



MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA
DEPARTAMENTO NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA-GERAL
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS EM
TRANSPORTES
Setor de Autarquias Norte
Quadra 03 Lota A
Ed. Núcleo dos Transportes
Brasília – DF – CEP 70040-902
Tel./fax: (61) 3315-4831

JULHO 2022

NORMA DNIT 437/2022 – ME

Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios de agregados em estado solto e compactado – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR

Processo: 50600.018171/2022-18

Origem: Revisão das normas DNER – ME 152/95 e DNER – ME 153/97

Aprovada pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 04/07/2022.

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:

Agregados, massa unitária, volume de vazios, agregados soltos, agregados compactados.

Nº total de páginas

8

Resumo

Este documento estabelece a sistemática a ser empregada na determinação da massa unitária e no cálculo do volume de vazios de agregados em estado solto e compactado. São apresentados também os requisitos concernentes à aparelhagem, amostragem, cálculos, e as condições para obtenção dos resultados.

Abstract

This document establishes the systematics to be used in the determination of unit weight and calculation of air-void content between particles of aggregates in loose and compacted condition. Requirements related to equipment, sampling, calculations, and the conditions for obtaining the results are also presented.

Sumário

Prefácio	1
1 Objetivo	1
2 Referências normativas	1
3 Definições	2
4 Aparelhagem	3
5 Formação da amostra	3
6 Procedimento	4

7 Cálculos	5
8 Resultados	6
Anexo A (Informativo) – Bibliografia	7
Índice Geral	8

Prefácio

A presente norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR/DPP, para servir como documento base, na determinação da massa unitária e no cálculo do volume de vazios de agregados finos, grãos ou misturas de agregados em estado solto e compactado. Está formatada de acordo com a norma DNIT 001/2009 – PRO. Esta norma cancela e substitui as normas DNER – ME 152/95 e DNER – ME 153/97.

1 Objetivo

Esta norma estabelece a sistemática a ser empregada na determinação da massa unitária e no cálculo do volume de vazios de agregados finos, grãos ou misturas de agregados em estado solto e compactado.

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 do referido documento (incluindo emendas):

- a) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – PRO 120/97: Coleta de amostras de agregados.
- b) _____. DNER – PRO 199/96: Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório.
- c) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 411 – ME: Pavimentação – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado miúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio.
- d) _____. DNIT 413 – ME: Pavimentação – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado graúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio.

3 Definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições:

3.1 Tamanho nominal máximo (TNM)

É o tamanho de abertura de malha da peneira imediatamente acima daquela que retém mais que 10 % das partículas da amostra do agregado (% acumulado).

3.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo corresponde à fração passante na peneira de 75 mm e retido na peneira de 4,75 mm.

3.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo corresponde à fração passante na peneira de 4,75 mm e retido na peneira de 0,075 mm.

3.4 Condição seca

Condição na qual os agregados foram secos em estufa a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, por tempo suficiente para atingir massa constante.

3.5 Estado solto

Estado no qual os agregados preenchem um recipiente de dimensões conhecidas, sem qualquer esforço de compactação, apenas por colocação padronizada dos grãos, em queda livre, sob ação da gravidade e isentos de esforço adicional de adensamento. Representa a situação de menor contato entre as partículas.

3.6 Estado compactado

Estado no qual os agregados preenchem um recipiente de dimensões conhecidas, com a aplicação de um esforço de compactação padronizado. Representa a situação de maior contato entre as partículas.

3.7 Massa específica

Massa por volume unitário de um material, expressa em g/cm^3 , ou outra unidade do SI.

3.8 Massa específica aparente (ME_{sb})

Relação entre a massa do agregado na condição seca e o seu volume aparente (volume do sólido incluindo o volume de poros permeáveis e impermeáveis), expressa em g/cm^3 .

3.9 Massa unitária

Terminologia tradicional usada para descrever as massas específicas determinadas por este método de ensaio, expressa em kg/m^3 .

3.10 Massa unitária solta (MU_s)

Razão entre a massa de agregados na condição seca em estado solto e o volume do recipiente preenchido por estes agregados, expressa em kg/m^3 .

3.11 Massa unitária compactada (MU_c)

Razão entre a massa de agregados na condição seca em estado compactado e o volume do recipiente preenchido por estes agregados, expressa em kg/m^3 .

3.12 Vazios

Espaços entre as partículas de agregados não ocupados por material mineral sólido.

NOTA 1: Os poros das partículas de agregado não estão incluídos nos vazios determinados por este método de ensaio.

3.13 Volume de vazios

Razão entre o volume dos vazios e o volume do recipiente preenchido com os agregados em estado solto ou compactado, expressa em %.

4 Aparelhagem

4.1 Balança

Balança com precisão de 0,05 kg. A capacidade máxima da balança deve ser maior que a soma da massa do recipiente vazio mais a massa de agregados necessária para preencher um volume igual a 1,25 vezes o volume do recipiente, calculada considerando agregados com uma massa unitária média de 1920 kg/m³.

4.2 Estufa

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

4.3 Haste de compactação

Uma barra de aço reta, de superfície lisa, 16 mm de diâmetro, e extremidades semiesféricas com o mesmo diâmetro. O comprimento da haste deve ser, pelo menos, 100 mm maior que a altura interna do recipiente utilizado, limitado, porém ao comprimento de 750 mm.

É facultada a colocação de punho em uma das extremidades da barra para facilitar o seu manuseio pelo operador.

4.4 Recipientes

Recipientes cilíndricos, com alças (preferencialmente), feitos de metal, impermeáveis e suficientemente rígidos para que não se deformem. As paredes internas dos recipientes devem ser lisas, sem defeitos, e o ângulo formado entre o fundo e qualquer geratriz do cilindro deve ser de 90° ± 0,5°.

As dimensões dos recipientes são determinadas em função do TNM, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões dos recipientes

TNM (mm)	Diâmetro interno (mm)	Altura interna (mm)	Volume nominal (L)
≤ 12,5	150	170	2,8
≤ 25,4	220	250	9,5
≤ 38,0	250	290	14,2
≤ 76,0	320	350	28,1
≤ 100	440	465	70,7
≤ 125	500	510	100,1

As espessuras dos recipientes são determinadas em função do volume, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Espessuras dos recipientes

Volume (L)	Fundo (mm)	Paredes (mm)
≤ 10	5,0	2,5
≤ 40	5,0	3,0
≤ 80	10,0	3,8
> 80	13,0	5,0

Os recipientes devem ter a borda reforçada externamente por um colar de 40 mm de altura, confeccionado com chapa, de 3,0 mm de espessura, do mesmo material do recipiente.

Todos os recipientes com capacidade de 28 L ou mais devem ser feitos de aço.

4.5 Pá ou concha

Pá ou concha metálica de tamanho apropriado para encher o recipiente com agregados.

4.6 Placa de vidro

Placa de vidro quadrada plana com espessura mínima de 6 mm e dimensões que sejam no mínimo 2,5 cm maiores que o diâmetro do recipiente.

4.7 Termômetro

Termômetro capaz de medir a temperatura da água entre 20 °C e 30 °C, com resolução de 0,1 °C.

5 Formação da amostra

A amostra de agregados deve ser coletada conforme a norma DNER – PRO 120/97 e reduzida para a quantidade necessária conforme a norma DNER – PRO 199/96.

O volume total da amostra deve ser, no mínimo, duas vezes o volume necessário para preencher o recipiente, considerando agregados com uma massa unitária média de 1920 kg/m³.

O ensaio deve ser executado com a amostra na condição seca e todo o manuseio deve ser feito sempre de forma a evitar a segregação dos agregados.

6 Procedimento

6.1 Determinar o volume do recipiente

- a) Determinar a massa do conjunto: recipiente vazio e placa de vidro, ambos secos e limpos, em temperatura ambiente, com precisão de 0,05 kg.
- b) Colocar uma fina camada de graxa na borda do recipiente para evitar extravasamento de água do recipiente.
- c) Encher o recipiente com água, ambos à temperatura ambiente, e cobrir com a placa de vidro de forma a eliminar as bolhas de ar e o excesso de água.
- d) Remover cuidadosamente a água extravasada.
- e) Determinar a massa do conjunto: recipiente, água e placa de vidro, com precisão de 0,05 kg.
- f) Medir a temperatura da água com a precisão de 0,1 °C e determinar sua densidade a partir da Tabela 3, interpolando, se necessário.

Tabela 3 – Densidade da água

Temperatura (°C)	Densidade (kg/m ³)
15,6	999,01
18,3	998,54
21,1	997,97
23,0	997,54
23,9	997,32
26,7	996,59
29,4	995,83

NOTA 2: O volume do recipiente deve ser determinado logo após a sua aquisição e posteriormente, pelo menos, uma vez por ano ou sempre que houver incerteza quanto à acurácia do volume do recipiente. Recomenda-se manter um registro da determinação do volume.

6.2 Determinar a massa unitária solta

- a) Escolher o recipiente a ser utilizado em função do TMN, conforme a subseção 4.4.
- b) Determinar a massa do recipiente vazio e seco, com precisão de 0,05 kg.
- c) Preencher o recipiente com os agregados até transbordar, utilizando uma pá ou concha. Os agregados devem ser lançados no centro do recipiente, de uma altura não superior a 5,0 cm acima do topo do recipiente.

NOTA 3: Cuidados devem ser tomados no sentido de se evitar a segregação (por tamanho) das partículas da qual a amostra é formada.

- d) Nivelar a superfície formada pelos agregados em relação ao plano da borda do recipiente:
 - Para agregados miúdos, o nivelamento deve ser feito com uma régua de faces paralelas.
 - Para agregados graúdos, o nivelamento deve ser feito com as mãos, de modo a compensar as saliências e reentrâncias das partículas dos agregados.
- e) Determinar a massa do conjunto: recipiente mais agregados, com precisão de 0,05 kg.

6.3 Determinar a massa unitária compactada

6.3.1 Agregado com TNM ≤ 38 mm

- a) Escolher o recipiente a ser utilizado em função do TNM, conforme a subseção 4.4.
- b) Determinar a massa do recipiente vazio e seco, com precisão de 0,05 kg.
- c) Compactar os agregados dentro do recipiente em três camadas iguais, cada uma com altura igual a um terço (1/3) da altura interna do recipiente.
- d) Preencher as duas primeiras camadas de agregados até a altura necessária e nivelar a superfície com as mãos ou uma régua.

- e) Preencher a terceira camada até transbordar e sobrar material acima do nível da borda do recipiente. O nivelamento deve ser feito após a compactação.
- f) Compactar cada camada de agregados com a haste de compactação, aplicando 25 golpes distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada.
- g) Na aplicação dos golpes, a ponta da haste de compactação deve penetrar até o fundo da camada que está sendo compactada, mas não deve penetrar na camada subjacente já compactada.
- h) Na compactação da primeira camada, a haste de compactação não deve atingir com força o fundo do recipiente.

NOTA 4: Caso não seja possível atingir o fundo da camada com os golpes, deve-se aplicar um esforço de compactação vigoroso.

- i) Determinar a massa do conjunto: recipiente mais agregados, com precisão de 0,05 kg.

6.3.2 Agregado com $38 \text{ mm} < \text{TNM} \leq 152 \text{ mm}$

- a) Escolher o recipiente a ser utilizado em função do TNM, conforme a subseção 4.4.
- b) Determinar a massa do recipiente vazio e seco, com precisão de 0,05 kg.
- c) Compactar os agregados dentro do recipiente em três camadas iguais, cada uma com altura igual a um terço (1/3) da altura interna do recipiente.
- d) Preencher as duas primeiras camadas de agregados até a altura necessária e nivelar a superfície com as mãos.
- e) Preencher a terceira camada até transbordar e sobrar material acima do nível da borda do recipiente. O nivelamento deve ser feito após a compactação.
- f) Compactar cada camada de agregados aplicando 50 golpes alternados em lados opostos do recipiente, de modo que cada lado receba 25 golpes.

- g) A aplicação dos golpes deve ser feita apoiando o recipiente sobre uma base plana firme, elevando um dos lados até que o ponto mais elevado do fundo atinja a altura aproximada de 50 mm e permitindo que o recipiente caia livremente e atinja a base com um golpe forte.
- h) Determinar a massa do conjunto: recipiente mais agregados, com precisão de 0,05 kg.

7 Cálculos

7.1 Volume do recipiente

O volume nominal do recipiente é calculado pela Equação 1:

$$V = \frac{C-R}{D} \quad (1)$$

Onde:

V é o volume nominal do recipiente, expresso em metros cúbicos (m^3);

C é a massa do conjunto recipiente mais água e placa de vidro, expressa em quilogramas (kg);

R é a massa do conjunto recipiente mais placa de vidro, expressa em quilogramas (kg);

D é a densidade da água para a temperatura medida no ensaio, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3).

7.2 Massa unitária solta (MU_S)

A massa unitária solta é calculada pela Equação 2:

$$MU_S = \frac{G_s - T}{V} \quad (2)$$

Onde:

MU_S é a massa unitária dos agregados em estado solto, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);

G_s é a massa do recipiente mais os agregados no estado solto, expressa em quilogramas (kg);

T é a massa do recipiente vazio, expressa em quilogramas (kg);

V é o volume nominal do recipiente, expresso em metros cúbicos (m³).

7.3 Massa unitária compactada (MU_c)

A massa unitária compactada é calculada pela Equação 3:

$$MU_c = \frac{G_c - T}{V} \quad (3)$$

Onde:

MU_c é a massa unitária dos agregados em estado compactado, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

G_c é a massa do recipiente mais os agregados no estado compactado, expressa em quilogramas (kg);

T é a massa do recipiente vazio, expressa em quilogramas (kg);

V é o volume nominal do recipiente, expresso em metro cúbico (m³).

7.4 Volume de vazios

Os volumes de vazios dos agregados soltos e compactados são calculados, respectivamente, pelas Equações 4 e 5:

$$V_{v_s} = 100 \times \left(1 - \frac{MU_s}{1000 \times ME_{sb}}\right) \quad (4)$$

$$V_{v_c} = 100 \times \left(1 - \frac{MU_c}{1000 \times ME_{sb}}\right) \quad (5)$$

Onde:

V_{v_s} é o volume de vazios dos agregados em estado solto, expresso em porcentagem (%);

V_{v_c} é o volume de vazios dos agregados em estado compactado, expresso em porcentagem (%);

MU_s é a massa unitária dos agregados em estado solto, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

MU_c é a massa unitária dos agregados em estado compactado, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

ME_{sb} é a massa específica aparente dos agregados, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³), determinada conforme a norma DNIT 411 – ME ou a norma DNIT 413 – ME.

8 Resultados

8.1 Relatório

As massas unitárias em estado solto e compactado devem ser reportadas em kg/m³, com aproximação de 10 kg/m³. Os volumes de vazios devem ser reportados em porcentagem, com aproximação de 1 %.

Os resultados reportados devem ser a média dos resultados individuais obtidos em, pelo menos, três determinações.

8.2 Precisão

8.2.1 Massa unitária

Resultados de dois ensaios conduzidos corretamente pelo mesmo operador, utilizando agregados graúdos ou miúdos semelhantes, não devem diferir em mais de 40 kg/m³.

Resultados de dois ensaios conduzidos corretamente em dois laboratórios diferentes, em agregados graúdos semelhantes, não devem diferir em mais de 85 kg/m³.

Resultados de dois ensaios conduzidos corretamente em dois laboratórios diferentes, utilizando agregados miúdos semelhantes, não devem diferir em mais de 125 kg/m³.

8.2.2 Volume de vazios

Como os volumes de vazios nos agregados são calculados a partir das massas unitárias e da massa específica aparente dos agregados, a precisão do volume de vazios reflete a precisão desses parâmetros.

Anexo A (Informativo) – Bibliografia

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO T 19M/T19. Standard Method of Test for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. 2014.
- b) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C29/C29M. Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate.
- c) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16972:2001. Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios.
- d) CUNHA, M. B. Avaliação do Método Bailey de Seleção Granulométrica de Agregados para Misturas Asfálticas. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- e) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 152/95 – Agregado em estado solto – determinação da massa unitária.
- f) _____. DNER-ME 153/97 – Agregados em estado compactado seco – determinação da massa específica aparente.
- g) MENDES, L. O. Utilização do Método Bailey para a Seleção de Agregados em Dosagem de Misturas Asfálticas. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, Juiz de Fora, 2011.
- h) VAVRIK, W. R.; HUBER, G. A.; PINE, W. J.; BAILEY, R.; CARPENTER, S. H. Bailey Method for Gradation Selection in Hot-Mix Asphalt Mixture Design. Transportation Research Board of the National Academies. Transportation Research Circular. Number E-C044. ISSN 0097-8515. Washington, D.C., October, 2002.

_____ /Índice Geral

Índice Geral

Abstract.....	1	Massa unitária compactada (MUc)	3.11,7.3....2, 6
Agregado com 38 mm < TNM ≤ 152 mm	6.3.2.....5	Massa unitária solta (MUs)	3.10,7.2....2, 5
Agregado com TNM ≤ 38 mm	6.3.1.....4	Massa unitária	3.9.....2
Agregado grúdo	3.2.....2	Objetivo	1.....1
Agregado miúdo.....	3.3.....2	Pá ou concha.....	4.5.....3
Anexo A (Informativo) – Bibliografia	7	Placa de vidro.....	4.6.....3
Aparelhagem.....	4.....3	Precisão.....	8.2.....6
Balança	4.1.....3	Prefácio	1
Cálculos	7.....5	Procedimento	6.....4
Condição seca	3.4.....2	Recipientes.....	4.4.....3
Definições	3.....2	Referências normativas	2.....2
Determinar a massa unitária compactada.....	6.3.....4	Relatório	8.1.....6
Determinar a massa unitária solta.....	6.2.....4	Resultados.....	8.....6
Determinar o volume do recipiente	6.1.....4	Resumo	1
Estado compactado	3.6.....2	Sumário	1
Estado solto	3.5.....2	Tabela 1 - Dimensões dos Recipientes.....	3
Estufa	4.2.....3	Tabela 2 - Espessuras dos Recipientes.....	3
Formação da amostra	5.....3	Tabela 3 - Densidade da água.....	4
Haste de compactação.....	4.3.....3	Tamanho nominal máximo (TNM)	3.1.....2
Índice geral.....	8	Termômetro	4.7.....3
Massa específica	3.7.....2	Vazios.....	3.12....2
Massa específica aparente (MEsb).....	3.8.....2	Volume de vazios	3.13,7.4,8.2.2...3, 6, 6
Massa unitária.....	8.2.1.....6	Volume do recipiente.....	7.1.....5