

# MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS

**C D T - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO**

Setembro de 2014



**DESIGNAÇÃO - ARTERIS T- 85-14**

## Método Padrão para Ensaio de

# Massa Específica e Absorção de Agregados Graúdos

Designação ARTERIS T 85 – 14



---

## 1. ESCOPO

1.1. Este método estabelece a determinação da massa específica e absorção do agregado graúdo. A massa específica pode ser expressa como Massa Específica Aparente (Bulk) Seca, Massa Específica Aparente (Saturada-Superfície Seca (SSD)) ou Massa Específica Real (Apparent). A Massa Específica Aparente (SSD) e a absorção estão baseadas em um agregado imerso 15 horas na água. Este método não deve ser usado com agregados leves.

1.2. Os valores padrões adotados estão referenciados em unidades do sistema universal.

1.3. Este método pode envolver materiais, operações e equipamentos prejudiciais à saúde. Este método não tem o propósito de atender todos os problemas de segurança associados ao seu uso. É responsabilidade de quem usá-lo estabelecer antecipadamente as práticas apropriadas de segurança e determinar a aplicabilidade dos regulamentos específicos.

---

## 2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

2.1. *Normas:*

- AASHTO M 43,- Size of Aggregate for Road and Bridge Construction
- AASHTO M 80, - Coarse Aggregate for Hydraulic Cement Concrete
- AASHTO M 92,- Wire-Cloth Sieves For Testing Purposes
- ARTERIS ET-231,- Balanças usadas nos ensaios
- ARTERIS T 2, – amostragem de Agregados
- T 19M / T 19, – Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregates
- ARTERIS T-27, – Análise granulométrica para agregados finos e graúdos
- ARTERIS T-84, – Massa específica e absorção de agregado fino
- ARTERIS T 248, – Redução de Amostras de Agregados para Testes
- AASHTO T 255, – Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying

## 2.2. Normas ASTM:

- C 670, - Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

## 2.3 IEEE/ASTM Standard:

- SI 10, American National Standard for Use of the International System of Units (SI): The Modern Metric System

---

## 3. TERMINOLOGIA

### 3.1. Definições:

3.1.1. *Absorção* – O aumento na massa de agregado devido à água nos poros do material, mas não incluindo água aderente à superfície externa das partículas, expressa como uma porcentagem da massa seca. O agregado é considerado seco quando for mantido a uma temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  por tempo suficiente para remover toda a água combinada até massa constante..

3.1.2. *Massa Específica* – A razão da massa (ou peso ao ar) de uma unidade de volume de material para a massa de mesmo volume de água a uma determinada temperatura. Os valores são adimensionais.

3.1.2.1. *Massa Específica Real (Apparent)* – A razão do peso ao ar de um volume unitário de uma porção impermeável de agregado a uma determinada temperatura para o peso ao ar de igual volume de água destilada livre de gás à uma determinada temperatura.

3.1.2.2. *Massa Específica aparente (Bulk)* – A razão do peso ao ar de um volume unitário de agregado (incluindo os vazios permeáveis e impermeáveis das partículas, mas não incluindo os vazios entre as partículas) a uma determinada temperatura para o peso ao ar do mesmo volume de água destilada livre de gases a uma determinada temperatura.

3.1.2.3. *Massa Específica aparente (Bulk) (SSD)* – A razão do peso ao ar de um volume unitário de agregado, incluindo a massa de água dentro dos vazios encontrados após a submersão em água por aproximadamente 15 horas (mas não incluindo os vazios entre as partículas) a uma determinada temperatura, para o peso ao ar do mesmo volume de água destilada livre de gases a uma determinada temperatura.

---

## 4. SUMÁRIO DO MÉTODO

4.1. Uma amostra de agregado é imersa em água por aproximadamente 15 horas para essencialmente encher os poros. A amostra é então removida da água, secada a superfície das partículas, e pesada. Subsequentemente a amostra é pesada quando submersa em água.

Finalmente a amostra é secada na estufa e pesada uma terceira vez. Usando as medidas de massa e peso então obtidas e as fórmulas do método, é possível calcular três tipos de massa específica e absorção.

---

## **5. SIGNIFICADO E USO**

5.1. Massa Específica Aparente (Bulk) é a característica geralmente usada para cálculo do volume ocupado pelo agregado em várias misturas contendo agregados incluindo concreto de cimento Portland, concreto asfáltico, e outras misturas que são ponderadas ou analisadas numa base de volume absoluto. Massa Específica Aparente (Bulk) é também usada no cálculo de vazios dos agregados no método AASHTO T19M/T19. Massa Específica Aparente (Bulk) (SSD) é usada se o agregado está molhado, isto é, se sua absorção está completa. Alternativamente, a Massa Específica Aparente (Bulk) determinada num sistema seco em estufa é usado para cálculo quando o agregado está ou estará seco quando utilizado.

5.2. Massa Específica Real (Apparent) é pertinente à densidade relativa de um material sólido considerando as partículas constituintes do mesmo não incluindo os espaços vazios dentro das partículas que são acessível à água.

5.3. Valores de absorção são usados para calcular a mudança na massa de um agregado devido à água absorvida nos espaços vazios dentro das partículas constituintes, comparadas com a condição seca, quando é considerado que o agregado tem estado em contato com a água tempo suficiente para atender sua absorção potencial. A absorção padrão de laboratório é aquela obtida após submergindo o agregado seco por aproximadamente 15 horas em água. A exploração de agregados abaixo do lençol d'água poderá ter absorção alta quando usados, se não for permitido secá-los. Alternativamente, alguns agregados quando usados podem conter uma quantidade de umidade absorvida menor do que aquela na condição imersa por 15 horas. Para um agregado que tenha tido contato com água e que apresenta sua superfície úmida, a porcentagem de umidade livre pode ser determinada pela dedução da absorção do teor de umidade total determinado pela AASHTO T 255.

5.4. Os procedimentos gerais descritos neste método são adequados para determinar a absorção de agregados que tenham tido outro tipo de condicionamento além do de imersão de 15 horas, tais como água fervente ou saturação a vácuo. Os valores de absorção obtidos por outros métodos serão diferentes dos valores obtidos pelas 15 horas de imersão prescritas, como a Massa Específica Aparente (SSD).

5.5. Os poros dos agregados leves poderão ou não se tornar essencialmente cheios de água depois da imersão por 15 horas. De fato, muitos agregados podem permanecer imersos em água

por diversos dias sem satisfazer a maioria da absorção potencial dos agregados. Entretanto este método não deve ser usado para agregados leves.

---

## **6. EQUIPAMENTO**

6.1. *Balança* – Atender aos requisitos da ARTERIS ET-231, classe G5. A balança deve ser equipada com um sistema adequado para suspender o recipiente com a amostra na água pelo centro da plataforma de pesagem ou tabuleiro da mesma.

6.2. *Recipiente da amostra* – Uma cesta de arame de 3,35 mm (nº. 6) ou malha mais fina, ou balde de aproximadamente igual largura e altura, com capacidade de 4 a 7 l para agregado com tamanho máximo nominal igual a 37,5mm (1 ½”) ou menor, e maiores se for necessário testar tamanhos nominais maiores. O recipiente deve ser construído de maneira a evitar que o ar fique retido quando o mesmo for submerso.

6.3. *Tanque de água* – Um tanque de água impermeável dentro do qual a amostra e o recipiente serão colocados para a completa imersão quando suspensos abaixo da balança, equipado com um ladrão que mantenha o nível de água constante.

6.4. *Equipamento de suspensão* – O fio para suspender o recipiente deve ser do menor diâmetro praticável para minimizar qualquer possível efeito da variação do comprimento imerso.

6.5. *Peneiras* – Uma peneira de 4,75mm (nº. 4) ou outro tamanho como necessário (Seção 7.2, 7.3 e 7.4), de acordo com a AASHTO M 92.

---

## **7. AMOSTRAGEM**

7.1. Amostre o agregado de acordo com T 2.

7.2. Misture totalmente a amostra de agregado e a reduza para aproximadamente a quantidade necessária usando os procedimentos aplicáveis da T 248. Rejeite todo o material passando na peneira 4,75mm (nº. 4) pelo peneiramento seco e através de lavagem remova o pó ou outras partículas aderidas na superfície. Se o agregado gráudo tiver uma quantidade substancial de material abaixo da peneira 4,75mm (nº. 4) (tais como a agregados de tamanhos nº. 8 e 9 da especificação M 43) use a peneira 2,36mm (nº. 8) no lugar da 4,75mm (nº. 4). Alternativamente, separe o material mais fino que a peneira 4,75mm (nº. 4) e o ensaie de acordo com a ARTERIS T-84.

7.3. A massa mínima de amostra a ser usada é dada abaixo. Em muitos casos pode ser desejável ensaiar o agregado gráudo em várias frações separadas; e se a amostra contém mais de 15 por cento retido na peneira de 37,5mm (1 ½”), ensaie este material em uma ou mais frações separadamente da passante nesta peneira. Quando o agregado é testado em frações separadas,

amassa mínima para ensaio para cada fração deve ser a diferença entre a massa prescrita para o tamanho máximo e mínimo da amostra.

Tamanho Máximo nominal, mm (pol)	Massa mínima da amostra, kg (lb)
12,5 (1/2) ou menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
112 (4 ½)	50 (110)
125 (5)	75 (165)
150 (6)	125 (276)

7.4. Se a amostra é ensaiada em 2 ou mais frações, determine a granulometria da amostra de acordo com a ARTERIS T-27, incluindo as peneiras usadas para separar as mesmas para a determinação com este método. Ao calcular a porcentagem de material em cada fração, ignore a quantidade de material abaixo da peneira 4,75 mm (nº. 4) ou 2,36mm (nº. 8) quando esta peneira for usada de acordo com a seção 7.2.

## 8. PROCEDIMENTO

8.1. Seque a amostra até a massa constante numa temperatura de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F), esfrie ao ar em temperatura ambiente por uma a três horas para amostras de 37,5mm (1 ½”) de tamanho nominal máximo, ou mais tempo para amostras maiores até que o agregado tenha esfriado o bastante para permitir seu manuseio (aproximadamente 50 °C). Em seguida coloque a amostra imersa em água à temperatura ambiente por um período de 15 a 19 horas.

**NOTA 1** – Quando testando agregado graúdo de grande tamanho nominal que requer amostras grandes, pode ser mais conveniente executar o ensaio em duas ou mais sub-amostras, e os valores obtidos combinados para os cálculos descritos na seção 9.

8.2. Quando a absorção e a massa específica forem usadas na dosagem de misturas de concreto de cimento Portland com agregados usados nas condições de umidade natural, o

requerido para a secagem inicial até a massa constante pode ser eliminado e, se a superfície das partículas forem mantidas umedecidas, as 15 horas de imersão poderão ser eliminadas.

**NOTA 2** – Valores de absorção e massa específica aparente (SSD) podem ser significativamente mais altos para agregados que não forem secados em estufa antes da imersão em água que o agregado tratado de acordo com a seção 8.1. Isto é especificamente verdadeiro para as partículas maiores que 75mm (3”) desde que a água pode não ser hábil o suficiente para penetrar nos poros centrais das partículas no período de imersão prescrito.

8.3. Remova a amostra da água e a role em uma grande toalha absorvente até que todos os filmes de água visíveis sejam removidos. Seque a partículas maiores individualmente. Uma corrente de ar pode ser usada para ajudar na operação de secagem. Tome cuidado para evitar a evaporação de água dos poros dos agregados durante a operação de secagem da superfície. Determine a massa de amostra na condição saturada superfície seca. Registre esta e todas as massas subsequentes com aproximação de 1,0 g ou 0,1 por cento da massa da amostra, o que for maior.

8.4. Após a determinação da massa, imediatamente coloque a amostra saturada-superfície seca no recipiente e determine sua massa imersa em água a  $23,0 \pm 1,7$  °C ( $73,4 \pm 3$  °F), tendo uma densidade de  $997 \pm 2$  kg/m<sup>3</sup>. Tome cuidado para remover todo o ar preso antes de determinar a massa agitando o recipiente enquanto imerso. Mantenha o nível de água sempre no limite de transbordamento para garantir um nível constante durante todo o ensaio.

**NOTA 3** – O recipiente deve ser imerso a uma profundidade suficiente para cobri-lo e a amostra durante a determinação da massa. O fio que suspende o recipiente deve ser o mais fino possível para evitar qualquer efeito com a variação de seu comprimento.

8.5. Seque a amostra até a massa constante a uma temperatura de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F), deixe esfriar na temperatura ambiente de 1 a 3 horas, ou até a uma temperatura em que se possa manusear o agregado (aproximadamente 50 °C), e determine a massa. Use este peso para A nos cálculos da seção 9.

---

## 9. CÁLCULOS

9.1. *Massa específica:*

9.1.1. *Massa Específica Aparente (Bulk)* – Calcule a massa específica aparente (Bulk), 23/23 °C (73,4/73,4 °F) como segue:

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

Onde:

$A$  = Massa da amostra secada na estufa, ao ar, g,

$B$  = Massa da amostra saturada-superfície seca ao ar, g, e,

$C$  = Massa da amostra saturada na água, g.

9.1.2. *Massa Específica Aparente (Saturada-Superfície Seca) (Bulk)* – Calcule a massa específica aparente, 23/23 °C (73,4/73,4 °F), com base na massa de agregado Saturado-Superfície Seca como segue:

$$MEA_{SSD} = \frac{B}{(B - C)} \quad (2)$$

9.1.3. *Massa Específica Real (Apparent)* - Calcule a massa específica real, 23/23 °C (73,4/73,4°F), como segue:

$$MER = \frac{A}{(A - C)} \quad (3)$$

9.2. *Média dos Valores de Massa Específica* – Quando a amostra é ensaiada em frações de tamanhos separadas, o valor da média para a Massa Específica Aparente (Bulk), Massa Específica Aparente (SSD), ou Massa Específica Real (Apparent) pode ser computada como uma média ponderada dos valores como calculado na seção 9.1 usando a seguinte equação:

$$MM = \frac{1}{\left( \frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \dots + \frac{P_n}{100G_n} \right)} \quad (4)$$

Onde:

$MM$  = Massa Específica Média (Todas as formas de massa específica podem ter suas médias calculadas desta maneira).

$G_1, G_2, \dots, G_n$  = Valores de massa específica apropriados para cada fração de tamanho dependendo do tipo de massa específica que está sendo calculada a média.

$P_1, P_2, P_n$  = Porcentagem de massa existente em cada fração da amostra original.

**NOTA 4** – Alguns usuários deste método podem desejar expressar os resultados em termos de densidade. A densidade pode ser determinada multiplicando a massa específica aparente (Bulk), massa específica aparente (SSD), ou massa específica real (Apparent) pela densidade da água (997,5 kg/m<sup>3</sup> ou 0,9975 mg/m<sup>3</sup> ou 62,27 lb/ft<sup>3</sup> a 23 °C). Algumas autoridades recomendam usar a densidade da água a 4 °C (1.000 kg/m<sup>3</sup> ou 1.000 Mg/m<sup>3</sup> ou 62,43 lb/ft<sup>3</sup>) como sendo suficientemente precisa. Resultados devem ser expressos com 3 algarismos significativos. A



terminologia de densidade correspondente à massa específica aparente (Bulk), massa específica aparente (SSD), ou massa específica real (Apparent) não foi padronizada.

9.3. *Absorção* - Calcule a porcentagem de absorção, como segue:

$$\% \text{ absorção} = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (5)$$

9.4. *Média dos valores de Absorção* - Quando a amostra é ensaiada em frações separadas por tamanhos, o valor médio de absorção é a média dos valores como calculada na seção 9.3, ponderada na proporção das porcentagens de massa de cada fração separada da amostra original, como segue:

$$A = \left( \frac{P_1 A_1}{100} \right) + \left( \frac{P_2 A_2}{100} \right) + \dots + \left( \frac{P_n A_n}{100} \right) \quad (6)$$

Onde:

$A$  = Absorção média, porcentagem,

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = Absorção, em porcentagem, para cada fração da amostra, e

$P_1, P_2, P_n$  = Porcentagem de massa existente em cada fração da amostra original.

---

## 10. RELATÓRIO

10.1. Relate os resultados da Massa específica com aproximação de 0,001 (Agregados Graúdos que atendem aos requisitos do M 80) e indique o tipo de massa específica, seja aparente (Bulk), aparente (SSD) ou real.

10.2. Relate a absorção com aproximação de 0,1 por cento.

10.3. Se os valores de massa específica e absorção foram determinados sem serem primeiro secados em estufa, como permitido na seção 8.2, deve ser informado no relatório.

---

## 11. PRECISÃO E VARIÁVEIS

11.1. As estimativas de precisão para este ensaio listada na tabela 1 são baseadas em resultados do programa de amostragem para Laboratórios de referência por competência da AASHTO, com ensaios executados por este método e ASTM C 127. A diferença significativa entre os dois métodos é que o ASTM 127 requer uma saturação de  $24 \pm 4$  horas, e o T 85 um período mínimo de 15 horas. Esta diferença mostrou efeito insignificante para a precisão do ensaio. Os dados são baseados em análises de 100 pares de resultados de 40 entre 100 laboratório.

<b>TABELA 1 – PRECISÃO</b>		
	Desvio Padrão (1S), % <sup>a</sup>	Intervalo aceitável de 2 resultados (D2S), % <sup>a</sup>
<b>Precisão um operador</b>		
Massa Específica Aparente seca (Bulk)	0,009	0,025
Massa Específica Aparente saturada, superfície seca (Bulk) (SSD)	0,007	0,02
Massa Específica Real (Apparent)	0,007	0,02
Porcentagem de absorção <sup>b</sup>	0,088	0,25
<b>Precisão Multilaboratório</b>		
Massa Específica Aparente seca (Bulk)	0,013	0,038
Massa Específica Aparente saturada, superfície seca (Bulk) (SSD)	0,011	0,032
Massa Específica Real (Apparent)	0,011	0,032
Porcentagem de absorção <sup>b</sup>	0,145	0,41
<sup>a</sup> Estes números representam, respectivamente, os limites (1S) e (D2S) descritos na ASTM C 670. A precisão estimada foi obtida de análises de dados combinados de amostras do laboratório de referência de materiais da AASHTO usando um mínimo de 15 horas de saturação e outros laboratórios com 24 ± 4 horas. Os ensaios foram executados em agregados de massa específica normal, e iniciados com agregados na condição seco em estufa.		
<sup>b</sup> A estimativa de precisão é baseada em agregados com absorções abaixo de 2 por cento.		

11.2. *Variação* - Desde que não haja material de referência adequado para a determinação da variação no procedimento deste método de ensaio, nenhum indicador de variáveis é feito.

## APÊNDICE

### INFORMAÇÃO NÃO MANDATÓRIA

#### **X1. DESENVOLVIMENTO DAS EQUAÇÕES**

X1.1. A equação é uma derivação aparente dos seguintes casos simplificados usando dois sólidos. O sólido 1 tem uma massa W1 em gramas e um volume V1 em mililitros; sua massa específica (G1) é então W1/V1. O sólido 2 tem uma massa W2 e volume V2 e G2 = W2/V2. Se os dois sólidos são considerados juntos, a massa específica da combinação é o total da massa em gramas dividido pelo volume total em mililitros:

$$G = \frac{(W1 + W2)}{(V1 + V2)} \quad (X1.1)$$

Manipulando esta equação chegamos ao seguinte:

$$G = \frac{1}{\frac{V1+V2}{W1+W2}} = \frac{1}{\frac{V1}{(W1+W2)} + \frac{V2}{(W1+W2)}} \quad (\text{X1.2})$$

$$G = \frac{1}{\frac{W1}{(W1+W2)} \left( \frac{V1}{W1} \right) + \frac{W2}{(W1+W2)} \left( \frac{V2}{W2} \right)} \quad (\text{X1.3})$$

Entretanto, as frações de massas de dois sólidos são:

$$\frac{W1}{(W1+W2)} = \frac{P1}{100} \quad (\text{X1.4})$$

e

$$\frac{W2}{(W1+W2)} = \frac{P2}{100} \quad (\text{X1.5})$$

e

$$\frac{1}{(G1)} = \frac{V1}{W1} \quad \text{e} \quad \frac{1}{(G2)} = \frac{V2}{W2} \quad (\text{X1.6})$$

Portanto,

$$G = \frac{1}{\left[ \left( \frac{P1}{100} \right) \frac{1}{(G1)} + \left( \frac{P2}{100} \right) \frac{1}{(G2)} \right]} \quad (\text{X1.7})$$

Um exemplo do cálculo é dado na tabela X1.1.

**TABELA X1.1** – Exemplo de cálculo da média de valores de massa específica e absorção de um agregado graúdo testado em frações separadas

Tamanho da fração mm (pol)	Porcentagem na amostra original	Massa específica saturada superfície seca (SSD) <sup>a</sup>	Massada amostra usada no ensaio, g	Porcentagem de absorção
4,75 a 12,5 (Nº4 a 1/2")	44	2,72	2213,0	0,4
12,5 a 37,5 (1/2" a 1 1/2")	35	2,56	5462,5	2,5
37,5 a 63 (1 1/2" a 2 /1/2")	21	2,54	12593,0	3,0

<sup>a</sup> Média da Massa específica saturada superfície seca (SSD)

$$G_{SSD} = \frac{1}{\left(\frac{0,44}{2,72}\right) + \left(\frac{0,35}{2,56}\right) + \left(\frac{0,21}{2,54}\right)} = 2,62 \quad (\text{X1.8})$$

Absorção média

$$A = (0,44)(0,4) + (0,35)(2,5) + (0,21)(3,0) = 1,7\% \quad (\text{X1.9})$$

## **X2. INTERRELAÇÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO COMO DEFINIDA NOS MÉTODOS T 85 E T 84**

X2.1. Sendo:

$S_d$  = Massa Específica Aparente (Bulk) (Base seca);

$S_s$  = Massa Específica Aparente (Bulk) (Base saturada-superfície seca);

$S_a$  = Massa Específica Real(Apparent); e

$A$  = Absorção em porcentagem.

X2.2 Então:

$$S_s = \left(1 + \frac{A}{100}\right) S_d \quad (\text{X2.1})$$

$$S_a = \frac{1}{\left(\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}\right)} = \frac{S_d}{\left(1 - \frac{AS_d}{100}\right)} \quad (\text{X2.2})$$

$$S_d = \frac{1}{\frac{1 + A/100}{S_s} - \frac{A}{100}} = \frac{S_s}{1 - \left[\frac{A}{100}(S_s - 1)\right]} \quad (\text{X2.3})$$

$$A = \left(\frac{S_s}{S_d} - 1\right) \times 100 \quad (\text{X2.4})$$

$$A = \left(\frac{S_a - S_s}{S_a(S_s - 1)}\right) \times 100 \quad (\text{X2.5})$$