

Solos – determinação do módulo de resiliência

Norma Rodoviária

Método de Ensaio

DNER-ME 131/94

Página 1 de 9

RESUMO

Este documento, que é uma norma técnica, estabelece um método para determinar os valores do módulo de resiliência de solos para várias tensões aplicadas, de utilizada para projeto de pavimentos flexíveis.

ABSTRACT

This document presents the procedure for determination of the soil resilient modulus for various tensions, applied for flexible pavement design. It prescribes the apparatus and conditions for the obtention of result.

SUMÁRIO

0 APRESENTAÇÃO

1 OBJETIVO

2 REFERÊNCIAS

3 DEFINIÇÃO

4 APARELHAGEM

5 AMOSTRA

6 ENSAIO

7 RESULTADO

Anexo Normativo

0 APRESENTAÇÃO

Esta Norma decorreu da necessidade de se adaptar, quanto à forma, a DNER-ME 131/86 à DNER-PRO 101/93, mantendo-se inalterável o seu conteúdo técnico.

1 OBJETIVO

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

Solos – determinação do módulo de resiliência

Norma Rodoviária

DNER-ME 131/94

Método de Ensaio

Página 2 de 9

2 REFERÊNCIAS

2.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

No preparo desta Norma foram consultados os seguintes documentos:

- a) DNER-ME 131/86, designada Determinação do módulo de resiliência de solos;
- b) Pinto, S. e Preussler, E.S. – Módulos resilientes de concretos asfálticos, anais do 5º encontro de asfalto do Instituto Brasileiro de Petróleo – 1980;
- c) Preussler, E. S. e Pinto, S. – Proposição de método para projeto de reforço de pavimentos flexíveis, considerando a resiliência, anais da 17ª reunião anual de pavimentação da ABPv – 1982.

3 DEFINIÇÃO

O módulo de resiliência (MR) de solos é a relação entre a tensão-desvio (s_d), aplicada repetidamente em uma amostra de solo e a correspondente deformação específica vertical recuperável ou resiliente (e_R):

$$MR = \frac{s_d}{e_R}$$

4 APARELHAGEM

Está esquematizada no Anexo – Figura 1, sendo constituída:

- a) célula triaxial para ensaiar amostras de solo sob ação de cargas verticais repetidas;
- b) sistema pneumático de carregamento, composto de:
 - reguladores de pressão para aplicação da tensão-desvio (s_d) e confinante (e_3);
 - válvula de transmissão do carregamento vertical;
 - cilindro de pressão e pistão de carga;
 - dispositivo mecânico digital (“timer”) para controle do tempo de abertura da válvula e frequência de aplicação do carregamento;
- c) sistema de vácuo com a finalidade de verificar a presença de furos na membrana que envolve a amostra;
- d) sistema de medição de deformação da amostra, constituído de:
 - dois transdutores mecânico – eletromagnéticos tipo LVDT (“Linear variable differential transformer”);
 - par de alças para fixação dos LVDT na amostra;
 - oscilógrafo e amplificador com características apropriadas para uso com os transdutores.

O princípio de funcionamento dos transdutores LVDT consiste em transformar as deformações axiais durante o carregamento repetido em potencial elétrico, cujo valor é

Solos – determinação do módulo de resiliência

Norma Rodoviária

DNER-ME 131/94

Método de Ensaio

Página 3 de 9

registrado no oscilógrafo. Uma pré-calibração é necessária, a fim de correlacionar as deformações com os valores dos registros;
e) estrutura de suporte com acessórios.

5 AMOSTRA

O corpo-de-prova destinado ao ensaio pode ser obtido de bloco de amostra indeformada, de tubos do tipo Shelby ou de amostra compactada em laboratório em molde cilíndrico apropriado, com a energia de compactação e o teor de umidade desejados. O diâmetro do molde deve ser superior ou igual a 4 vezes o diâmetro máximo das partículas do solo.

O corpo-de-prova deve ter dimensões tais que a relação altura diâmetro seja de aproximadamente igual a 2.

6 ENSAIO

6.1 MONTAGEM DO CONJUNTO TRIAXIAL

- a) colocar o corpo-de-prova na base da célula triaxial;
- b) colocar o cabeçote no topo do corpo-de-prova;
- c) envolver o corpo-de-prova com uma membrana de borracha;
- d) verificar a existência de furos na membrana através de aplicação de vácuo na base do corpo-de-prova. Não utilizar membranas perfuradas;
- e) fixar lateralmente o par de alças ao corpo-de-prova;
- f) fixar e ajustar os transdutores nas alças de modo a se obter registro no oscilógrafo;
- g) medir e anotar a distância entre alças (H_o). Este valor é a altura de referência do corpo-de-prova para o cálculo da deformação vertical recuperável ou resiliente;
- h) ajustar a célula triaxial ao pistão de carga observando o perfeito assentamento do mesmo com o cabeçote.

6.2 SOLO ARENOSO OU PEDREGULHOSO

No caso de solos arenosos ou pedregulhosos a técnica de ensaio é a seguinte:

- a) fase de condicionamento do corpo-de-prova:
 - aplicar uma tensão confinante (s_3) de 70 kPa (0,70 kgf/cm²);
 - aplicar 200 vezes a tensão desvio (s_d) de 70 kPa (0,70 kgf/cm²), com uma freqüência de 20 ciclos por minuto, duração de 0,10 segundos;
 - aplicar 200 vezes a tensão desvio (s_d) ou 210 kPa (2,10 kgf/cm²), com uma freqüência de 20 ciclos por minuto, duração de 0,10 segundo;
 - aplicar uma tensão confinante (s_3) de 105 kPa (1,05 kgf/cm²);
 - aplicar 200 vezes a tensão desvio (s_d) ou 315 kPa (3,15 kgf/cm²), com freqüência de 20 ciclos por minuto, duração de 0,10 segundos.

Solos – determinação do módulo de resiliência

Norma Rodoviária

Método de Ensaio

DNER-ME 131/94

Página 4 de 9

b) registro das deformações no oscilógrafo:

- aplicar uma tensão confinante (s_3) de 21 kPa (0,21 kgf/cm²) e 200 vezes a tensão desvio (s_d) de 21 kPa, com uma frequência de 20 ciclos por minuto, duração de 0,10 segundos registrar o oscilógrafo a deformação resiliente após as 200 aplicações do carregamento vertical;
- repetir o procedimento anterior para tensões desvio (s_d) de 42 kPa e 63 kPa;
- aplicar uma tensão confinante (s_3) de 35 kPa e 200 vezes a tensão desvio (s_d) de 35 kPa, com uma frequência de 20 ciclos por minuto, duração de 0,10 segundo e registrar no oscilógrafo a deformação resiliente após as 200 aplicações do carregamento vertical;
- repetir o procedimento anterior para tensões desvio (s_d) de 70 kPa e 105 kPa;
- manter a seqüência de aplicação de tensões confinantes e desvio para os seguintes valores.

$$s_3 = 52,5 \text{ kPa} \begin{cases} s_d = 52,5 \text{ kPa} \\ s_d = 105 \text{ kPa} \\ s_d = 57,5 \text{ kPa} \end{cases}$$

$$s_3 = 70 \text{ kPa} \begin{cases} s_d = 70 \text{ kPa} \\ s_d = 140 \text{ kPa} \\ s_d = 210 \text{ kPa} \end{cases}$$

$$s_3 = 105 \text{ kPa} \begin{cases} s_d = 105 \text{ kPa} \\ s_d = 210 \text{ kPa} \\ s_d = 315 \text{ kPa} \end{cases}$$

$$s_3 = 140 \text{ kPa} \begin{cases} s_d = 140 \text{ kPa} \\ s_d = 280 \text{ kPa} \\ s_d = 420 \text{ kPa} \end{cases}$$

- registrar no oscilógrafo a deformação resiliente, para o par de valores $s_3 \times s_d$, após cada 200 aplicações do carregamento vertical (s_d).

6.3 SOLO ARGILOSO OU SILTOSO

No caso de solos argilosos ou siltosos a técnica de ensaio é a seguinte:

a) fase de condicionamento do corpo-de-prova

Solos – determinação do módulo de resiliência

Norma Rodoviária

DNER-ME 131/94

Método de Ensaio

Página 5 de 9

- aplicar uma tensão confinante (s_3) de 21 kPa;
- aplicar 200 vezes a tensão desvio (s_d) de 70 kPa, com uma frequência de 20 ciclos por minuto, duração de 0,10 segundos;
- b) registro das deformações no oscilógrafo
 - manter a tensão confinante (s_3) de 21 kPa;
 - aplicar 200 vezes a tensão desvio (s_d) de 21 kPa, com uma frequência de 20 ciclos por minuto, duração de 0,10 segundos e registrar no oscilógrafo a deformação resiliente após as 200 aplicações do carregamento vertical;
 - repetir o procedimento anterior para tensões de 35; 52,5; 70; 105; 140 e 210 kPa.

7 RESULTADO

Com os valores obtidos são calculados os módulos de resiliência, através da expressão:

$$MR = \frac{s_d}{e_R}$$

$$e_R = \frac{\Delta h}{H_o}$$

Onde:

MR = módulo de resiliência, kPa;

s_d = tensão desvio aplicada repetidamente, kPa;

e_R = deformação específica resiliente;

Δh = deformação resiliente registrada no oscilógrafo, cm;

H_o = distância entre alças, cm.

7.1 SOLO ARENOSO OU PEDREGULHOSO

Os resultados são apresentados em gráfico cuja ordenadas, em escala logarítmica, são os valores dos módulos de resiliência (MR) e as abscissas, em escala logarítmica, são os valores das tensões confinantes (s_3). A análise de regressão fornece uma equação da forma:

$$MR = k_1 - s_3^{k_2} \text{ (Anexo – Figura 2)}$$

Onde:

k_1, k_2 = parâmetros de resiliência do solo ensaiado;

Solos – determinação do módulo de resiliência

Norma Rodoviária

Método de Ensaio

DNER-ME 131/94

Página 6 de 9

7.2 SOLO ARGILOSO OU SILTOSO

Os resultados podem ser apresentados em gráfico cujas ordenadas, em escala aritmética, são os valores dos módulos de resiliência (MR) e as abscissas, em escala aritmética, são os valores das tensões desvio (s_d). A análise de regressão fornece um modelo bilinear, representado pelas equações:

$$MR = k_2 + k_3(k_1 - s_d)k_1 > s_d$$

$$MR = k_2 + k_4(s_d - k_1)k_1 < s_d \text{ (Anexo – Figura 3)}$$

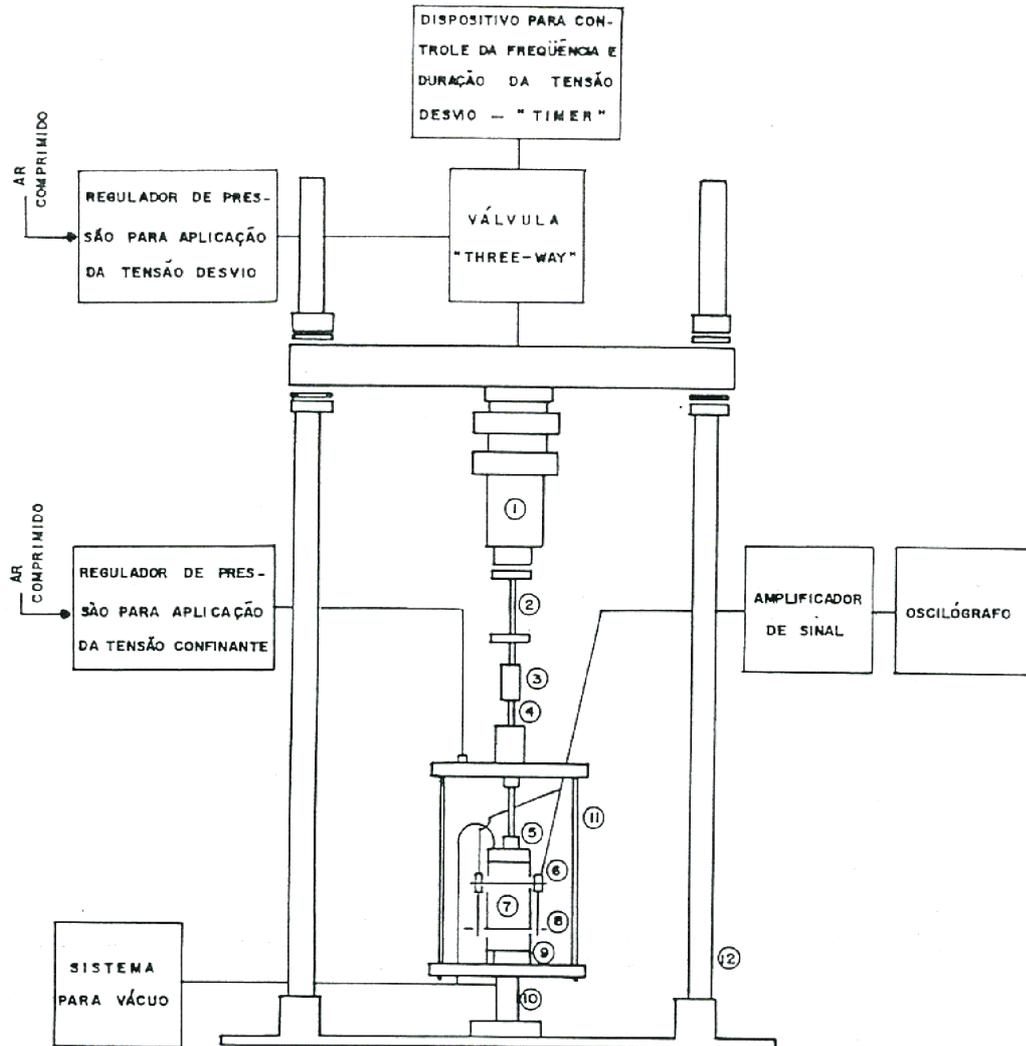
Onde:

k_1, k_2, k_3 e k_4 = parâmetros de resiliência do solo ensaiado.

- Notas :** 1) Alternativamente, os resultados podem ser apresentados através da equação $MR = c_1 - s_d^{c_2}$, onde c_1 e c_2 são parâmetros de resiliência do solo estudado e s_d é a tensão-desvio.
- 2) No caso de solos siltosos, em que a percentagem de silte na fração que passa na peneira nº 200 (0,074 mm), for superior ou igual a 65%, verificar a influência da tensão confinante (s_3), através da metodologia de ensaio descrita para solo arenoso ou pedregulhoso.

ANEXO NORMATIVO – FIGURAS

FIGURA 1 – ESQUEMA DO EQUIPAMENTO TRIAXIAL DE CARGA REPETIDA



- 1 - CILINDRO DE PRESSÃO
- 2 - PISTÃO DE CARGA
- 3 - CONEXÃO
- 4 - HASTE
- 5 - CABEÇOTE
- 6 - LVDT

- 7 - CORPO-DE-PROVA
- 8 - ALÇAS PARA FIXAÇÃO DOS LVDT
- 9 - BASE
- 10 - SUPORTE CENTRAL
- 11 - CÉLULA TRIAXIAL
- 12 - ESTRUTURA DE SUPORTE

Solos – determinação do módulo de resiliência

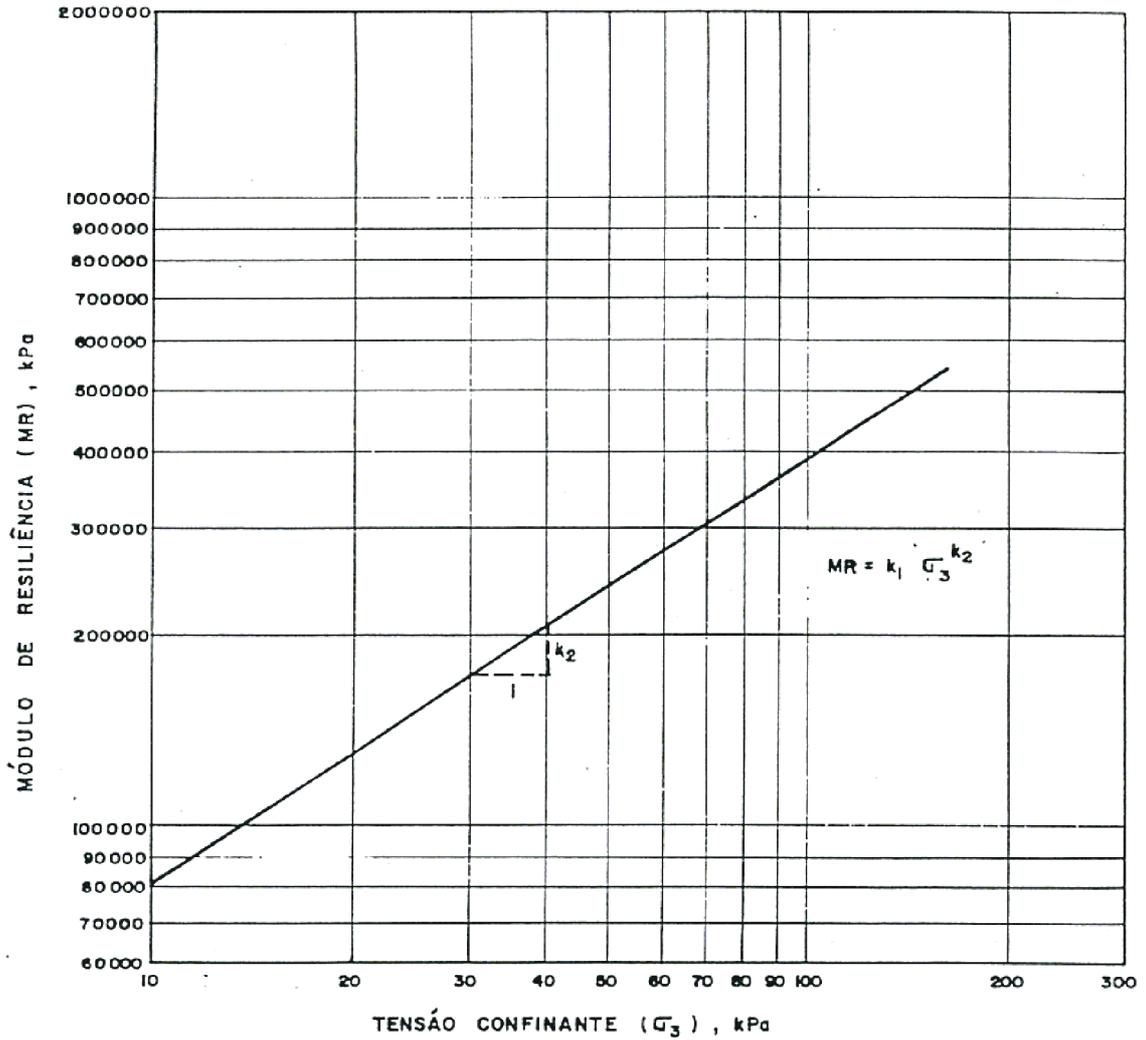
Norma Rodoviária

Método de Ensaio

DNER-ME 131/94

Página 8 de 9

FIGURA 2 – MÓDULO DE RESILIÊNCIA VERSUS TENSÃO CONFINANTE



Solos – determinação do módulo de resiliência

Norma Rodoviária

Método de Ensaio

DNER-ME 131/94

Página 9 de 9

FIGURA 3 – MÓDULO DE RESILIÊNCIA VERSUS TENSÃO DESVIO

