

# MT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM

Solos coesivos - determinação da compressão simples de amostras indeformadas

Norma rodoviária

Instrução de Ensaio

DNER-IE 004/94

p. 01/11

## RESUMO

Este documento, que é uma norma técnica, apresenta o procedimento para a determinação da resistência à compressão não confinada de amostras indeformadas de solos coesivos, na umidade natural, assim como requisitos concernentes à aparelhagem, e cálculos para obtenção dos resultados.

## ABSTRACT

This document presents the procedure for determining of the unconfined compressive strength of cohesive soil samples, at natural moisture content, and requirements concerning apparatus, for calculation and for obtention of the results.

## SUMÁRIO

- 0 Apresentação
- 1 Objetivo
- 2 Referência
- 3 Definições
- 4 Aparelhagem
- 5 Amostra
- 6 Ensaios
- 7 Cálculos

Anexo normativo

## 0 APRESENTAÇÃO

Esta Norma decorreu da necessidade de se adaptar, quanto à forma, a DNER-IE 004/71 à DNER-PRO 101/93, mantendo-se inalterável o seu conteúdo técnico.

**Macrodescriptores MT:** norma, ensaio, ensaio em laboratório, ensaio de solo

**Microdescriptores DNER:** ensaio, ensaio de laboratório, ensaio de compressão simples, amostra indeformada, solo coesivo

**Palavras-chave IRR/IPR:** solo (4156), solo coesivo (argila) (4157), compressão (5532), amostra indeformada (6260)

**Descriptores SINORTEC:** amostras, normas, amostragem do solo

Aprovada pelo Conselho de Administração em 09/07/71

Resolução nº 526/71 Sessão nº CA/ 26/71

Processo nº 51100002618/94-3

Autor: DNER/DrDTc (IPR)

Adaptação da DNER-IE 004/71 à DNER-PRO 101/93, aprovada pela DrDTc em 25/04/94.

## 1 OBJETIVO

Esta Norma tem por objetivo descrever o modo pelo qual se determina a resistência à compressão não confinada de amostras indeformadas de solos coesivos, na umidade natural.

Baseia-se na experiência de ensaios realizados na Divisão de Pesquisa e Desenvolvimento e em bibliografia sobre o assunto.

## 2 REFERÊNCIA

### 2.1 Referência bibliográfica

No preparo desta Norma foi consultado o seguinte documento:

DNER-IE 004/71, designada Compressão simples de amostras indeformadas de solos coesivos.

## 3 DEFINIÇÃO

Para os efeitos desta Norma são adotadas as definições de (3.1 a 3.3):

### 3.1 Resistência à compressão

Resistência à compressão de um solo coesivo é o valor da pressão correspondente à carga que rompe um corpo-de-prova cilíndrico de solo submetido à carregamento axial.

A resistência à compressão, quando não se atinge uma carga máxima de ruptura, é o valor da pressão correspondente à carga na qual ocorre deformação específica do corpo-de-prova de 20%.

### 3.2 Deformação específica

Deformação específica de um corpo-de-prova é a relação entre o decréscimo de altura que sofre o corpo-de-prova pela aplicação de carga e a sua altura inicial.

### 3.3 Área corrigida

Área corrigida de um corpo-de-prova é a área média que o corpo apresenta após a aplicação de uma carga e conseqüente deformação, supondo-se que não haja alteração de seu volume.

## 4 APARELHAGEM

A aparelhagem necessária é a seguinte:

- a) aparelho de compressão, simples;
- b) extrator de amostras indeformadas do tubo de parede fina;
- c) desbastador de amostras;
- d) gabarito para cortar o corpo-de-prova na altura requerida para o ensaio;
- e) paquímetro ou escala com precisão de milímetro;
- f) arco de serra provido de arame fino cortante;

- g) faca;
- h) espátula;
- i) cronômetro;
- j) cápsulas de porcelana ou de alumínio com capacidade de cerca de 75 ml ou vidros de relógio;
- l) cápsulas de porcelana ou de alumínio com capacidade de cerca de 1 000 ml;
- m) balança sensível a 0,01 g;
- n) balança sensível a 0,1 g;
- o) estufa capaz de manter a temperatura a 105 °C - 110 °C.

Nota: As Figuras 1 e 2 em anexo, representam parte da aparelhagem em uso na Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento.

## 5 AMOSTRA

5.1 A preparação do corpo-de-prova para o ensaio de compressão simples deve ser efetuada, sempre que possível, em câmara úmida.

5.2 O corpo-de-prova para o ensaio de compressão simples é obtido de amostras indeformada de solo contida em tubo metálico de parede fina (shelby) ou de bloco de amostras de solo.

Nota: Os blocos de amostras indeformadas de solo, após a retirada no campo, devem ser protegidos com parafina ou com outro produto selante, a fim de evitar perda de umidade. As extremidades dos tubos de parede finas também devem ser seladas.

5.3 A altura do corpo-de-prova para o ensaio de compressão simples deverá ser duas a três vezes maior que o diâmetro.

O diâmetro do corpo-de-prova para o ensaio de compressão simples é variável, utilizando-se, de modo geral, diâmetros compreendidos entre 3 cm e 7 cm.

Nota: Na Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento os corpos-de-prova para o ensaio de compressão simples têm, geralmente, diâmetro de 5 cm e altura de 10 cm.

5.4 Quando se utiliza, na preparação do corpo-de-prova, amostra de solo contida em tubo metálico de parede fina (shelby), retira-se do tubo, por meio do extrator, uma amostra de altura maior do que a do corpo-de-prova requerida para o ensaio e corta-se essa com a serra de arame fino, separando-se da amostra total. Coloca-se a amostra obtida no desbastador, reduzindo seu diâmetro com o auxílio da serra de arame fino, ao diâmetro do corpo-de-prova para ensaio.

Em seguida, coloca-se no gabarito de altura igual ao da requerida para ensaio e corta-se, paralelamente, suas extremidades.

Nota: A redução do diâmetro das amostras poderá, também, ser feita, para alguns tipos de solos, utilizando-se uma faca em lugar da serra de arame fino.

5.5 Pode-se, como alternativa do processo acima descrito, realizar o ensaio diretamente sobre a amostra extraída do tubo da parede fina (shelby), desde que esta apresente boas condições de indeformabilidade e diâmetro requerido para o ensaio, bastando cortar as extremidades da amostra para que fique na altura necessária.

5.6 Quando se utiliza bloco de amostras de solo na preparação do corpo-de-prova, corta-se do bloco amostra de dimensões maiores do que as do corpo-de-prova desejado. Coloca-se esta amostra no desbastador e procede-se à redução de seu diâmetro e ao corte de suas extremidades, conforme já descrito no item 5.4.

5.7 Medir o diâmetro e altura do corpo-de-prova, pelo menos com precisão de milímetro, e anotar os valores.

5.8 Pesar o corpo-de-prova com precisão de 0,1 g e anotar o valor.

5.9 Quando, após o ensaio, o corpo-de-prova é aproveitado para preparação de corpo-de-prova amolgado ou para ensaios de limite de liquidez, de plasticidade ou massa específica real de grãos de solo, retirar, das aparas de solo obtidas na moldagem, três amostras representativas, para a determinação da umidade. Colocar as amostras em vidros de relógio ou cápsulas de porcelana ou de alumínio, pesar com precisão de 0,01 g e por na estufa a 105 °C - 110 °C, até constância de peso.

Em caso contrário procederá como em 6.1.1.

## 6 ENSAIO

O ensaio de compressão simples pode ser executado de duas maneiras:

- a) controlar a velocidade de deformação do corpo-de-prova e medir a carga aplicada correspondente (deformação controlada).
- b) controlar a carga aplicada ao corpo-de-prova e medir a deformação correspondente (carga controlada).

Nota: Esquemáticamente, os aparelhos de compressão simples são constituídos de dois pratos entre os quais o corpo-de-prova é comprimido. Entretanto, podem apresentar características de construção diferentes, divergindo os modos pelos quais são medidas as cargas e as deformações.

Em alguns tipos de aparelhos, a deformação é medida por um defletômetro e a carga por um anel dinamométrico. Em outros, a carga é medida diretamente e a deformação, por um defletômetro. Estes últimos são, geralmente, utilizados para a execução de ensaio de carga controlada.

Outro tipo de aparelho é o idealizado pelo "Road Research Laboratory", em que a relação carga/deformação é anotada autograficamente.

### 6.1 Ensaio de deformação controlada

6.1.1 Colocar o corpo-de-prova sobre o prato inferior do aparelho de compressão simples, centrando-o devidamente. Ajustar o prato superior sobre o contato com a superfície do mesmo e zerar o defletômetro que mede as deformações do corpo-de-prova. Sendo a medida de cargas efetuada por anel dinamométrico associado a defletômetro, zerar também este defletômetro. Iniciar a compressão do corpo-de-prova controlando-se a velocidade de deformação de modo que esta esteja compreendida no intervalo de 0,5% a 2% de deformação depende do tipo do solo que está sendo ensaiado, devendo ser ajustada de tal forma que o tempo de ensaio não ultrapasse 10 minutos (ver Nota seguinte). Ler as deformações do corpo-de-prova de 30 segundos e anotar as leituras.

Simultaneamente, ler de 30 segundos em 30 segundos e anotar na folhas as deflexões do defletômetro do anel dinamométrico, leituras estas que correspondentes às cargas aplicadas ao corpo-de-prova. Caso seja necessário para melhor definição do gráfico pressão/deformação (ver item 8.1), no início do ensaio será feito maior número de leituras de deformação do corpo-de-prova e da carga correspondente. Prosseguir o ensaio até que seja ultrapassado o ponto máximo da curva pressão/deformação (ver item 8.1), isto é, até que esteja bem definida a ruptura do corpo-de-prova. No caso de não se atingir uma carga máxima de ruptura, continuar o ensaio até se atingir uma deformação específica do corpo-de-prova igual a 20%.

**Nota:** A velocidade de deformação do corpo-de-prova deve ser maior para solos moles, que apresentam grande deformação sob a aplicação de carga, e menor para solos duros e quebradiços, que apresentam deformação pequena sob a aplicação de carga.

6.1.2 Faz-se na folha de ensaio um croqui do corpo-de-prova rompido e mede-se o ângulo de ruptura, caso haja uma superfície de ruptura definida.

6.1.3 Quando o corpo-de-prova rompido não é aproveitado para execução de outros ensaios, colocar o mesmo em uma cápsula, pesar com precisão de 0,1 g e secar em estufa a 105 °C - 110 °C, até constância de peso a fim de determinar a umidade.

## 6.2 Ensaio de carga controlada

6.2.1 Colocar o corpo-de-prova sobre o prato inferior da máquina de compressão simples, centrando-o devidamente.

Ajustar o prato superior sobre o corpo-de-prova, até que estabeleça contato com a superfície do mesmo e zerar o defletômetro que mede as deformações do corpo-de-prova. Quando a carga é transmitida ao corpo-de-prova por meio de um anel dinamométrico, associado a um defletômetro (ver Nota no item 6.b). Estimar a carga de ruptura do corpo-de-prova (ver Nota seguinte) e aplicar ao mesmo uma carga inicial igual a 1/10 ou 1/15 da carga estimada. Se a medida de carga não for feita diretamente e sim por meio de um anel dinamométrico associado a um defletômetro, dar a este uma deflexão correspondente à carga que deve ser aplicada. Após 30 segundos da aplicação da carga inicial, ler, no defletômetro que mede as deformações do corpo-de-prova, a deformação correspondente à carga atuante e aplicar um acréscimo de carga igual à carga inicial. Após 30 segundos ler a deformação correspondente à carga aplicada e aplicar um acréscimo de carga igual ao anterior. Continuar a aplicação de iguais acréscimos de carga, de 30 em 30 segundos, e a leitura das deformações correspondentes ao corpo-de-prova, anotando-se os valores. Prossegue-se o ensaio até que seja ultrapassado o ponto máximo da curva pressão/deformação (ver item 8.1), isto é, até que esteja bem definida a ruptura do corpo-de-prova. No caso de não se atingir uma carga máxima de ruptura, continuar o ensaio até se atingir uma deformação específica do corpo-de-prova igual a 20%.

**Nota:** A estimativa da carga de ruptura pode ser feita com base em ensaios de compressão simples já realizados em solos semelhantes ou fazendo-se um ensaio experimental em amostra do solo igual à que será utilizada para o ensaio.

6.2.2 Faz-se na folha de ensaio um croqui do corpo-de-prova rompido e mede-se o ângulo de ruptura, caso haja uma superfície de ruptura definida.

6.2.3 Quando o corpo-de-prova rompido não é aproveitado para a execução de outros ensaios, colocar o mesmo em uma cápsula, pesar com precisão de 0,1 g e secar em estufa a 105 °C - 110 °C, até constância de peso, a fim de determinar a umidade.

## 7 CÁLCULOS

7.1 Determinar a umidade do corpo-de-prova conforme 5.10, 6.1.3 ou 6.2.3 pela fórmula:

$$h = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

onde:

h - teor de umidade, em percentagem;

P<sub>h</sub> - peso do solo úmido;

P<sub>s</sub> - peso do solo seco.

7.2 Calcular a deformação específica pela fórmula:

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{H_0}$$

onde:

$\epsilon$  - deformação específica;

$\Delta H$  - decréscimo de altura do corpo-de-prova;

$H_0$  - altura inicial do corpo-de-prova.

7.3 Calcular a área corrigida do corpo-de-prova pela fórmula:

$$A = \frac{A_0}{1-\epsilon}$$

onde:

A - área corrigida, em  $\text{cm}^2$ ;

$A_0$  - área inicial do corpo-de-prova, em  $\text{cm}^2$ ;

$\epsilon$  - deformação específica.

7.4 Calcular a pressão exercida sobre o corpo-de-prova, devida a uma carga axial, pela fórmula:

$$p = \frac{P}{A}$$

onde:

p - pressão, em  $\text{kN/m}^2$ ;

P - carga aplicada ao corpo-de-prova, em kN;

A - área corrigida do corpo-de-prova, em  $\text{m}^2$ .

Nota: Quando a aplicação da carga se faz por meio de um anel dinamométrico associado a um defletômetro, determinar a carga aplicada pelo gráfico ou Tabela de calibração do anel dinamométrico, em que as deflexões correspondentes às deformações do anel estão relacionadas com as cargas por de transmitidas (ver Tabela anexa).

## 8 RESULTADOS

8.1 Traça-se gráfico marcando-se no eixo das abscissas as deformações específicas (Anexo - Figura. 3) do corpo-de-prova, em porcentagem, e no eixo das ordenadas as pressões aplicadas ao mesmo. A ordenada máxima da curva obtida é a resistência à compressão do solo ensaiado:

$$R = p_{\max}$$

8.2 Quando há ruptura plástica do corpo-de-prova, a resistência à compressão é a ordenada correspondente à deformação específica de 20%:

$$R = p_{20\%}$$

8.3 A resistência ao cisalhamento ou coesão do solo ensaiado é a metade da resistência à compressão:

$$c = \frac{R}{2}$$

Nota: A Figura 4 em anexo, apresenta a folha de ensaio de compressão simples de deformação controlada correspondente ao gráfico da Figura. 3 .

---

/Anexo

## Anexo normativo

Tabela - Calibração do anel dinamométrico

Leitura do defletômetro (pol X 10 <sup>-4</sup> )	Carga (g)	Leitura do defletômetro (pol X 10 <sup>-4</sup> )	Carga (g)
1	150	35	5 150
2	300	36	5 300
3	450	37	5 450
4	600	38	5 600
5	750	39	5 750
6	900	40	5 900
7	1 050	41	6 050
8	1 200	42	6 200
9	1 350	43	6 350
10	1 500	44	6 500
11	1 650	45	6 650
12	1 800	46	6 800
13	1 900	47	6 900
14	2 050	48	7 050
15	2 200	49	7 200
16	2 350	50	7 350
17	2 500	51	7 500
18	2 650	52	7 650
19	2 800	53	7 800
20	2 950	54	7 950
21	3 100	55	8 100
22	3 250	56	8 250
23	3 400	57	8 400
24	3 550	58	8 550
25	3 700	59	8 700
26	3 850	60	8 850
27	4 000	61	9 000
28	4 150	62	9 150
29	4 300	63	9 300
30	4 450	64	9 400
31	4 600	65	9 550
32	4 700	66	9 700
33	4 850	67	9 850
34	5 000	68	10 000



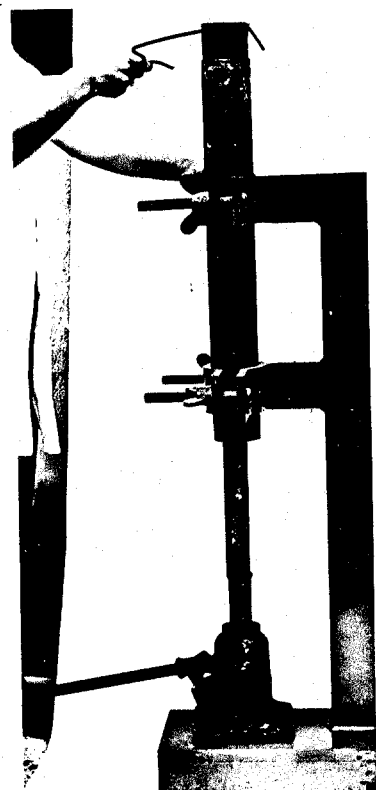


FIGURA 1 - EXTRATOR DE AMOSTRAS INDEFORMADAS DO TUBO DE PAREDE FINA (SHELBY), EM OPERAÇÃO

FIGURA 2 - A PARTIR DA ESQUERDA: GABARITO, PARA CORTAR O CORPO-DE-PROVA NA ALTURA REQUERIDA, DESBASTADOR DE AMOSTRAS E APARELHO DE COM PRESSÃO SIMPLES

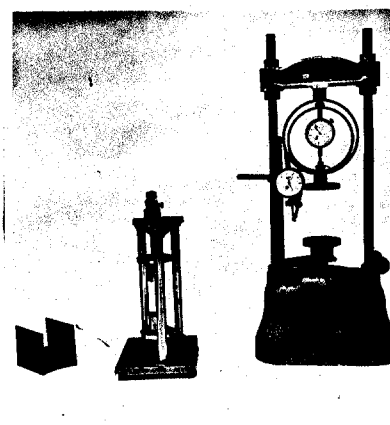


FIGURA 3

ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES  
DEFORMAÇÃO CONTROLADA

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO =  $R = p_{máx.} = 13,8 \text{ kPa}$

$$\text{COESÃO} = c = \frac{R}{2} = 6,9 \text{ kPa}$$

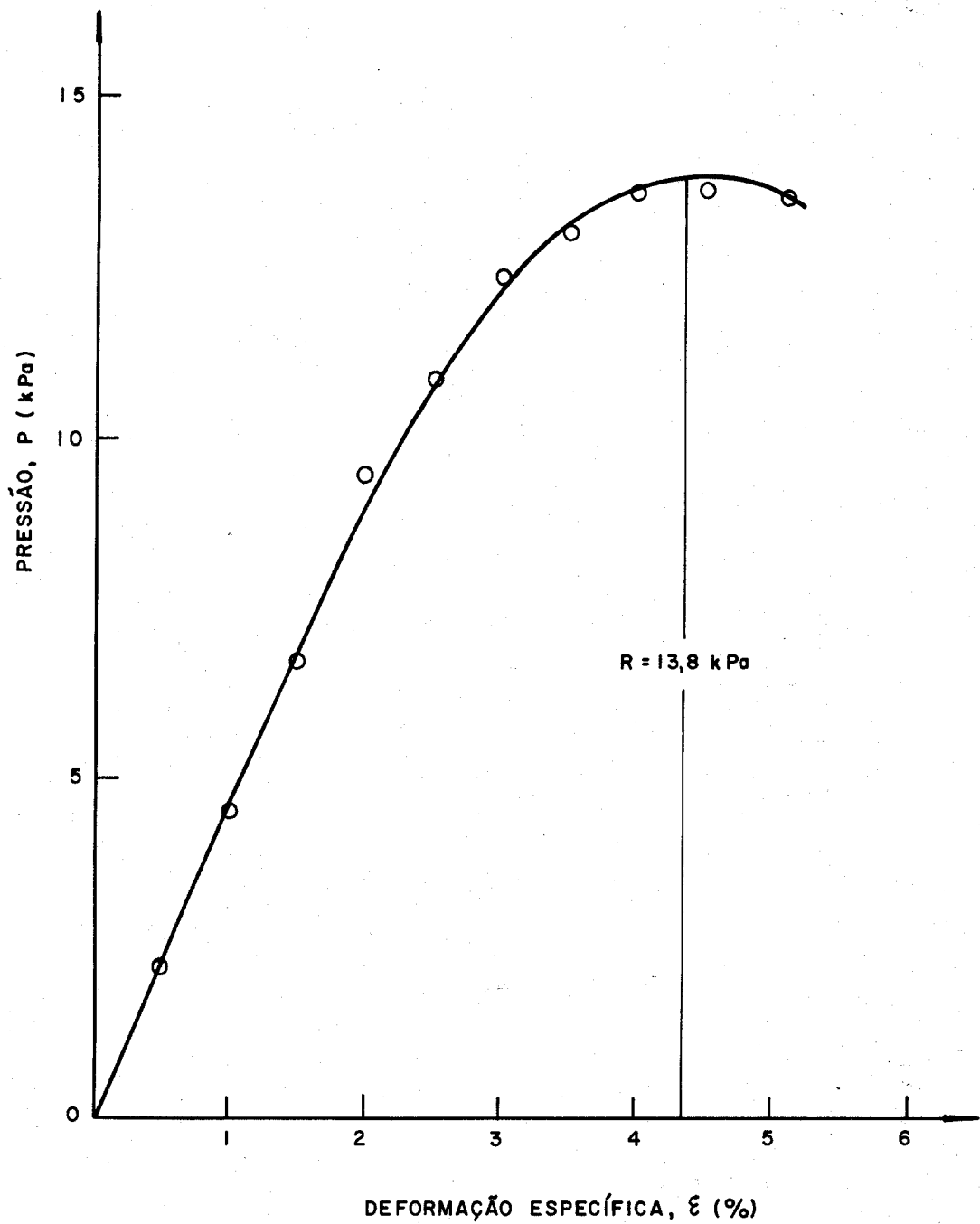


FIGURA 3

