



MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA  
DEPARTAMENTO NACIONAL DE  
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA GERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E  
PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS  
RODOVIÁRIAS  
Setor de Autarquias Norte  
Quadra 03 Lote A  
Ed. Núcleo dos Transportes  
Brasília – DF – CEP 70040-902  
Tel/fax: (61) 3315-4831

Agosto/2019

NORMA DNIT 415/2019 - ME

## Pavimentação – Mistura asfáltica – Teor de vazios de agregados miúdos não compactados – Método de ensaio

**Autor:** Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

**Processo:** 50607.003405/2017-03

**Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de 26/08/2019**

*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 miúdo, Angularidade, teor de vazios, FAA

### Total de páginas

12

### Resumo

Este método determina o teor de vazios de uma amostra de agregados miúdos na condição não compactada ou solta. Este teor de vazios é uma indicação indireta da angularidade, esfericidade e textura da superfície deste agregado comparado com outros agregados miúdos testados na mesma graduação. Este teor de vazios pode ser um indicador do efeito dos agregados miúdos na trabalhabilidade de uma mistura onde serão utilizados. Três procedimentos estão descritos para a determinação do teor de vazios. Um deles utiliza o agregado miúdo como disponível e os outros dois utilizam diversas frações de tamanhos individuais para a determinação do teor de vazios.

### Abstract

This method determines the void content of a sample of fine aggregates in the uncompacted or loose condition. This void content is an indirect indication of the angularity, sphericity and texture of the surface of this aggregate compared to other fines aggregates tested in the same gradation. This content of voids can be an indicator of the small aggregates effect on the workability of a mixture where they will be used. Three procedures are described for determining the void content. One uses the fine aggregate as available, and the other two use several fractions of individual sizes for determining the void content.

### Sumário

Prefácio .....	1
1 Objetivo.....	2
2 Referências normativas.....	2
3 Definições .....	2
4 Aparelhagem .....	2
5 Calibração da proveta.....	3
6 Amostra .....	3
7 Ensaio.....	4
8 Resultados.....	4
9 Relatório .....	5
10 Precisão.....	5
Anexo A (Normativo) - Figura.....	6
Anexo B (Normativo) - Figura.....	7
Anexo C (Informativo) – Fotos.....	8
Anexo D (Informativo) - Fotos e Planilha.....	10
Anexo E (Informativo) - Bibliografia.....	11
Índice geral.....	12

### 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 do teor de vazios de amostra de agregados miúdos na condição não compactada ou solta. Três métodos estão descritos nesta norma para a determinação do teor de vazios. 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 em conformidade com a Norma DNIT 001/2009-PRO.

## 1 Objetivo

Esta norma descreve os procedimentos para determinação do teor de vazios não compactado de uma amostra solta de agregados miúdos por três procedimentos de ensaio quanto à amostra selecionada.

## 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) DNIT 412/2019-ME: Pavimentação - Misturas asfálticas – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR.
- b) DNIT 411/2019-ME: Pavimentação - Misturas asfálticas – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado miúdo para misturas asfálticas – Método de Ensaio. Rio de Janeiro: IPR.

## 3 Definições

Para os fins desta norma aplicam-se as definições:

### 3.1 Agregado miúdo

Porção de agregados passante na peneira nº 4 (4,75 mm) e retido na peneira #200 (75 µm).

### 3.2 Agregado fino

Para este ensaio é a porção de agregado miúdo passante na peneira nº 8 (2,36 mm) e retida na peneira nº 100 (0,15 mm).

### 3.3 Massa específica real do agregado ( $\gamma_{sa}$ )

Massa por volume unitário de um material, expressa em gramas por centímetro cúbico, ou unidade do SI. Massa por volume unitário da porção impermeável das partículas de agregados. É a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis.

### 3.4 Densidade real ( $G_{sa}$ )

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

### 3.5 Massa específica aparente do agregado ( $\gamma_{sb}$ )

É a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, incluindo os poros permeáveis.

### 3.6 Densidade aparente dos grãos do agregado ( $G_{sb}$ )

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

### 3.7 Teor de vazios não compactado

Teor de vazios medidos em uma amostra de agregados sem compactação, apenas por colocação padronizada dos grãos em recipiente de dimensões conhecidas, por gravidade e queda livre, isenta de esforço adicional de acomodamento.

### 3.8 Angularidade de agregado fino (Fine Angularity Aggregate - FAA).

Termo utilizado nas normas americanas de referência para este ensaio. Admite-se que o resultado deste ensaio tem correlação com a angularidade dos agregados miúdos. A característica angulosa é desejável para garantir o atrito interno e o intertravamento entre as partículas, para gerar misturas asfálticas resistentes ao acúmulo de deformações permanentes. A premissa é que partículas mais angulares e com textura mais rugosa terão maior volume de vazios não compactados, medido no procedimento descrito nesta norma. Devido a esta correlação, o resultado deste ensaio também é denominado de angularidade do agregado miúdo.

## 4 Aparelhagem

- a) Proveta – cilindro ou tubo de acrílico de aproximadamente 100 ml de capacidade, com diâmetro

interno de aproximadamente 40 mm e altura interna de aproximadamente 90 mm. O fundo da proveta deve ser de material resistente, tais como: metal, polietileno de alta densidade, etc., com pelo menos 6 mm de espessura, aderido firmemente ao tubo e com alinhamento do eixo do cilindro com o do funil. Ver Figura A1 do Anexo A;

b) Funil – superfície lateral do tronco de um cone inclinado  $60 \pm 4^\circ$  do plano horizontal, com uma abertura de  $12,7 \pm 0,6$  mm de diâmetro na parte fina. A seção do funil deve ser de metal, liso por dentro e com pelo menos 38 mm de altura. Ele deve conter um volume de pelo menos 200 ml, ou ter um recipiente suplementar de vidro ou metal para prover o volume requerido. Ver Figura B1 do Anexo B;

c) Suporte do Funil – três ou quatro hastes, capazes de manter firmemente o eixo do funil alinhado com o eixo da proveta (dentro de um ângulo de  $4^\circ$  e um deslocamento de 2 mm). A abertura inferior do funil deve estar a  $115 \pm 2$  mm acima do topo do cilindro (proveta). Um esquema está na Figura B1 do Anexo B;

d) Placa de vidro – quadrada, de aproximadamente 60 por 60 mm, com espessura mínima de 4 mm usada para calibrar a proveta;

e) Bandeja – de metal ou de plástico, de tamanho suficiente para conter o funil e evitar a perda de material durante o preenchimento;

f) Espátula de Metal – lâmina de cerca de 100 mm de comprimento e pelo menos 20 mm de largura, com bordas retas. A extremidade deve ser cortada em um ângulo reto;

g) Balança - com precisão de  $\pm 0,1$  g, com capacidade de no mínimo 1 kg, para pesar o conjunto da proveta.

## 5 Calibração da proveta

a) Aplicar uma leve camada de vaselina na borda superior da proveta previamente seca e vazia. Pesar o conjunto da proveta, vaselina e placa de vidro. Preencher a proveta com água destilada e deionizada a uma temperatura entre 18 a  $24^\circ\text{C}$ . Registrar a temperatura da água. Colocar a placa de vidro sobre a proveta, garantindo que não haja bolhas de ar remanescentes. Secar as superfícies exteriores da proveta e determinar a massa combinada da proveta, placa de vidro, vaselina e água pela pesagem do

conjunto. Após a pesagem, retirar a vaselina e determinar a massa da proveta limpa, seca e vazia para cálculos posteriores.

b) Calcular o volume da proveta:

$$V = \frac{1000M}{D}$$

Onde:

V = volume da proveta, ml;

M = massa de água, g;

D = densidade da água,  $\text{g/cm}^3$  na temperatura utilizada.

Determinar o volume com a precisão de 0,1 ml.

## 6 Amostra

### 6.1 Amostra de agregados (Método A)

Este método utiliza uma granulometria padrão para os agregados finos, obtida pela combinação de frações individuais de peneiras de uma análise granulométrica parcial de agregados miúdos. Ver seção 6.4 - Preparação da Amostra, para esta granulometria.

### 6.2 Amostra com frações individuais (Método B)

Este método utiliza cada uma das três frações dos agregados miúdos separadas por: (a) 2,36 mm ( $n^\circ 8$ ) a 1,18 mm ( $n^\circ 16$ ); (b) 1,18 mm ( $n^\circ 16$ ) a 600  $\mu\text{m}$  ( $n^\circ 30$ ); e (c) 600  $\mu\text{m}$  ( $n^\circ 30$ ) a 300  $\mu\text{m}$  ( $n^\circ 50$ ). Neste método cada fração de granulometria é ensaiada separadamente.

### 6.3 Amostra de agregados miúdos (Método C)

Este método utiliza a porção completa de agregados miúdos passante na peneira de 4,75 mm ( $n^\circ 4$ ) e retida na peneira de 0,075 mm ( $n^\circ 200$ ).

### 6.4 Preparação da amostra

Para os Métodos A e B deve-se lavar a amostra dentro de uma peneira de 150  $\mu\text{m}$  ( $n^\circ 100$ ) ou 75  $\mu\text{m}$  ( $n^\circ 200$ ), secar a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  e peneirar em frações intermediárias. Manter as frações necessárias obtidas de uma ou mais análises granulométricas em local seco e em recipientes separados para cada tamanho.

Para o Método C, secar a  $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  uma parcela da amostra de agregado miúdo, como recebida.

#### 6.4.1 Método A – Amostra de agregados finos

Pesar separadamente e combinar as seguintes quantidades de frações de agregados miúdos previamente secos e peneirados, nos tamanhos indicados na Tabela 1 a seguir:

**Tabela 1 – Composição da amostra para o Método A**

Tamanho da Fração Individual	Massa, g
2,36 mm (nº 8) a 1,18 mm (nº 16)	44
1,18 mm (nº 16) a 600 µm (nº 30)	57
600 µm (nº 30) a 300 µm (nº 50)	72
300 µm (nº 50) a 150 µm (nº 100)	17
Total	190

A tolerância para cada uma das quantidades da Tabela 1 é de  $\pm 0,2$  g.

#### 6.4.2 Método B – Amostra com frações Individuais

Preparar uma amostra de agregados miúdos de 190 g, previamente secos e peneirados, para cada uma das três frações da Tabela 2.

**Tabela 2: Composição da amostra para o Método B**

Tamanho da Fração Individual	Massa, g
2,36 mm (nº 8) a 1,18 mm (nº 16)	190
1,18 mm (nº 16) a 600 µm (nº 30)	190
600 µm (nº 30) a 300 µm (nº 50)	190

A tolerância para cada uma das quantidades é de  $\pm 1$  g. Essas amostras não devem ser misturadas; cada fração deve ser analisada separadamente.

#### 6.4.3 Método C – Graduação conforme recebida

Passar a amostra previamente seca a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  pela peneira de 4,75 mm (nº 4). Obter uma amostra de  $190 \pm 1$  g do material passante pela peneira de 4,75 mm (nº 4) e retido na peneira de 0,075 mm (nº 200) para o ensaio.

### 6.5 Densidade aparente ( $G_{sb}$ ) de agregados miúdos da amostra

Se a densidade aparente dos agregados miúdos é desconhecida, determiná-la na porção do material passante na peneira de 4,75 mm (nº 4) pelo método DNIT 411/2019-ME. Utilizar este valor nos cálculos subsequentes, a menos que algumas frações difiram em mais de 0,05 da densidade típica da amostra completa; neste caso é necessária a determinação da densidade das frações a serem ensaiadas: frações individuais 2,36 mm (nº 8) a 150 µm (nº 100) para utilização com o

Método A ou as frações de tamanhos individuais para uso com o Método B. Uma diferença de 0,05 na densidade causa uma alteração de aproximadamente 1 % no teor de vazios calculado.

## 7 Ensaio

a) Misturar cada amostra a ser testada com a espátula até que esteja homogênea. Posicionar o funil no local e centralizar a proveta como mostrado na Figura B1 do Anexo B. Utilizar um dedo para bloquear a saída do funil. Adicionar a amostra a ser testada no funil e nivelar o material com a espátula. Retirar o dedo e permitir que a amostra caia livremente dentro da proveta. Após o esvaziamento do funil, retirar o excesso de agregados miúdos empilhados sobre a proveta com passagem da espátula, mantendo a parte reta da sua borda na horizontal e em leve contato de ambos os lados na parte superior da proveta. Evitar vibrações ou quaisquer perturbações que possam causar a compactação dos agregados miúdos na proveta. Com o auxílio de um pincel deve-se remover os grãos aderidos fora do recipiente e determinar a massa da proveta e seu conteúdo, com a precisão de 0,1 g. Reservar todas as partículas de agregados miúdos para uma segunda análise em duplicata.

Após retirar o excesso de agregados miúdos da proveta, estes podem ser ligeiramente comprimidos para dentro da proveta de forma a fazer a transferência do recipiente até a balança sem derramar a amostra;

b) Recombinar a amostra que ficou na bandeja e a da proveta e repetir o procedimento. Fazer a média dos resultados das duas análises;

c) Anotar a massa da proveta vazia e, para cada análise, anotar a massa da proveta com os agregados miúdos.

## 8 Resultados

a) Calcular os vazios dos agregados não compactados, para cada determinação, conforme a Equação 1 a seguir:

$$U = \frac{V - \left(\frac{F}{G}\right)}{V} \times 100 \quad (1)$$

onde:

U = teor de vazios dos agregados não compactados, %;

V = volume da proveta, ml;

F = massa dos agregados, g (massa bruta menos a massa da proveta vazia);

G = densidade aparente ( $G_{sb}$ ) dos agregados;

b) Para a amostra de agregados pelo Método A deve ser calculada a média do teor de vazios dos agregados miúdos não compactados para as duas determinações e reportar os resultados como  $U_s$ ;

c) Para a Amostra com frações individuais (Método B), calcular como a seguir:

c.1) Calcular a média do teor de vazios dos agregados miúdos não compactados para as determinações feitas em cada uma das três frações de amostras:

$U_1$  = vazios não compactados dos agregados entre 2,36 mm (nº 8) a 1,18 mm (nº 16), %;

$U_2$  = vazios não compactados, dos agregados entre 1,18 mm (nº 16) a 600  $\mu$ m (nº 30), %; e

$U_3$  = vazios não compactados, dos agregados entre 600  $\mu$ m (nº 30) a 300  $\mu$ m (nº 50), %;

c.2) Determinar a média do teor de vazios dos agregados não compactados ( $U_m$ ), incluindo os resultados das três frações:

$$U_m = (U_1 + U_2 + U_3) / 3;$$

c.3) Para a Graduação conforme recebida (Método C) deve ser calculada a média do teor de vazios dos agregados miúdos não compactados para as duas determinações e reportar o resultado como  $U_R$ .

## 9 Relatório

a) Reportar as seguintes informações para a amostra de agregados miúdos (Método A):

- Vazios não compactados ( $U_s$ ), % com precisão de 0,1 %; e
- Valor de densidade aparente ( $G_{sb}$ ) utilizada nos cálculos.

b) Reportar o seguinte percentual de vazios com precisão de 0,1 %, amostra com frações individuais (Método B):

- Vazios não compactados para as frações:
  - (a) 2,36 mm (nº 8) a 1,18 mm (nº 16) ( $U_1$ );
  - (b) 1,18 mm (nº 16) a 600  $\mu$ m (nº 30) ( $U_2$ ); e
  - (c) 600  $\mu$ m (nº 30) a 300  $\mu$ m (nº 50) ( $U_3$ ),
- Média dos vazios não compactados ( $U_m$ ),
- Valor de densidade aparente ( $G_{sb}$ ) utilizada nos cálculos, reportando se foi determinada em uma amostra ou em frações individuais.

c) Reportar as seguintes informações para a amostra de graduação conforme recebida (Método C):

- Vazios não compactados ( $U_R$ ), % com precisão de 0,1 %;
- Valor de densidade aparente ( $G_{sb}$ ) utilizado nos cálculos.

## 10 Precisão

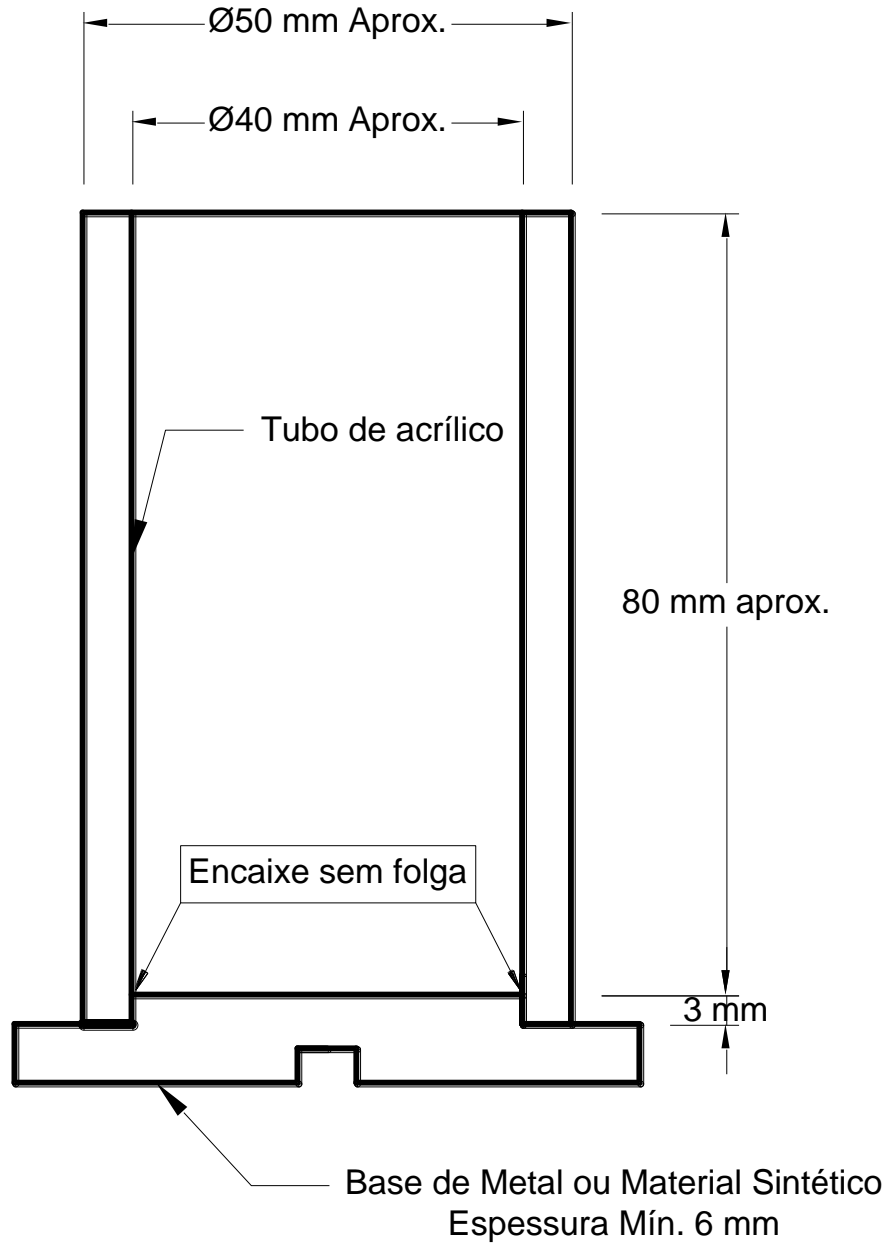
A precisão para aceitabilidade dos resultados obtidos por este método de ensaio não foi ainda definida para o Brasil. Na Tabela 3 estão apresentados valores estabelecidos nos EUA, a partir de dados de plano Interlaboratorial da AASHTO, empregando o Método C.

**Tabela 3 – Precisão sugerida para este ensaio**

Índice	Desvio padrão	Faixa entre laboratórios
Tolerância (mesmo operador)	0,33 %	0,94 %
Tolerância (dois operadores)	1,1 %	3,1 %

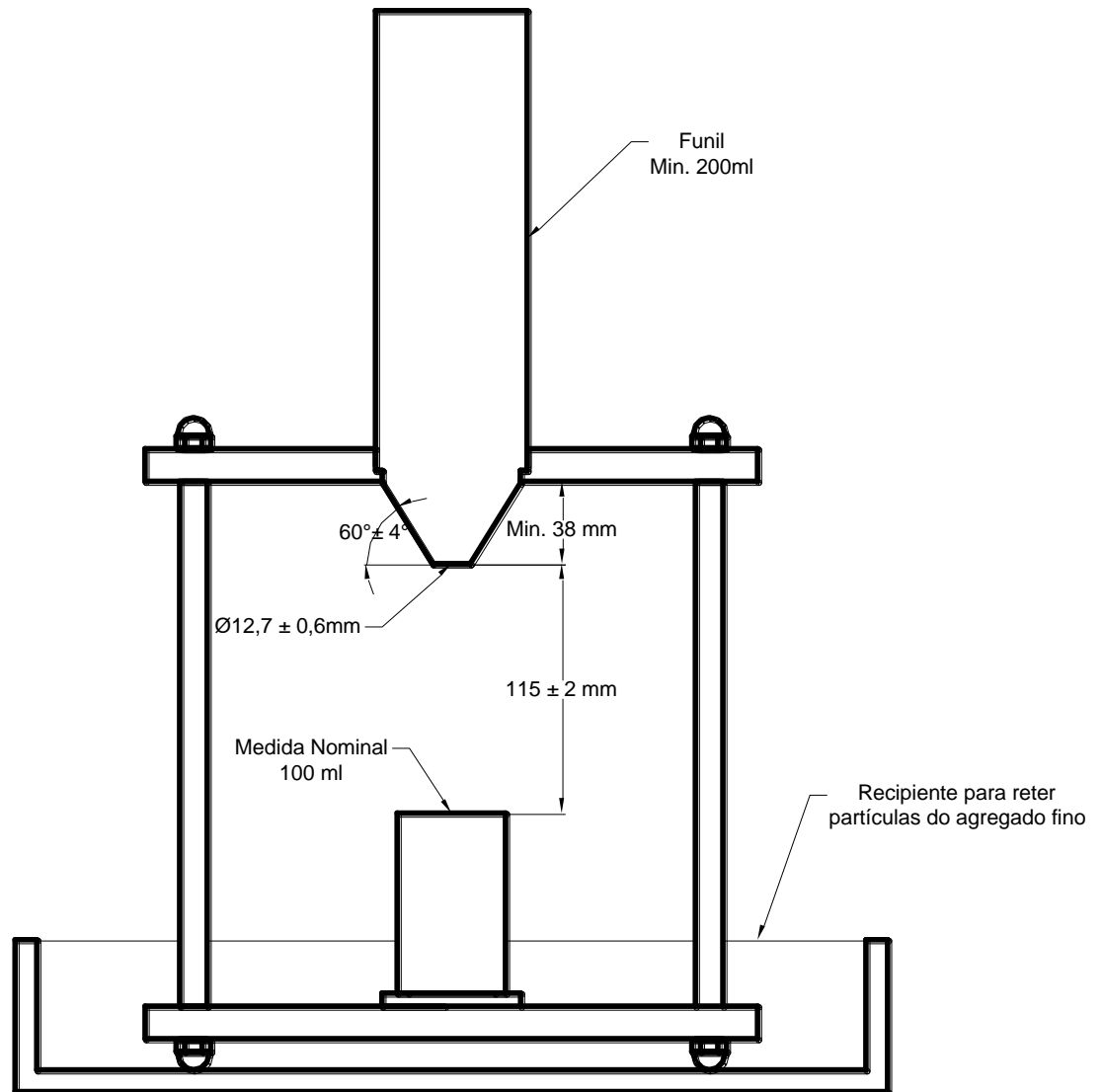
## Anexo A (Normativo)

Figura A1- Medidas da Proveta



Anexo B (Normativo)







Figura B1 – Desenho esquemático da aparelhagem






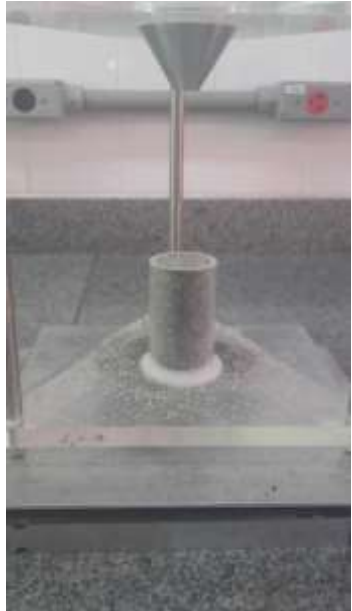


\_\_\_\_\_/Anexo C

Anexo C (Informativo)

Fotos – Passos do ensaio de teor de vazios de agregados não compactados

		
<p>1 - Peso da proveta com vaselina e placa de vidro</p>	<p>2 - Peso da proveta com água destilada, vaselina e placa de vidro</p>	<p>3 - Peso da amostra a ser ensaiada</p>
		
<p>4 - Peso da proveta vazia</p>	<p>5 - Início do ensaio – saída do funil bloqueada</p>	<p>6 - Amostra caindo livremente dentro da proveta</p>



		
<p>7 - Após o esvaziamento do funil</p>	<p>8 - Espátula para retirar o excesso de agregado em cima da proveta</p>	<p>9 - Uso do pincel para remover grãos aderidos fora da proveta.</p>
		
<p>10 - Proveta limpa de material fora</p>	<p>11 - Pesagem da proveta com a amostra</p>	<p>12 - Foto de um equipamento completo</p>

## Anexo D (informativo)

## Fotos – Exemplos de aparelhos com proveta metálica



Tabela D1 – Exemplo de relatório de ensaio de teor de vazios não compactados

(ou angularidade de agregado miúdo)

Instituição responsável:	Identificação:	Data da coleta do material:
Tipo de agregado:	Procedência:	Número da amostra:
Camada em que será aplicado:	Faixa granulométrica:	Tamanho máximo nominal:
Quantidade de material coletado: 2000 g	Laboratório responsável pela execução dos ensaios:	
<b>Ensaio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Peso total da amostra (g)	190	190
Densidade aparente da amostra	2,7	2,7
Peso cilindro (g)	93,1	93,1
Volume cilindro (ml)	99,9	99,9
Cilindro + amostra (g)	236,8	237,0
Vazios não compactados (%)	46,72	46,65
Média	46,68	

**Anexo E (Informativo) - Bibliografia**

- a) ASTM C 1252 – 06 Standard Test Methods for Uncompacted Void Content of Fine Aggregate (as Influenced by Particle Shape, Surface Texture, and Grading).
- b) AASHTO T304. *Uncompacted Void Content of Fine Aggregate*, 2008.
- c) ASTM B 88 Specification for Seamless Copper Water Tube.
- d) ASTM B 88M Specification for Seamless Copper Water Tube [Metric].
- e) ASTM C 29/C 29M Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate.
- f) ASTM C 117 Test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No.200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing.
- g) ASTM C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.
- h) ASTM C 128 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate.
- i) ASTM C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- j) ASTM C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials.
- k) ASTM C 702 Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size.
- l) ASTM C 778 Specification for Standard Sand.
- m) ASTM D 75 Practice for Sampling Aggregates.
- n) ACI Document: ACI 116R Cement and Concrete Terminology.
- o) Gouveia, L. T., 2002. Avaliação do Ensaio de Angularidade do Agregado Fino (FAA) da Especificação Superpave. Dissertação de mestrado Engenharia de Transportes. USP/São Carlos.
- p) Gouveia, L. T. e Leomar Jr, J. Avaliação de agregados utilizados em obras viárias no estado de São Paulo através do ensaio de angularidade da fração fina. XV ANPET. 2001.

## Índice geral

Abstract.....	1	Índice geral.....	12
Agregado fino.....3.2.....	2	Massa esp. apar. do agregado ( $\bar{y}_{sb}$ ) .... 3.5.....	2
Agregado miúdo.....3.1.....	2	Massa esp. real do agregado ( $\bar{y}_{sa}$ ) ..... 3.3.....	2
Amostra.....6.....	3	Método A – Amostra de agregados finos..... 6.4.1.....	3
Amostra com frações individuais (Método B).....6.2.....	3	Método B – Amostra com frações individuais..... 6.4.2.....	4
Amostra de agregados (Método A) .....6.1.....	3	Método C – Graduação conforme recebida..... 6.4.3.....	4
Amostra de agregados miúdos (Método C).....6.3.....	3	Objetivo ..... 1.....	2
Anexo A (Normativo).....	6	Precisão..... 10.....	5
Anexo B (Normativo).....	7	Prefácio ..... 1.....	1
Anexo C (Informativo).....	8	Preparação da amostra ..... 6.4.....	3
Anexo D (informativo).....	10	Referências normativas ..... 2.....	2
Anexo E (Informativo) - Bibliografia.....	11	Relatório ..... 9.....	5
Angularidade de agregado fino .....3.8.....	2	Resultados..... 8.....	4
Aparelhagem.....4.....	2	Resumo ..... 1.....	1
Calibração da Proveta.....5.....	3	Sumário ..... 1.....	1
Definições ..... 3.....	2	Tabela 1 – Composição da amostra para o método A ....	4
Densidade aparente ( $G_{sb}$ ).....6.5.....	4	Tabela 2 – Composição da amostra para o Método B ....	4
Densidade aparente dos grãos .....3.6.....	2	Tabela 3 – Precisão sugerida para este ensaio.....	5
Densidade real ( $G_{sa}$ ) .....3.4.....	2	Teor de vazios não compactado..... 3.7.....	2
Ensaio .....7.....	4		