



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 Lote A  
Ed. Núcleo dos Transportes  
Brasília – DF – CEP 70040-902  
Tel/fax: (61) 3315-4831

MARÇO 2021

NORMA DNIT 411/2021 - ME

## Pavimentação – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado miúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio

**Autor:** Instituto de Pesquisas em Transportes - IPR

**Processo:** 50600.016770/2019-00

**Origem:** Revisão de norma DNIT 411/2019 - ME

**Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 08/03/2021.**

*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:

Agregado miúdo, massa específica, densidade relativa

### Nº total de páginas

10

### Resumo

Este documento apresenta o procedimento para determinação da massa específica de uma quantidade de partículas de agregado miúdo (não incluindo o volume de vazios entre as partículas), da densidade relativa e da absorção do agregado miúdo. Dependendo do procedimento utilizado, a massa específica, em g/cm<sup>3</sup>, é expressa como real ou aparente. A densidade relativa, grandeza adimensional, também é expressa como real ou aparente. A massa específica real e a densidade relativa real são determinadas após a secagem do agregado. A massa específica aparente, a densidade relativa aparente e a absorção são determinadas após a imersão dos agregados em água, por tempo preestabelecido.

### Abstract

This document presents the procedure for determining the density of fine aggregate particles amount (not including the voids volume between the particles), the gravity specific and the fine aggregate absorption. Depending on the procedure used, the density, in g/cm<sup>3</sup>, is expressed as apparent or bulk. The gravity specific is dimensionless, also expressed as apparent or bulk. The apparent density and gravity specific are determined after drying the aggregate. The bulk density, the gravity specific and the absorption are determined after immersion of aggregates in water, for a pre-established time.

### Sumário

Prefácio .....	1
1 Objetivo .....	2
2 Referências normativas .....	2
3 Definições .....	2
4 Aparelhagem .....	3
5 Formação da Amostra .....	3
6 Execução do Ensaio .....	4
7 Cálculos .....	4
8 Relatório .....	5
Anexo A (Informativo) – Fotos do ensaio .....	6
Anexo B (Informativo) – Precisão do ensaio .....	8
Anexo C (informativo) – Bibliografia .....	9
Índice geral .....	10

### Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer os procedimentos para a determinação da massa específica, da densidade relativa e da absorção do agregado miúdo. Esta publicação cancela e substitui a publicação anterior (Norma DNIT 411/2019 - ME), a qual foi tecnicamente revisada. Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009 - PRO.

## 1 Objetivo

Esta Norma estabelece os procedimentos para determinação da massa específica de uma quantidade de partículas de agregado miúdo (não incluindo o volume de vazios entre as partículas), da densidade relativa e da absorção do agregado miúdo. Este método de ensaio não deve ser usado para material pulverulento (amostra passante na peneira de abertura de 0,075 mm). Para esse tamanho de amostra usar o método de ensaio da norma DNER-ME 085/94.

## 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-EM 035/95: Peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos – Especificação de material.
- b) \_\_\_\_\_. DNER-PRO 120/97: Coleta de amostras de agregados – Procedimento.
- c) \_\_\_\_\_. DNER-PRO 199/96: Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório – Procedimento.

## 3 Definições

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

### 3.1 Agregado miúdo

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

### 3.2 Absorção

Aumento na massa de agregado devido à entrada de água nos poros das partículas, durante um período de tempo preestabelecido de imersão, sem incluir a água aderida à superfície externa das partículas, expresso como uma porcentagem da massa seca.

### 3.3 Condição seca

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

### 3.4 Condição saturado superfície seca

Condição na qual os poros permeáveis das partículas de agregado são preenchidos com água, quando estas são submersas em água por um período de tempo preestabelecido, sem a água na superfície das partículas.

### 3.5 Massa específica

Massa por volume unitário de um material, expressa em gramas por centímetros cúbicos, ou outra unidade do SI.

### 3.6 Massa específica real ( $ME_{sa}$ )

Razão entre a massa de agregado seco em estufa e seu volume real (volume do sólido não incluindo o volume dos poros permeáveis).

### 3.7 Massa específica aparente ( $ME_{sb}$ )

Razão entre a massa de agregado seco em estufa e seu volume aparente (volume do sólido incluindo o volume dos poros permeáveis e impermeáveis).

### 3.8 Poros permeáveis

Descontinuidades ligadas diretamente à superfície externa do agregado que, na condição saturado superfície seca, são passíveis de reter água.

### 3.9 Densidade relativa

Razão entre a massa específica de um material e a massa específica de água destilada a uma dada temperatura, sendo os valores adimensionais.

### 3.10 Densidade relativa real ( $G_{sa}$ )

Razão entre a massa específica real do agregado e a massa específica da água destilada a uma dada temperatura.

### 3.11 Densidade relativa aparente ( $G_{sb}$ )

Razão entre a massa específica aparente do agregado e a massa específica da água destilada a uma dada temperatura.

## 4 Aparelhagem

- a) Balança com capacidade de 1 kg ou mais, com sensibilidade de 0,1 g;
- b) Picnômetro frasco padronizado, com 500 mL de capacidade ( $100 \text{ mm}^3$ ), com aproximação de 0,1 mL, com tampa e capacidade para receber 500 g do agregado (ver Anexo A);
- c) Molde tronco cônico de metal, com as seguintes dimensões: diâmetro interno de  $(40 \pm 3)$  mm no topo, diâmetro interno de  $(90 \pm 3)$  mm no fundo e  $(75 \pm 3)$  mm de altura, espessura de parede mínima de 0,8 mm;
- d) Soquete de metal com massa de  $(340 \pm 15)$  g e tampa de fechamento de diâmetro de  $(25 \pm 3)$  mm;
- e) Estufa capaz de manter a temperatura uniforme, de  $(110 \pm 5)$  °C;
- f) Termômetro com precisão de 0,5 °C;
- g) Peneiras de abertura de 4,75 mm e 0,075 mm;
- h) Pincel de cerdas macias.

## 5 Formação da Amostra

- a) Fazer a amostragem dos agregados de acordo com a norma DNER-PRO 120/97. Misturar completamente a amostra de agregado e reduzi-la para obter uma amostra representativa do agregado miúdo (material retido entre as peneiras de 4,75 mm e 0,075 mm) de aproximadamente 1,0 kg, usando o procedimento prescrito na norma DNER-PRO 199/96;
- b) Secar a amostra de agregado miúdo em estufa até massa constante, à temperatura de  $(110 \pm 5)$  °C. Deixar esfriar até uma temperatura de manuseio confortável (aproximadamente 50 °C), adicionar água até cobrir a amostra e deixar imerso por  $(24 \pm 4)$  h;

NOTA 1: Os valores de absorção, massa específica e densidade relativa aparente podem ser

significativamente mais elevados, caso os agregados não sejam secos em estufa, antes da imersão, em relação aos mesmos agregados secos em estufa.

- c) Retirar o excesso de água com o cuidado de evitar a perda de finos, espalhar a amostra em uma superfície plana não absorvente exposta a uma corrente de ar morna e misturar constantemente, para assegurar uma secagem homogênea. Prosseguir a secagem até que os grãos de agregado miúdo não fiquem fortemente aderidos entre si;
- d) Teste do tronco de cone: colocar o agregado miúdo no molde (tronco de cone) sem comprimir e aplicar levemente 25 golpes do soquete a uma altura de 5 mm do topo da amostra. Nivelar o material com o topo do molde, remover o material solto da base com a ajuda de um pincel e levantar o molde verticalmente. Se ainda houver umidade superficial, o agregado conservará a forma do molde. Caso isto ocorra, continuar secando a amostra constantemente, e repetir o teste de tronco de cone, até que o cone de agregado miúdo desmorone parcial ou totalmente ao retirar o molde. Neste momento o agregado deve ter chegado à condição saturado superfície seca;
- e) O método descrito nas subseções 5(a) a 5(d) tem por finalidade assegurar que no primeiro ensaio o agregado tenha alguma umidade superficial. Se o cone desmoronar na primeira tentativa, o agregado miúdo deve ter sido seco além do seu ponto de saturado com superfície seca. Nesse caso, adicionar uma pequena quantidade de água à amostra, misturar intimamente e deixar em repouso em um recipiente tampado, durante 30 minutos, iniciando novamente o processo de secagem e teste descritos nas subseções 5(a) a 5(d);

NOTA 2: Adverte-se que alguns agregados miúdos com partículas predominantemente angulares, ou com alta proporção de finos, não apresentarão queda (*slump*) no ensaio do cone. Deve-se testar isso, deixando cair uma mão cheia do agregado miúdo seco, de uma altura de 100 mm a 150 mm, sobre uma superfície e observar se finos ficam no ar; a presença de finos no ar indica esse problema. Para esses materiais, considere a condição de superfície saturado seca como o ponto em que um lado

do tronco de agregado miúdo cai levemente ao se remover o molde.

## 6 Execução do Ensaio

- a) Preencher 1/4 do picnômetro com água;
- b) Pesquisar (500 ± 10) g de agregado miúdo na condição saturado superfície seca, preparada como descrito na seção 5 desta Norma. A massa de agregado nessa condição, medida na balança deve ser designada como *B1*;
- c) Introduzir essa massa no picnômetro e adicionar mais água até preencher completamente a amostra;
- d) Agitar o picnômetro, de forma manual ou mecânica, de maneira a eliminar as bolhas visíveis de ar. Cerca de 15 a 20 minutos são normalmente adequados para eliminar as bolhas por métodos manuais. Introduzir a ponta do papel toalha dentro do picnômetro pode ser útil para dispersar a espuma que possa se formar quando as bolhas de ar estejam sendo eliminadas. Opcionalmente, uma pequena porção de álcool isopropílico pode ser usada para dispersar a espuma;
- e) Após eliminar todas as bolhas de ar, ajustar a temperatura do picnômetro e seu material a (25 ± 2) °C, se necessário, e adicionar água até que o nível de água no picnômetro atinja sua marca de calibração. Determinar a massa total do picnômetro, amostra e água, esta massa deve ser designada de *C*;
- f) Remover o agregado miúdo do picnômetro, secá-lo em estufa até massa constante à temperatura de (110 ± 5) °C, esfriar ao ar à temperatura ambiente por ± 1 h e determinar a massa, que deve ser designada como *A*;
- g) Determinar a massa do picnômetro cheio de água, até sua capacidade de calibração a (25 ± 2) °C, designada como *B*.

## 7 Cálculos

### 7.1 Densidade relativa

- a) Calcular a densidade relativa real do agregado miúdo conforme Equação 1:

$$G_{sa} = \frac{A}{A+B-C} \quad (1)$$

Onde:

*G<sub>sa</sub>* – densidade relativa real do agregado;

*A* – massa da amostra de ensaio seca em estufa (g);

*B* – massa do picnômetro preenchido com água, até a marca de calibração (g);

*C* – massa do picnômetro com a amostra e preenchido com água até a marca de calibração (g).

- b) Calcular a densidade relativa aparente do agregado miúdo conforme Equação 2:

$$G_{sb} = \frac{A}{B1+B-C} \quad (2)$$

Onde:

*G<sub>sb</sub>* – densidade relativa aparente do agregado miúdo;

*A* – massa da amostra de ensaio seca em estufa (g);

*B* – massa do picnômetro preenchido com água até a marca de calibração (g);

*C* – massa do picnômetro com a amostra e preenchido com água até a marca de calibração (g);

*B1* – massa da amostra na condição saturado com superfície seca (g).

## 7.2 Massa específica

a) Calcular a da massa específica real dos agregados miúdos conforme Equação 3:

$$ME_{sa} = 0,9971 \frac{A}{A+B-C} \quad (3)$$

Onde:

$ME_{sa}$  – massa específica real dos agregados (g/cm<sup>3</sup>);

$A$  – massa da amostra de ensaio seca em estufa (g);

$B$  – massa do picnômetro preenchido com água, até a marca de calibração (g);

$C$  – massa do picnômetro preenchido com a amostra e a água até a marca de calibração (g).

NOTA 3: O valor da constante usada nos cálculos (0,9971 g/cm<sup>3</sup>) é a massa específica da água a 25 °C. Para outra temperatura, deve-se utilizar a massa específica da água correspondente a esta temperatura.

b) Calcular a massa específica aparente dos agregados conforme Equação 4:

$$ME_{sb} = 0,9971 \frac{A}{B1+B-C} \quad (4)$$

Onde:

$ME_{sb}$  – massa específica aparente (g/cm<sup>3</sup>);

$A$  – massa da amostra de ensaio seca em estufa (g);

$B$  – massa do picnômetro preenchido com água, até a marca de calibração (g);

$C$  – massa do picnômetro com a amostra e preenchido com água até a marca de calibração (g);

$B1$  – massa da amostra na condição saturado com superfície seca (g).

## 7.3 Cálculo da porcentagem de absorção

Calcular porcentagem de absorção conforme Equação 5:

$$Absorção (\%) = 100 \frac{B1-A}{A} \quad (5)$$

$A$  – massa da amostra de ensaio seca em estufa (g);

$B1$  – massa da amostra na condição saturado com superfície seca (g).

## 8 Relatório

a) Relatar os resultados de massa específica com precisão de 0,001 g/cm<sup>3</sup> e resultados de densidade relativa com precisão de 0,001;

b) Relatar o resultado de absorção com uma precisão de 0,1 %.

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

**Anexo A (Informativo) – Fotos do ensaio**



Figura A1 - Amostra de agregado seco em estufa com molde tronco cônico, soquete, pincel e espátula



Figura A2 - Amostra de agregado saturado por 24 h



Figura A3 - Compactação do agregado dentro do molde de tronco cônico



Figura A4 - Nivelamento do material com o topo do molde após a compactação



Figura A5 - Limpeza ao redor do molde



Figura A6 - Na posição para levantar o molde verticalmente



Figura A7 - Amostra de agregado com umidade superficial – amostra conservou a forma do molde



Figura A8 - Amostra de agregado sem umidade superficial – cone desmoronou parcialmente ao retirar o molde

(CONDIÇÃO DE UMIDADE DESEJADA)



Figura A9 - Massa da amostra saturado superfície seca a ser colocada dentro do picnômetro

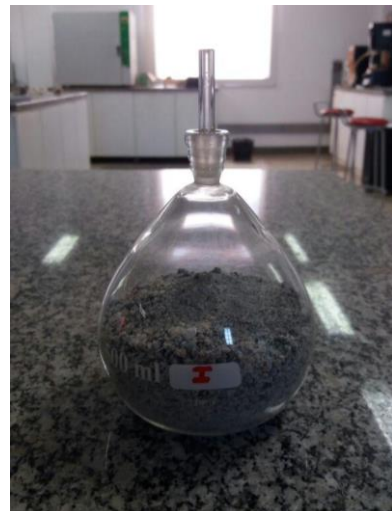


Figura A10 - Picnômetro + amostra



Figura A11 - Picnômetro + amostra + água



Figura A12 - Picnômetro + água

**Anexo B (Informativo) – Precisão do ensaio**

Por falta de dados atuais de programas interlaboratoriais brasileiros para este ensaio, sugere-se a utilização dos critérios de precisão indicados na norma AASTHO T 84/2009 apresentados na seguinte tabela:

**Tabela B1 – Precisão do ensaio**

Precisão		Desvio padrão (1s)	Faixa entre dois laboratórios (d2s)
Um operador	Densidade relativa real ( $G_{sa}$ )	0,011	0,032
	Densidade relativa aparente ( $G_{sb}$ )	0,0095	0,027
	Absorção (%)	0,110	0,310
Multilaboratórios	Densidade relativa real ( $G_{sa}$ )	0,023	0,066
	Densidade relativa aparente ( $G_{sb}$ )	0,020	0,056
	Absorção (%)	0,230	0,660

\_\_\_\_\_/Anexo C



**Anexo C (informativo) – Bibliografia**

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO T 84: Standard method of test for specific gravity and absorption of fine aggregates. Washington, DC, 2013.
- b) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 29/C 29M: Standard test method for bulk density (“unit weight”) and voids in aggregate. West Conshorhcken, 2017.
- c) \_\_\_\_\_. ASTM C 70: Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate. West Conshorhcken, 2013.
- d) \_\_\_\_\_. ASTM C 117: Standard test method for materials finer than 75- $\mu$ m (no. 200) sieve in mineral aggregates by washing. West Conshorhcken, 2017.
- e) \_\_\_\_\_. ASTM C 125: Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates. West Conshorhcken, 2018.
- f) \_\_\_\_\_. ASTM C 127: Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate. West Conshorhcken, 2015.
- g) \_\_\_\_\_. ASTM C 128: Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate. West Conshorhcken, 2015.
- h) \_\_\_\_\_. ASTM C 188: Standard test method for density of hydraulic cement. West Conshorhcken, 2017.
- i) \_\_\_\_\_. ASTM C 566: Standard Test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying. West Conshorhcken, 2013.
- j) \_\_\_\_\_. ASTM C 670: Standard practice for preparing precision and bias statements for test methods for construction materials. West Conshorhcken, 2015.
- k) \_\_\_\_\_. ASTM C 702/C 702M: Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size. West Conshorhcken, 2018.
- l) \_\_\_\_\_. ASTM D 75/D 75M: Standard practice for sampling aggregates. West Conshorhcken, 2014.
- m) \_\_\_\_\_. ASTM D 85: Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. West Conshorhcken, 2014.
- n) BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 3. reimpr. Rio de Janeiro: PETROBRAS; ABEDA, 2010
- o) GOUVEIA, L. T. Contribuições ao estudo de influência de propriedades de agregados no comportamento de misturas asfálticas densas. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

## Índice geral

Absorção.....3.2..... 2	Densidade relativa real ( $G_{sa}$ )..... 3.10.....2
Abstract..... 1	Execução do Ensaio..... 6.....4
Agregado miúdo.....3.1..... 2	Formação da Amostra..... 5.....3
Anexo A (Informativo)..... 6	Índice geral..... 10
Anexo B (Informativo) – Precisão do ensaio..... 8	Massa específica..... 3.5, 7.2.....2, 5
Anexo C (informativo) – Bibliografia..... 9	Massa específica aparente ( $ME_{sb}$ )..... 3.7.....2
Aparelhagem.....4..... 3	Massa específica real ( $ME_{sa}$ )..... 3.6.....2
Cálculo da porcentagem de absorção.....7.3..... 5	Objetivo..... 1.....2
Cálculos.....7..... 4	Poros permeáveis..... 3.8.....2
Condição saturado superfície seca.....3.4..... 2	Prefácio..... 1
Condição seca.....3.3..... 2	Referências normativas..... 2.....2
Definições.....3..... 2	Relatório..... 8.....5
Densidade relativa.....3.9, 7.1..... 2, 4	Resumo..... 1
Densidade relativa aparente ( $G_{sb}$ ).....3.11..... 3	Sumário..... 1