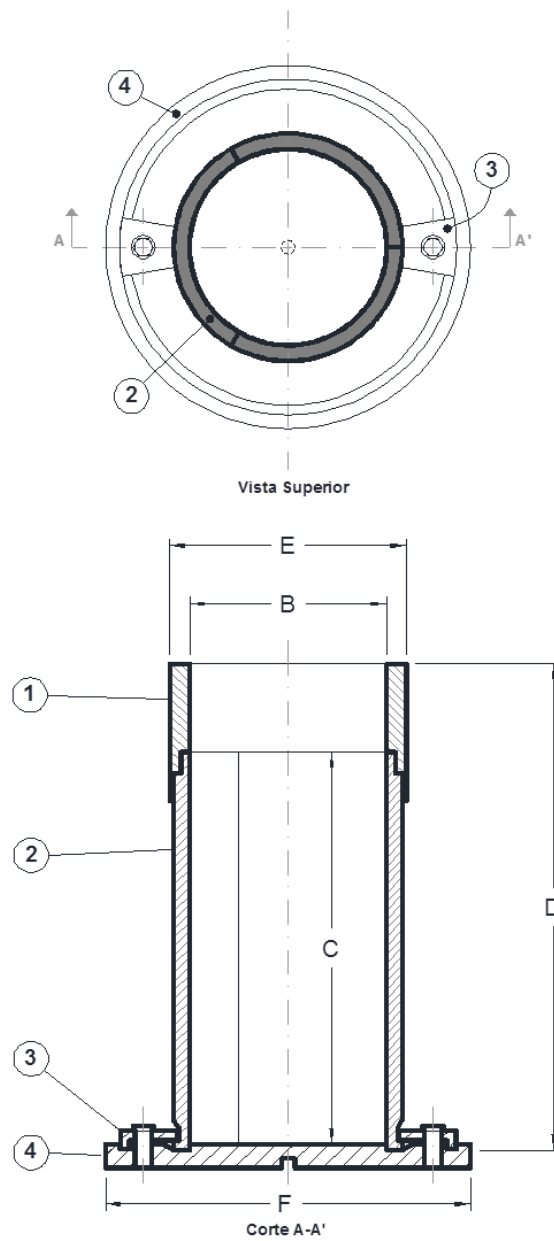
Figura - Aparelhagem para Determinação do Módulo de Resiliência de BGTC

Esquema do equipamento de carga repetida



1 - Cilindro de Pressão	5 - Corpo de prova
2 - Pistão de Carga	6 - Base de apoio
3 - Alça	7 - LVDT
4- Cabeçote ( <i>Top-cap</i> )	-

Anexo C (Normativo)



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

Data da compactação

Identificação e natureza da amostra

Tipo de estabilizante químico

Tempo de cura (dias)

Porcentagem (em peso) do estabilizante químico (%)

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 Demonstrativo de Resultados

Ciclo	Tensão vertical (MPa)	Deslocamento recuperável (mm)	Deformação resiliente	Módulo de Resiliência (MPa)
1	0,10			
2	0,20			
3	0,30			
4	0,40			
5	0,50			

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

**Anexo F (Informativo)**

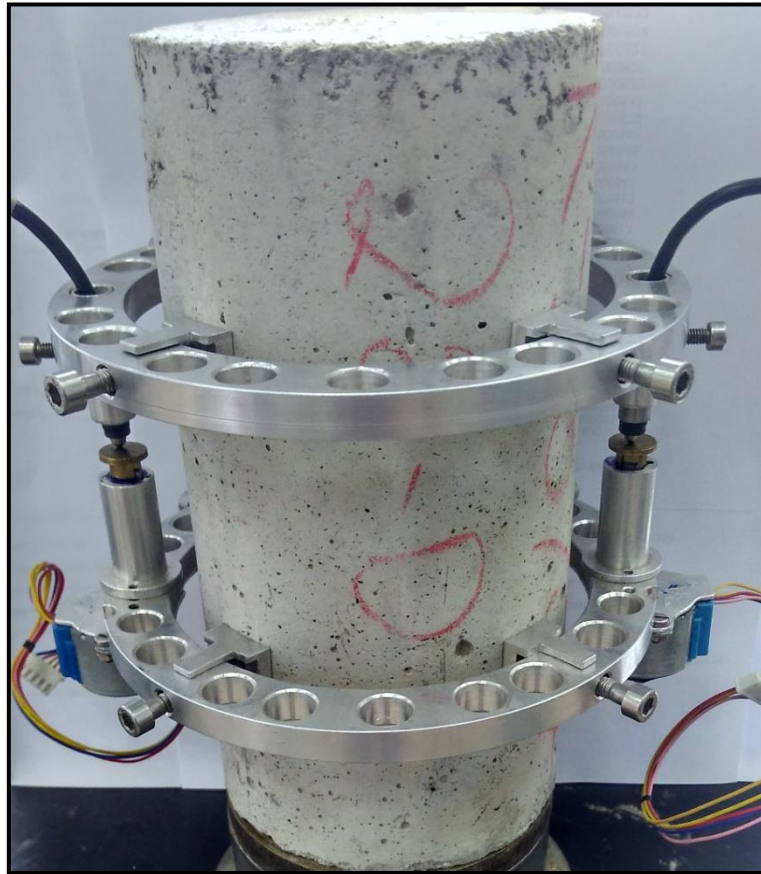
**Foto - Exemplo de equipamento de carga repetida**



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

**Anexo G (Informativo)**

**Foto – Detalhe do sistema de medição de deslocamento no terço médio em corpo de prova estabilizado quimicamente.**



\_\_\_\_\_/Anexo H

## Anexo H (Informativo) - Bibliografia

- a) BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *BS EN 13286-7:2004*: Unbound and Hydraulically Bound Mixtures - Part 7: Cyclic Load Triaxial Test for Unbound Mixtures. London, 2004. Disponível em: <[shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030037150](http://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030037150)>. Acesso em: 08 maio 2017.
- b) \_\_\_\_\_. *BS EN 13286-40:2003*: Unbound and Hydraulically Bound Mixtures - Part 40: Test method for determination of the direct tensile strength of hydraulically bound mixtures. London, 2003. Disponível em: <[shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030045892](http://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030045892)>. Acesso em: 08 maio 2017.
- c) \_\_\_\_\_. *BS EN 13286-42:2003*: Unbound and Hydraulically Bound Mixtures - Part 42: Test method for determination of the indirect tensile strength of hydraulically bound mixtures. London, 2003. Disponível em: <[shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030021892](http://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030021892)>. Acesso em: 08 maio 2017.
- d) \_\_\_\_\_. *BS EN 13286-43:2003*: Unbound and Hydraulically Bound Mixtures - Part 43: Test method for determination of the modulus of elasticity of hydraulically bound mixtures. London, 2003. Disponível em: <[shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=0000000000300084830](http://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=0000000000300084830)>. Acesso em: 08 maio 2017.
- e) \_\_\_\_\_. *BS EN 13286-53:2004*: Unbound and Hydraulically Bound Mixtures - Part 53: Methods for the manufacture of test specimens of hydraulically bound mixtures using axial compression. London, 2004. Disponível em: <[shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030066712](http://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030066712)>. Acesso em: 08 maio 2017.
- f) LUVIZÃO, G. *Avaliação do desempenho da reciclagem na rodovia SC 355*: caracterização da mistura reciclada e avaliação estrutural de segmentos monitorados executados. 2014. 413 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2014. Disponível em: <<http://www.bu.ufsc.br/teses/PECV0915-D.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2017.
- g) MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. *Mecânica dos pavimentos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. 620 p

**Índice geral**

Abstract	..... 1	recuperável	3.5 ..... 3
Amostra	5 ..... 5	Deslocamento total	3.4 ..... 3
Anexo A (Normativo)	..... 8	Duração do ciclo da carga repetida	3.2 ..... 3
Anexo B (Normativo)	..... 9	Frequência	3.3 ..... 3
Anexo C (Normativo)	..... 10	Índice geral	.....16
Anexo D (Normativo)	..... 11	Material estabilizado ou tratado quimicamente	3.10 ..... 3
Anexo E (Normativo)	..... 12	Módulo de resiliência	3.9 ..... 3
Anexo F (Informativo) – Foto	..... 13	Montagem do ensaio	7 ..... 6
Anexo G (Informativo) – Foto	..... 14	Objetivo	1 ..... 2
Anexo H (Informativo) – Bibliografia	..... 15	Prefácio	..... 2
Aparelhagem	4 ..... 4	Preparação do corpo de prova	6 ..... 6
Aplicação das cargas repetidas	8 ..... 7	Pulso	3.1 ..... 3
Definições	3 ..... 2	Referências normativas	2 ..... 2
Deformação plástica ou permanente	3.8 ..... 3	Resultados	9 ..... 7
Deformação resiliente ou recuperável	3.7 ..... 3	Resumo	..... 1
Deslocamento plástico ou permanente	3.6 ..... 3	Sumário	..... 1
Deslocamento resiliente ou		Tabela 1	..... 7

---