

Pavimentação - Misturas asfálticas – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado graúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR.

Processo: 50607.003404/2017-51.

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de 01/07/2019.

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 graúdo, massa específica, densidade.

Total de páginas

11

Resumo

Este método de ensaio descreve a determinação da massa específica média de uma quantidade de partículas de agregado graúdo (não incluindo o volume de vazios entre as partículas), da densidade relativa e da absorção do agregado graúdo. Dependendo do procedimento utilizado, a massa específica é expressa como seca ou real, saturada de superfície seca ou aparente. Também a densidade relativa, grandeza adimensional, é expressa como seca ou real, saturada de superfície seca 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 do agregado em água por tempo pré-estabelecido. Este método é usado para aplicação nos estudos de dosagem e produção de concreto asfáltico. Este método de ensaio não deve ser usado para agregados miúdos.

Abstract

This test method covers the determination of the average density of a quantity of coarse aggregate particles (not including the volume of voids between the particles), the specific gravity and the absorption of the coarse aggregate. Depending on the procedure used, the specific gravity is expressed as oven-dry (OD), saturated surface-dry (SSD). Likewise, relative density, a dimensionless quantity, is expressed as OD and SSD.

The (OD) specific gravity and (OD) relative density are determined after drying the aggregate. The SSD specific gravity, SSD relative density, and absorption are determined after soaking the aggregate in water for a prescribed duration. This test method is intended to be used in hot mix design and hot mix asphalt production. This test method is not intended to be used with fine aggregates.

Sumário

Prefácio.....	2
1 Objetivo.....	2
2 Referências normativas	2
3 Definições	2
4 Aparelhagem	3
5 Amostragem	3
6 Ensaio.....	4
7 Resultados.....	4
8 Relatório	5
Anexo A (Informativo).....	6
Anexo B (Informativo).....	7
Anexo C (Informativo).....	8
Anexo D (Informativo) - Bibliografia.....	10
Índice geral.....	11

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer os procedimentos para a determinação da massa específica, da densidade relativa e a absorção de agregado graúdo. Sua criação teve origem no desenvolvimento do objeto do Termo de Execução Descentralizada-TED nº 682/2014 firmado com a COPPE/UFRJ, para elaboração de método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimento asfáltico. Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009 – PRO.

1 Objetivo

Esta Norma descreve o procedimento para determinação da massa específica média de uma quantidade de partículas de agregado graúdo (não incluindo o volume de vazios entre as partículas), a densidade relativa e a absorção do agregado graúdo, para aplicação nos estudos de dosagem e produção de concreto asfáltico.

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) DNER – EM 035: Peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos - Especificação de material. Rio de Janeiro: IPR.
- b) DNER – PRO 120: Coleta de amostras de agregados - Procedimento. Rio de Janeiro: IPR.
- c) DNER – PRO 199: Redução de amostra de campo de agregado para ensaio de laboratório - Procedimento. Rio de Janeiro: IPR.

3 Definições

3.1 Agregado graúdo

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

3.2 Absorção

Aumento na massa de agregado devido à penetração de água nos poros das partículas durante um período de

tempo pré-estabelecido, sem incluir a água aderida à superfície externa das partículas, expresso como uma porcentagem da massa seca.

3.3 Condição seca (S)

Relacionada às partículas de agregado, é a condição na qual os agregados foram secos em uma estufa a 110 ± 5 °C por tempo suficiente até atingir massa constante.

3.4 Condição saturada de superfície seca (SSS)

Relacionada às partículas de agregados, é a condição na qual os poros permeáveis das partículas de agregado são preenchidos com água, quando estas são submergidas em água por um período de tempo pré-estabelecido, mas sem água na superfície das partículas.

3.5 Massa específica

Massa por volume unitário de um material, expressa em quilogramas por metro cúbico, ou unidade do SI.

3.6 Massa específica real ou condição seca

Massa de agregado seco em estufa por volume unitário de partículas de agregado, incluindo o volume de poros permeáveis e impermeáveis dentro das partículas, mas não incluindo os vazios entre as partículas.

Simplificadamente, é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluídos os vazios permeáveis.

3.7 Massa específica aparente ou condição saturada e superfície seca

Massa do agregado na condição saturada e superfície seca (externamente), por volume unitário das partículas de agregado, incluindo o volume de poros permeáveis e impermeáveis, poros preenchidos com água dentro das partículas, mas não incluindo os vazios entre as partículas.

3.8 Vazios permeáveis

Descontinuidades ligadas diretamente à superfície externa do agregado que, na condição saturada e 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 em uma dada

temperatura, nesta norma denominada densidade, sendo os valores adimensionais.

3.10 Densidade relativa real (condição seca) do grão do agregado (Gsa)

Razão entre a massa específica real do grão do agregado e a massa específica de água destilada em uma dada temperatura.

3.11 Densidade relativa aparente do agregado saturado com superfície seca (Gsb)

Razão entre a massa específica do agregado saturado com superfície seca e a massa específica de água destilada em uma dada temperatura.

4 Aparelhagem

a) Balança - para a determinação de massa, precisão de 0,05 % da massa da amostra dentro da faixa utilizada em qualquer etapa deste ensaio, ou 0,5 g, o que for maior. A balança deve estar equipada com um dispositivo capaz de suspender uma cesta com a amostra, dentro de um recipiente com água, colocado no meio da plataforma ou base da balança (pesagem hidrostática).

b) Recipiente para a amostra - cesta de arame de malha de 3,35 mm (# n° 6) ou menor, com capacidade de 4 a 7 litros para agregados de tamanho máximo nominal de 37,5 mm (1½") ou menores. Recipiente mais largo se necessário para o ensaio relativo aos agregados de tamanhos máximos maiores. Deve ser fabricado de forma a evitar a retenção de ar quando imerso na água.

Adverte-se de que o fio de sustentação da cesta tenha o menor diâmetro possível e que a variação do comprimento submerso, antes e depois da colocação da amostra, não ultrapasse 10 mm, sendo tal variação verificada por uma marca prévia feita no fio.

c) Tanque ou recipiente com água – impermeável e capaz de acomodar a cesta com a amostra totalmente submersa, enquanto suspensa na balança.

d) Peneiras - peneira de 4,75 mm (# n° 4) ou de outros tamanhos, se for necessário (ver seção 6), de acordo com a norma DNER – EM 035/95.

e) Estufa – deve ter dimensões suficientes para acolher a cesta e capacidade de manter temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.

5 Amostragem

a) Fazer a amostragem dos agregados de acordo com a DNER – PRO 120/97;

b) Misturar completamente a amostra de agregado e reduzir até a quantidade necessária, aproximadamente as quantidades indicadas na Tabela 1, usando a norma DNER – PRO 199/96. Rejeitar todo o material passante na peneira de 4,75 mm (# n° 4) por peneiramento a seco e lavagem total, para remover o material pulverulento ou outras camadas da superfície dos grãos;

c) Ensaiar o agregado graúdo separado em diversas frações é permitido. Se a amostra tiver mais do que 15 % de material retido na peneira de 37,5 mm (1½"), ensaiar o material maior do que 37,5 mm em uma ou mais frações separadas das frações menores. Quando um agregado for ensaiado em frações separadas, a massa mínima para cada fração da amostra deve ser conforme a Tabela 2;

Tabela 1 – Quantidade mínima de agregado para ensaio de massa específica dos grãos

Tamanho Máximo Nominal, mm (pol.)	Massa mínima para a Amostra de Ensaio, kg
12,5 (1/2") ou menor	2
19,0 (3/4")	3
25,0 (1")	4
37,5 (1½")	5
50 (2")	8
63 (2½")	12
75 (3")	18

Tabela 2 – Quantidade mínima de fração de agregados para ensaio de massa específica dos grãos.

Peneira (mm)		Massa mínima da fração, kg
Passante, %	Retida, %	
50	37,5	3
64	50	4
76	64	6

d) Se a amostra for ensaiada em duas ou mais frações, deve ser determinada a graduação da amostra, incluindo as peneiras usadas na separação das frações. No cálculo do percentual de material em cada fração

deve ser ignorada a quantidade de material mais fino do que a peneira de 4,75 mm (# n° 4).

Quando o agregado graúdo de tamanho máximo nominal elevado for ensaiado e exigir grande quantidade de partículas, o ensaio deve ser realizado em duas ou mais sub amostras, combinando os valores obtidos para os cálculos descritos na seção 7.

6 Ensaio

O ensaio deve ser realizado de acordo com o que segue:

- a) Secar a amostra do ensaio na estufa até massa constante à temperatura de 110 ± 5 °C. Deixar esfriar ao ar livre, à temperatura ambiente, durante 1 a 3 h para amostras de tamanho nominal máximo de 37,5 mm ($1\frac{1}{2}$ "), ou por mais tempo para tamanhos maiores, até que o agregado esteja em uma temperatura que seja confortável para manuseio (aproximadamente 50 °C). Em seguida, submergir o agregado na água à temperatura ambiente por um período de 24 ± 4 h;
- b) Remover a amostra da água e espalhar sobre um pano absorvente largo, rolando os grãos até que todos os filmes visíveis de água sejam removidos da superfície das partículas e em seguida enxugar as partículas maiores individualmente. Um jato de ar é permitido para ajudar na operação de secagem. Tomar cuidado para evitar a evaporação da água dos poros de agregados durante a operação de secagem da superfície;
- c) Determinar a massa da amostra na condição saturada de superfície seca e registrar o valor obtido como (B), com aproximação de 0,5 g ou 1 g, dependendo da massa ensaiada;
- d) Imediatamente após esta pesagem, colocar o material na cesta e submergir completamente em água potável, à temperatura de 25 ± 2 °C. Acoplar a haste do recipiente no prato da balança, colocada em nível acima do tanque de água e registrar a leitura como (C). A balança deve ter sido previamente zerada com a cesta vazia e submersa em água. Tomar cuidado para remover todo o ar retido antes de determinar sua massa, agitando a cesta enquanto imersa.

NOTA: A diferença entre a massa ao ar livre (B) e a massa quando a amostra está submersa na água (C) é igual a massa da água deslocada pela amostra.

A cesta deve ser imersa a uma profundidade suficiente para cobrir toda a cesta e a amostra durante a determinação da massa real. O arame ou cabo metálico utilizado para suspender a cesta deve ter o menor tamanho possível para minimizar efeitos de variáveis associadas a esse procedimento;

- e) Secar a amostra na estufa até massa constante à temperatura de 110 ± 5 °C, esfriar à temperatura ambiente de 1 a 3 horas e determinar a massa do agregado seco e registrar como (A).

7 Resultados

7.1 Densidade relativa

- a) Calcular a densidade relativa real dos grãos de agregado graúdo conforme Equação 1 a seguir:

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

Onde:

G_{sa} = densidade relativa real dos grãos de agregado;
 A = massa da amostra de ensaio, seca em estufa, no ar (g);
 B = massa da amostra de ensaio, na condição saturada e superfície seca, no ar (g);
 C = massa imersa da amostra de ensaio, saturada, em água (g).

- b) Calcular a densidade relativa aparente dos grãos de agregado saturado com superfície seca conforme Equação 2 seguinte:

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

Onde:

G_{sb} = densidade relativa aparente do agregado saturado com superfície seca;
 B = a massa da amostra de ensaio na condição saturada e superfície seca, ao ar (g);
 C = massa imersa da amostra de ensaio saturada, em água (g).

7.2 Massa específica

- a) Calcular a massa específica real do grão do agregado conforme Equação 3:

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

Onde:

ME_{sa} = massa específica real do grão do agregado (g/cm^3);

A = massa da amostra de ensaio, seca em estufa, no ar (g);

B = massa da amostra de ensaio, na condição saturada e superfície seca, no ar (g);

C = massa imersa da amostra de ensaio saturada, em água (g).

O valor constante usado nos cálculos desta subseção 7.2 ($0,9971 g/cm^3$) é a massa específica da água a $25^\circ C$. Se a água tiver em outra temperatura deve ser usado o valor da constante da massa específica da água correspondente a esta temperatura.

b) Calcular a massa específica aparente do agregado saturado com superfície seca conforme a Equação 4:

$$ME_{sb} = 0,9975 \frac{B}{B-C} \quad (4)$$

Onde:

ME_{sb} = massa específica aparente do agregado saturado com superfície seca (g/cm^3);

B = massa da amostra de ensaio, na condição saturada de superfície seca, no ar (g);

C = massa imersa da amostra de ensaio, saturada, em água (g).

7.3 Amostra ensaiada em frações

Quando a amostra for ensaiada em frações separadas, anotar os valores médios para massa específica ou densidade relativa da fração computada de acordo com as subseções 7.1 ou 7.2 usando a Equação 5:

$$G = \frac{1}{\left(\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \dots + \frac{P_n}{100G_n}\right)} \quad (5)$$

Onde:

G = massa específica ou densidade relativa média da amostra obtida de frações. Todas as formas de expressão da massa específica ou densidade relativa

podem ter suas médias calculadas dessa maneira;

G_1, G_2, \dots, G_n são valores específicos de massa específica ou densidade relativa média para cada uma das frações, dependendo do tipo de massa específica ou densidade relativa que terá sua média calculada;

P_1, P_2, \dots, P_n são percentuais de massa de cada fração presente na amostra original.

7.4 Porcentagem de absorção

Calcular a porcentagem de absorção com a Equação 6:

$$Absorção(\%) = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

A = massa da amostra de ensaio, seca em estufa, no ar (g);

B = massa da amostra de ensaio, na condição saturada de superfície seca, no ar (g);

7.5 Absorção para amostras fracionadas

Quando a amostra for ensaiada em frações separadas, o valor médio de absorção é a média dos valores computados na subseção 7.4, ponderados com os percentuais de massa de cada fração presente na amostra original conforme a Equação 7:

$$A = \frac{(P_1 A_1)}{100} + \frac{(P_2 A_2)}{100} + \dots + \frac{(P_n A_n)}{100} \quad (7)$$

Onde:

A = absorção média (%);

A_1, A_2, \dots, A_n = porcentagens de absorção para cada fração;

P_1, P_2, \dots, P_n = porcentagens de massa de cada fração presente na amostra original.

8 Relatório

Relatar os resultados de massa específica com precisão de $0,01 g/cm^3$, resultados de densidade relativa com precisão de $0,01$ e indicar o critério para a massa específica e para a densidade relativa, como sendo real (sa) ou aparente (sb).

Relatar o resultado de absorção com precisão de $0,1 \%$.

/Anexo A

DIFERENÇAS DE TERMINOLOGIA ENTRE BRASIL E EUA

DENSIDADE DE AGREGADOS

BRASIL		EUA	
MASSA ESPECIFICA	DENSIDADE RELATIVA	SPECIFIC GRAVITY	DENSITY
Grandeza com Dimensão	Grandeza Adimensional	Grandeza Adimensional	Grandeza com Dimensão
Relação entre massa (grama) e volume (cm ³)	Relação entre massa específica do material e a massa específica da água	Razão entre massas de agregados secos e saturados com massa de agregados submersos a 23 °C	Multiplica-se a specific gravity pela densidade da água a 23 °C
Massa específica e densidade relativa tem o mesmo valor numérico quando se emprega a densidade da água a 4 °C que é 1 g/cm ³ , a outras temperaturas os valores são diferentes		Specific gravity e density não tem o mesmo valor numérico pois se emprega a densidade absoluta da água numa temperatura diferente de 4 °C	
Densidade = massa específica		Relative Density = Specific Gravity	
Numericamente os valores de densidade relativa são os mesmos que os de <i>specific gravity</i> e <i>relative density</i> (EUA), mas diferentes de <i>density</i> (EUA). Os valores da massa específica (Brasil) são diferentes de <i>specific gravity</i> (EUA)			

BRASIL		EUA		
DENSIDADE RELATIVA		SPECIFIC GRAVITY		
Grandeza Adimensional		Grandeza Adimensional		
Real ou condição seca	Aparente ou condição superfície saturada seca	Condição seca	Bulk ou condição superfície saturada seca	Apparent (volume impermeável)
Gsa	Gsb	OD	SSD	
A/B-C	B/B-C	A/B-C	B/B-C	A/A-C

_____/Anexo B

As estimativas de precisão deste método de ensaio estão listadas na Tabela B1, realizadas nos EUA, baseadas nos resultados do programa interlaboratorial, denominado AASHTO Materials Reference Laboratory Proficiency Sample Program, com testes realizados pelos métodos ASTM C 127 e AASHTO T 85.

As estimativas de precisão para a densidade relativa foram calculadas a partir de valores determinados para massa específica, usando a massa específica da água a 23 °C para a conversão.

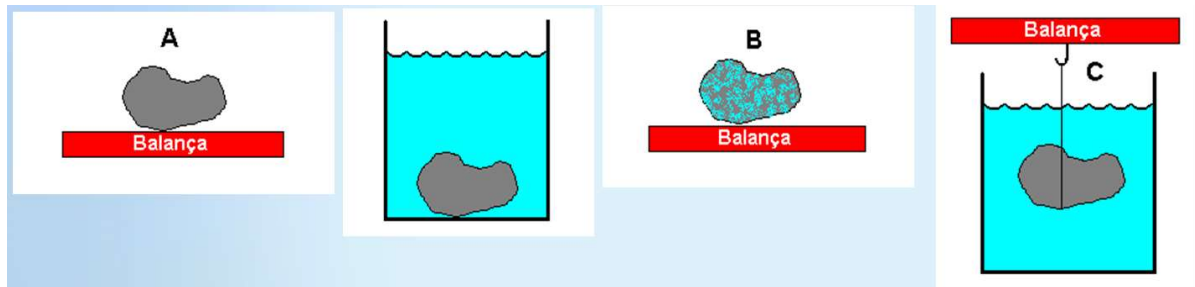
Tabela B1– Precisão esperada para este ensaio

	Desvio-padrão (1s)	Faixa Aceitável para Dois Resultados (d2s)
<i>Precisão para Único Operador:</i>		
Densidade relativa real do grão de agregado (G_{sa})	0,009	0,025
Densidade relativa aparente do agregado com superfície saturada seca (G_{sb})	0,007	0,020
<i>Precisão Multilaboratorial:</i>		
Densidade relativa real do grão de agregado (G_{sa})	0,013	0,038
Densidade relativa aparente do agregado com superfície saturada seca (G_{sb})	0,011	0,032

_____/Anexo C

Anexo C (Informativo)

Figura C1 – Esquema representativo das várias condições de pesagem deste ensaio (Bernucci et al, 2010)



A – Massa do agregado seco em estufa

B – Massa do agregado na condição Saturada Superfície Seca

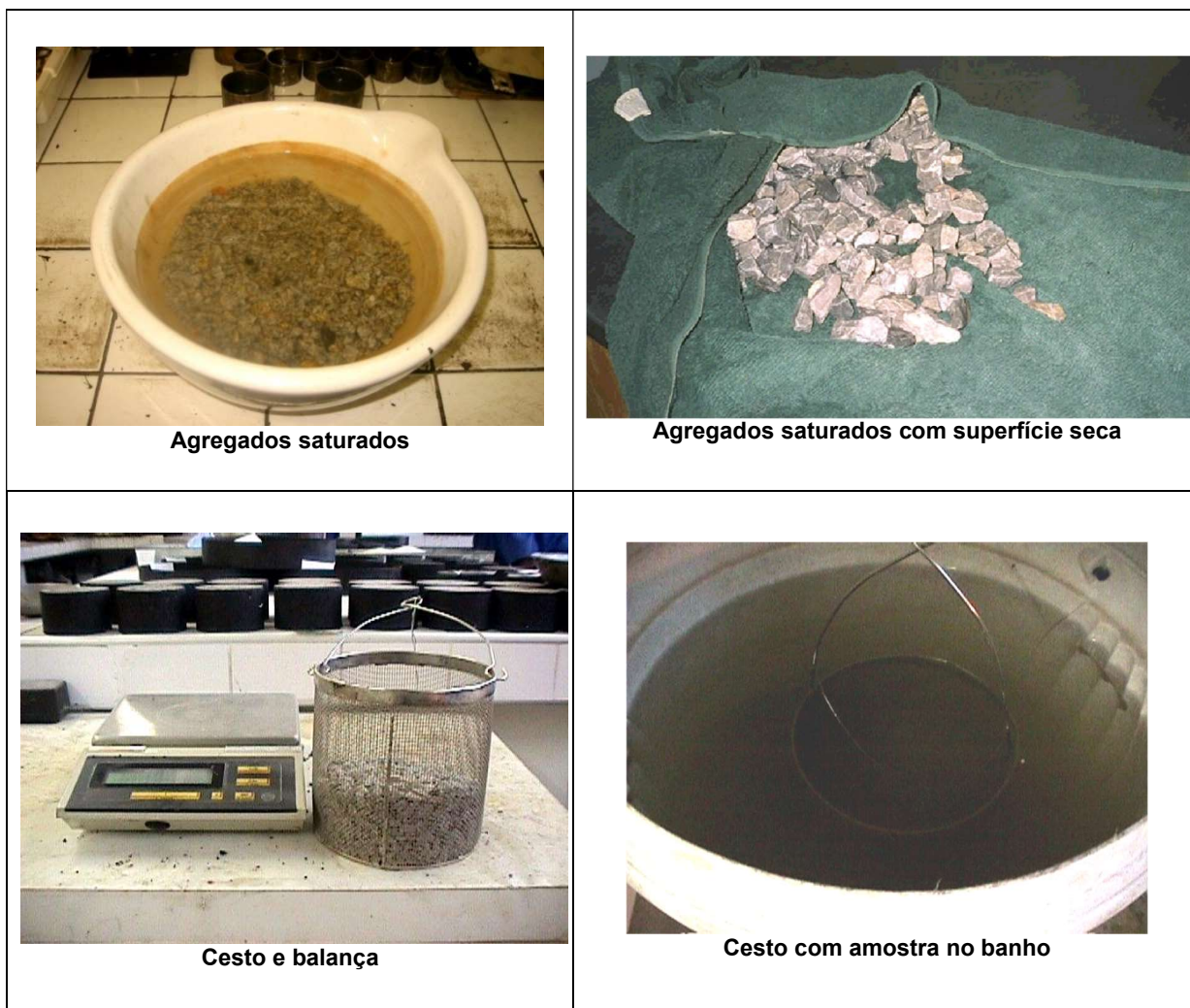
C – Massa do agregado imerso em água

<p>Partícula Sólida de Agregado</p> <p>Volume Real = volume da partícula sólida de agregado</p> <p>Volume real não incluído no volume dos poros superficiais</p>	$G_{sa} = \frac{A}{B - C}$
<p>Partícula Sólida de Agregado</p> <p>Vol. Apar. = volume do sólido + volume do poro permeável à água</p> <p>Nível "SSD"</p> <p>Volume de poro permeável à água</p>	$G_{sb} = \frac{B}{B - C}$

Figura C2 – Exemplo de conjunto de aparelhagem para este ensaio



Figura C3 – Alguns passos do ensaio de massa específica do agregado graúdo



Anexo D (Informativo) - Bibliografia

- a) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *C127*: Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate. West Conshohocken, 2015.
- b) _____. *C29/C29M*: Standard test method for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate. West Conshohocken, 2017.
- c) _____. *C125*: Standar test of terminology relating to concrete and concrete aggregates. West Conshohocken, 2018.
- d) _____. *C128*: Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate. West Conshohocken, 2015.
- e) _____. *C136/C136M*: Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. West Conshohocken, 2014.
- f) _____. *C566*: Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying. West Conshohocken, 2013.
- g) _____. *C670*: Standard practice for preparing precision and bias statements for test methods for construction materials. West Conshohocken, 2015.
- h) _____. *C702/C702M*: Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size. West Conshohocken, 2018.
- i) _____. *D75/D75M*: Standard practice for sampling aggregates. West Conshohocken, 2014.
- j) BERNUCCI, L. B. et al. *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. 3. reimpr. Rio de Janeiro: PETROBRAS; ABEDA, 2010.
- k) BRASIL. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *DNER-ME 195/97: agregados: determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo – Método de ensaio*. Rio de Janeiro: IPR, 1997.

_____ /Índice geral

Índice geral

Absorção.....3.2.....	2	Ensaio.....6.....	4
Absorção para amostras fracionadas.....7.5.....	5	Índice geral.....	11
Abstract.....	1	Massa específica.....7.2.....	4
Agregado graúdo.....3.1.....	2	Massa específica.....3.5.....	2
Amostra ensaiada em frações.....7.3.....	5	Massa específica aparente.....3.7.....	2
Amostragem.....5.....	3	Massa esp. real ou cond. seca.....3.6.....	2
Anexo A (Informativo).....	6	Objetivo.....1.....	2
Anexo B (Informativo).....	7	Porcentagem de absorção.....7.4.....	5
Anexo C (Informativo).....	8	Prefácio.....	2
Anexo D (Informativo).....	10	Referências normativas.....2.....	2
Aparelhagem.....4.....	3	Relatório.....8.....	5
Condição satur. de sup. seca (SSS).....3.4.....	2	Resultados.....7.....	4
Condição seca (S).....3.3.....	2	Resumo.....	1
Definições.....3.....	2	Sumário.....	1
Densidade relativa.....3.9, 7.1.....	2,4	Tabela 1 – Quantidade mín. de agregado.....	3
Densidade relativa aparente.....3.11.....	3	Tabela 2 – Quantidade mín. de fração de agregados.....	3
Densidade relativa real.....3.10.....	3	Vazios permeáveis.....3.8.....	2
