



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

DEZEMBRO 2020

NORMA DNIT 432/2020 - ME

Agregados - Determinação das propriedades de forma por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI) - Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas em Transportes - IPR

Processo: 50600.015386/2020-15

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 30/12/2020.

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, forma, angularidade, textura superficial, esfericidade

Nº total de páginas

14

Resumo

Este documento apresenta o procedimento para a determinação das propriedades de forma dos agregados graúdos e miúdos por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI), definindo a aparelhagem necessária e condições operacionais para obtenção dos resultados.

Abstract

This document presents the procedure for determining the aggregate shape properties by means of Digital Image Processing defining the necessary equipment and operating conditions to obtain the results.

Sumário

Prefácio.....	1
1 Objetivo.....	1
2 Referências normativas	2
3 Definições	2
4 Aparelhagem.....	3
5 Formação da amostra.....	3
6 Execução do ensaio.....	4
7 Cálculos	4
8 Expressão dos Resultados	5
Anexo A (Normativo) – Expressões Matemáticas	6
Anexo B (Informativo) – Modelo de relatório	7

Anexo C (Informativo) – Estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade	10
Anexo D (Informativo) – Proposição de Sistema de Classificação de agregados brasileiros quanto à forma, textura, esfericidade e angularidade	11
Anexo E (Informativo) – Bibliografia.....	12
Índice Geral.....	14

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer o procedimento para determinação das propriedades de forma dos agregados por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI). A criação desta Norma procede dos estudos e pesquisas realizados no âmbito do Termo de Execução Descentralizada – TED nº 682/2014 firmado com a COPPE/UFRJ, para o desenvolvimento de método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimento asfáltico. Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009 - PRO.

1 Objetivo

Esta Norma estabelece os procedimentos para a determinação das propriedades de forma dos agregados por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI). Para agregados graúdos são medidos os parâmetros de angularidade, textura superficial, esfericidade e razão de

achatamento e alongamento. Para os agregados miúdos somente a angularidade e a forma 2D.

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 agregado para ensaio de laboratório.
- c) _____. DNER – EM 035/95 – Peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos.

3 Definições

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

3.1 Tamanho da Fração

Valor da abertura da peneira na qual as partículas ficam retidas após passar pela peneira imediatamente superior.

3.2 Agregado Miúdo

Material passante na peneira de 4,75 mm (nº 4) e retido na peneira 0,075 mm (nº 200).

3.3 Agregado Graúdo

Material retido na peneira de 4,75 mm (nº4).

3.4 Angularidade

Parâmetro relacionado aos ângulos das arestas existentes nas imagens 2D das partículas de agregado. Quantifica as mudanças de direção existentes ao longo do contorno da partícula por meio do método do gradiente. Seu valor pode variar de 0 a 10.000, sendo que quanto maior for este valor mais angular é a partícula do agregado. É aplicável para agregados graúdos e miúdos.

3.5 Textura Superficial

Parâmetro que descreve elementos de rugosidade que sejam menores que, aproximadamente, 0,5 mm, presentes na superfície dos agregados. É calculado pelo método das wavelets e seu valor pode variar de 0 a 1.000, sendo que tanto maior quanto mais rugosa for a superfície do agregado. É utilizado apenas aos agregados graúdos.

3.6 Esfericidade

Parâmetro que quantifica as quão próximas entre si são as três dimensões da partícula do agregado. Seu valor pode variar de 0 a 1, sendo máximo para uma partícula com as três dimensões iguais (ex.: cubo, esfera). Aplica-se apenas aos agregados graúdos

3.7 Forma 2D

Parâmetro que indica a forma do agregado a partir de imagens 2D. A Forma 2D pode variar de 0 a 20, sendo maior quanto mais alongado é o agregado e apresentando valor zero para um círculo perfeito. É utilizado apenas aos agregados miúdos.

3.8 Partículas achatadas ou alongadas

Partículas de agregado cuja razão entre a dimensão intermediária e a menor dimensão da partícula ou razão entre a maior dimensão e dimensão intermediária da partícula é maior que um valor especificado, respectivamente. Aplica-se apenas aos agregados graúdos.

3.9 Partículas achatadas e alongadas

Partículas de agregado cuja razão entre a maior dimensão e a menor dimensão da partícula é maior que um valor especificado. Aplica-se apenas aos agregados graúdos.

4 Aparelhagem

4.1 Sistema Digital de Aquisição e Análise de Imagens

Sistema de Processamento Digital de Imagens controlado por computador para capturar imagens digitais com ampliação variável e *software* para análise de imagens. Este *software* deve conter algoritmos, conforme as expressões apresentadas no Anexo B, para calcular: Angularidade, Textura Superficial, Esfericidade, Forma 2D, Razões de achatamento e/ou alongamento.

Deve ser composto por:

4.1.1 Câmera e sistema óptico com capacidade de resolução suficiente para todos os tamanhos de partículas a serem analisadas.

4.1.2 Sistema para posicionar as partículas para a captura de imagens, que pode ser por meio de uma câmera móvel, uma bandeja de suporte móvel ou uma combinação dos dois.

4.1.3 Sistema para foco automático da imagem.

4.1.4 Sistema para determinação de medidas tridimensionais x, y, z de partículas, em milímetros.

4.1.5 Sistema para detectar e remover da análise partículas que apresentam contato entre si.

4.1.6 Sistema de suporte para as partículas, como bandejas opacas ou outro elemento de superfície plana, apropriado ou adaptável para cada fração (0,075 mm a 25,0 mm), podendo apresentar uma leve reentrância para facilitar o posicionamento das partículas.

4.1.7 Sistema de iluminação variável para retro iluminação e/ou iluminação superior do material.

NOTA 1: O equipamento AIMS tem sido bem aceito entre as técnicas de processamento digital de imagens.

NOTA 2: O equipamento deve ser colocado sobre um suporte estável, sem vibração ou balanço, em local adequado, com pouca poeira, temperatura controlada entre 18 e 25°, sem muita umidade. A umidade excessiva pode causar condensação na parte óptica de precisão.

4.2 Balança

Balança com capacidade de 20 kg, sensível a 1 g.

4.3 Estufa

Estufa capaz de manter a temperatura em (110 ± 5) °C.

4.4 Peneiras

Peneiras de malhas quadradas com caixilhos metálicos e aberturas nominais (DNER – EM 035/95), em milímetros, de: 32; 25; 19; 12,5; 9,5; 4,75; 2,36; 1,18; 0,6; 0,3; 0,15 e 0,075.

4.5 Calibração

Todo equipamento deve vir do fabricante com as instruções de calibração a serem feitas sempre que necessário. Também devem fornecer os elementos adicionais necessários para proceder esta calibração.

5 Formação da amostra

a) Efetuar a amostragem dos agregados conforme DNER–PRO 120/97;

b) Reduzir e fracionar a amostra conforme DNER–PRO 199/96. O agregado coletado é quarteado utilizando repartidor de amostra ou manualmente e, em seguida, fracionado por meio da série de peneiras indicada no item 4.4, até que a quantidade de partículas em cada fração seja suficiente para a análise. A quantidade mínima da amostra em massa deve atender aos requisitos da Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade mínima de partículas por fração

Tamanho	Massa aproximada	Quantidade mínima de partículas
25 mm (1")	5 kg	50
19 mm (3/4")	2 kg	50
12,5 mm (1/2")	2 kg	50
9,5 mm (3/8")	2 kg	50
4,75 mm (# 4)	2 kg	50
2,36 mm (# 8)	200 g	150
1,18 mm (# 16)	200 g	150
0,6 mm (# 30)	200 g	150
0,3 mm (# 50)	200 g	150
0,15 mm (# 100)	200 g	150
0,075 mm (# 200)	200 g	150

c) Lavar cada fração obtida da amostra, utilizando como suporte as peneiras correspondentes, até que se perceba, visualmente, que a água sai limpa após atravessar as partículas;

d) Secar todas as frações em estufa a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até massa constante. As diferentes frações devem ser mantidas separadas em recipiente limpo e fechado.

6 Execução do ensaio

a) Cada fração da amostra deve ser analisada separadamente;

b) De cada fração da amostra preparada, distribuir as partículas no suporte, de forma que sua orientação seja definida aleatoriamente. Entre partículas graúdas, o espaçamento deve ser de pelo menos 1,0 mm. Já no caso de partículas miúdas, deve-se realizar o espalhamento de forma a minimizar o contato entre as partículas;

NOTA 3: Seguir a quantidade mínima de partículas estabelecidas na Tabela 1, podendo-se adotar maiores quantidades.

c) Fornecer ao sistema o tamanho das partículas da fração a ser analisada;

d) Iniciar o processo de aquisição e análise de imagens, sempre automatizado. Se a quantidade necessária de

partículas não for alcançada na primeira sequência de capturas, será necessário substituir todas as partículas colocadas no suporte por outras, da mesma amostra, e repetir o processo, até que se complete a quantidade determinada.

NOTA 4: A maior parte dos agregados miúdos é analisada utilizando retroiluminação. Contudo, para alguns materiais translúcidos, pode ser necessário utilizar um fundo escuro e iluminação superior para alcançar o contraste adequado das imagens. Recomenda-se, em geral, utilizar fundo escuro para partículas de 0,30 mm (#50) e de tamanhos menores.

NOTA 5: É importante limpar cada bandeja com um limpador de superfície ou limpador de vidro e um pano macio para remover quaisquer partículas que possam ter aderido à bandeja.

7 Cálculos

7.1 Angularidade

a) Cálculo do valor de angularidade para cada partícula graúda e miúda;

b) Cálculo da angularidade média e seu desvio padrão para cada fração.

7.2 Textura Superficial

a) Cálculo do valor de textura superficial para cada partícula graúda;

b) Cálculo da textura superficial média e seu desvio padrão para cada fração graúda.

7.3 Esfericidade

a) Cálculo da esfericidade para cada partícula graúda;

b) Cálculo da esfericidade média e seu desvio padrão para cada fração graúda.

7.4 Forma 2D

a) Cálculo da forma 2D e para cada partícula miúda;

b) Cálculo da forma 2D média e seu desvio padrão para cada fração miúda.

7.5 Percentual de partículas achatadas ou alongadas

Calcular de acordo com os seguintes limites de Razão de Achatamento (RC) ou Razão de Alongamento (RA).

- % de partículas cuja RC ou RA > 1:1
- % de partículas cuja RC ou RA > 2:1
- % de partículas cuja RC ou RA > 3:1
- % de partículas cuja RC ou RA > 4:1
- % de partículas cuja RC ou RA > 5:1

7.6 Percentual de partículas achatadas e alongadas

Calcular de acordo com os seguintes limites de Razão de Achatamento e Alongamento (RCA).

- % de partículas cuja RCA > 1:1
- % de partículas cuja RCA > 2:1

- % de partículas cuja RCA > 3:1
- % de partículas cuja RCA > 4:1
- % de partículas cuja RCA > 5:1

8 Expressão dos Resultados

Os resultados devem ser apresentados em um relatório contendo as seguintes informações:

- a) Identificação do material: tipo, origem, tamanhos de partículas analisados e outras informações disponíveis sobre o material (ex.: processo de produção);
- b) Data da análise;
- c) Equipamento utilizado;
- d) Nome do operador;
- e) Número de partículas analisadas;
- f) Média e desvio padrão das propriedades por fração;
- g) Gráficos com a distribuição das propriedades por fração.

_____/Anexo A

Anexo A (Normativo) – Expressões Matemáticas

O programa de aquisição de dados do equipamento deve considerar as seguintes expressões de cálculos:

A1. Angularidade

$$Ang = \frac{1}{\frac{n}{3}-1} \sum_{i=1}^{n=3} |\theta_i - \theta_{i+3}| \quad (1)$$

Onde:

Ang – valor de Angularidade da partícula;

θ – ângulo de orientação dos pontos do contorno;

n – número total de pontos;

i – i-ésimo ponto do contorno da partícula.

A2. Textura Superficial

$$TS_n = \frac{1}{3N} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^N \left(D_{i,j}(x, y) \right)^2 \quad (2)$$

Onde

TS – valor de Textura Superficial da partícula;

n – nível de decomposição da imagem;

N – número total de coeficientes em uma imagem detalhada;

D – função de decomposição;

i – direção da textura (1, 2 ou 3);

j – índice *wavelet*;

x e y – definem a localização dos coeficientes no domínio transformado.

A3. Esfericidade

$$Esf = \sqrt[3]{\frac{d_{Me} d_I}{d_{Ma}^2}} \quad (3)$$

Onde

Esf – valor de esfericidade da partícula;

d_{Me} – menor dimensão da partícula;

d_I – dimensão intermediária da partícula;

d_{Ma} – maior dimensão da partícula.

A4. Forma 2D

$$Forma\ 2D = \sum_{\theta=0}^{\theta=360-\Delta\theta} \left[\frac{R_{\theta+\Delta\theta}-R_{\theta}}{R_{\theta}} \right] \quad (4)$$

Onde

R_{θ} – raio da partícula em um ângulo θ ;

$\Delta\theta$ – diferença incremental no ângulo.

A5. Partículas Achatadas ou Alongadas

$$RC = \frac{d_I}{d_{Me}} \quad (5)$$

$$RA = \frac{d_{Ma}}{d_I} \quad (6)$$

Onde

RC – razão de achatamento;

RA – razão de alongamento;

d_I – dimensão intermediária da partícula;

d_{Me} – menor dimensão da partícula;

d_{Ma} – maior dimensão da partícula.

A6. Partículas Achatadas e Alongadas

$$RCA = \frac{d_{Ma}}{d_{Me}} \quad (7)$$

Onde

RCA é a razão de achatamento e alongamento;

d_{Ma} é a maior dimensão da partícula;

d_{Me} é a menor dimensão da partícula.

Anexo B (Informativo) – Exemplo de um modelo de relatório

Data:	20/04/2017
Projeto:	Britador_impacto
Operador:	Operador A
Pasta de trabalho:	Britador_impacto_Stockpile.xlsm
Descrição:	Agregado de origem fonolítica (Eusébio, Ceará)

Tabela B1 – Peneiras analisadas

Analisado	Tamanho
x	25,0 mm (1")
x	19,0 mm (3/4")
x	12,5 mm (1/2")
x	9,5 mm (3/8")
x	4,75 mm (# 4)
x	2,36 mm (# 8)
x	1,18 mm (# 16)
x	0,6 mm (# 30)
x	0,3 mm (# 50)
x	0,15 mm (# 100)
x	0,075 mm (# 200)

Tabela B2 - Esfericidade

Tamanho	Número de partículas	Média	Desvio Padrão
19,0 mm (3/4")	75	0,72	0,08
12,5 mm (1/2")	74	0,68	0,08
9,5 mm (3/8")	75	0,69	0,08
4,75 mm (# 4)	71	0,67	0,08

Tabela B3 – Textura Superficial

Tamanho	Número de partículas	Média	Desvio Padrão
19,0 mm (3/4")	75	433,7	122,6
12,5 mm (1/2")	75	382,2	102,6
9,5 mm (3/8")	75	362,5	106,6
4,75 mm (# 4)	73	282,5	87,5

Tabela B4 – Angularidade

Tamanho	Número de partículas	Média	Desvio Padrão
19,0 mm (3/4")	75	3051,0	553,2
12,5 mm (1/2")	75	2990,0	597,8
9,5 mm (3/8")	75	3347,8	629,1
4,75 mm (# 4)	75	3316,8	776,6
2,36 mm (# 8)	200	3442,9	797,9
1,18 mm (# 16)	200	3464,2	749,3
0,6 mm (# 30)	201	3542,9	787,4
0,3 mm (# 50)	202	3165,5	901,2
0,15 mm (# 100)	200	2740,7	817,0
0,075 mm (# 200)	201	2321,6	1022,6

Tabela B5 – Forma 2D

Tamanho	Número de partículas	Média	Desvio Padrão
2,36 mm (# 8)	200	7,9	1,8
1,18 mm (# 16)	199	8,0	1,7
0,6 mm (# 30)	201	8,3	2,0
0,3 mm (# 50)	202	7,8	2,1
0,15 mm (# 100)	200	7,4	1,9
0,075 mm (# 200)	200	8,4	2,1

Tabela B6 - % de Partículas Achatadas e Alongadas

Tamanho	Número de partículas	RCA ≥ 1:1	RCA ≥ 2:1	RCA ≥ 3:1	RCA ≥ 4:1	RCA ≥ 5:1
19,0 mm (3/4")	75	100,0%	53,3%	5,3%	0,0%	0,0%
12,5 mm (1/2")	74	100,0%	67,6%	10,8%	0,0%	0,0%
9,5 mm (3/8")	75	100,0%	64,0%	8,0%	2,7%	0,0%
4,75 mm (# 4)	71	100,0%	66,2%	15,5%	0,0%	0,0%

Tabela B7 - % de Partículas Achatadas ou Alongadas

Tamanho	Número de partículas	RC ou RA > 1:1	RC ou RA > 2:1	RC ou RA > 3:1	RC ou RA > 4:1	RC ou RA > 5:1
19,0 mm (3/4")	75	100,0%	14,7%	1,3%	0,0%	0,0%
12,5 mm (1/2")	74	100,0%	23,0%	0,0%	0,0%	0,0%
9,5 mm (3/8")	75	100,0%	21,3%	0,0%	0,0%	0,0%
4,75 mm (# 4)	71	100,0%	23,9%	0,0%	0,0%	0,0%

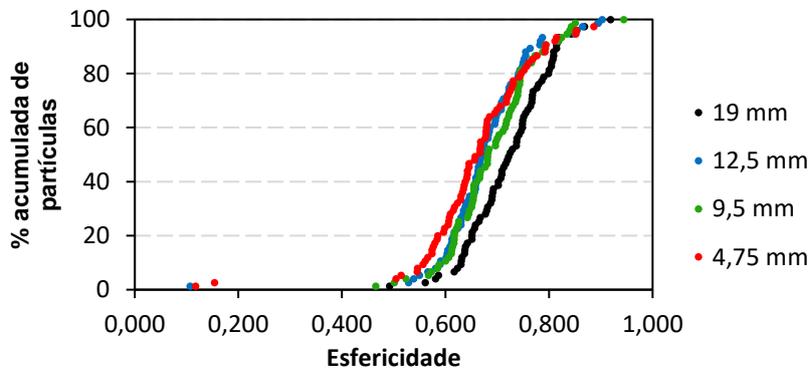


Figura B1 – Distribuição da Esfericidade

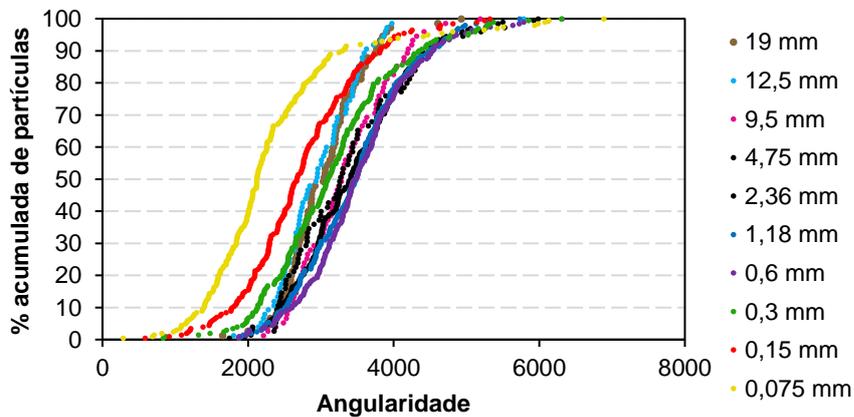


Figura B2 – Distribuição de Angularidade

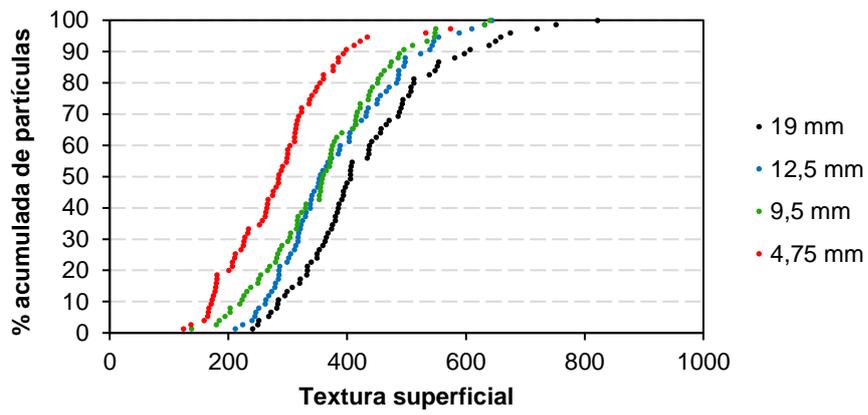


Figura B3 - Distribuição da Textura Superficial

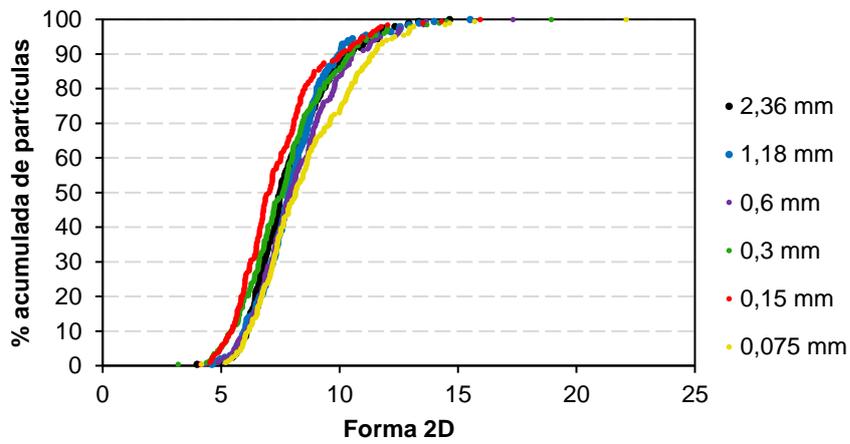


Figura B4 - Distribuição da Forma 2D

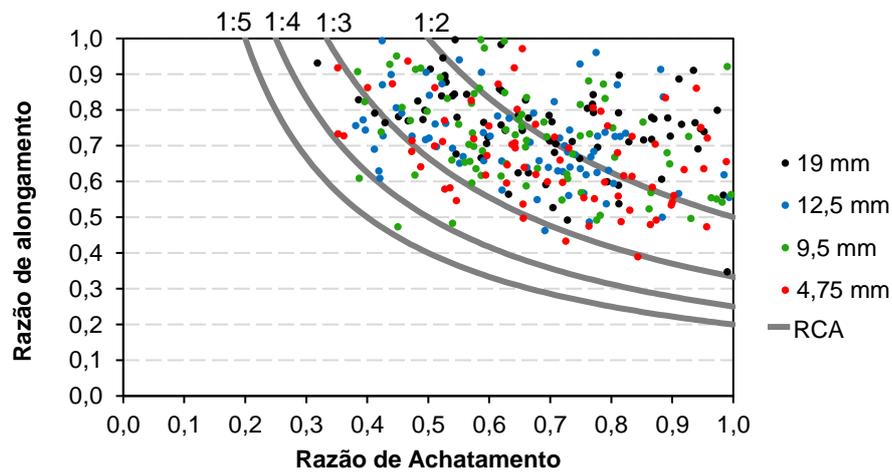


Figura B5 - Distribuição da Razão de Achatamento X Razão de Alongamento

Nota: Exemplo de relatório obtido do equipamento o AIMS.

Fonte: Adaptado de Ibiapiana, 2018.

Anexo C (Informativo) – Estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade

Os estudos de repetibilidade e reprodutibilidade foram realizados a partir de dois agregados de mesma origem (rocha fonolítica) gerados por britadores distintos (britador de impacto de eixo vertical e britador de mandíbulas), utilizando dois equipamentos de laboratórios distintos. Tomaram-se, como base, as metodologias descritas por Bathina (2005) e pela norma ASTM C802 (2014). Ao todo, sete operadores participaram do estudo, realizando para cada amostra, três análises. De cada material, foram utilizadas duas frações: de 12,5 mm (graúda) e de 1,18 mm (miúda). As Tabelas C1 e C2 apresentam os Coeficientes de Variação (CV) relativos à repetibilidade e à reprodutibilidade para cada abordagem considerada, as quais serão descritas a seguir:

- Repetibilidade: as partículas analisadas foram retornadas ao recipiente que continha amostra e, em seguida, foram selecionadas, aleatoriamente, novas partículas para a análise seguinte (sendo um total de três análises feitas por cada operador para cada amostra). Nessa abordagem, algumas partículas repetem-se entre as análises e outras não, de forma que a variabilidade existente dentro de cada amostra influencia os resultados.
- Reprodutibilidade: a variável cujo impacto na reprodutibilidade está sendo avaliado é o operador (foram utilizados quatro operadores no Laboratório A e 3 operadores no laboratório B).

Tabela C1 – Resultados de repetibilidade e de reprodutibilidade para as frações graúdas

Propriedade	Material	CV repet - Lab A (%)	CV repet - Lab B (%)	CV reprod - Lab A (%)	CV reprod - Lab B (%)
Esfericidade	1	1.71	1.92	1.72	1.78
	2	2.49	2.88	2.56	2.58
Angularidade	1	2.48	3.33	3.12	3.30
	2	2.77	3.65	2.47	3.04
Textura superficial	1	2.41	4.24	2.53	4.00
	2	4.22	2.44	5.80	2.93

Tabela C2 – Resultados de repetibilidade e de reprodutibilidade para as frações miúdas

Propriedade	Material	CV repet - Lab A (%)	CV repet - Lab B (%)	CV reprod - Lab A (%)	CV reprod - Lab B (%)
Forma 2D	1	2.46	1.74	5.83	1.89
	2	3.96	2.41	4.42	2.36
Angularidade	1	3.14	0.98	9.89	1.51
	2	1.68	1.38	4.75	2.47

Nota: Exemplo de análise realizada no equipamento AIMS.

Fonte: Ibiapina, 2018

_____/Anexo D

Anexo D (Informativo) – Proposição de Sistema de Classificação de agregados brasileiros quanto à forma, textura, esfericidade e angularidade

Tabela D1 – Proposição de Sistema de Classificação de agregados brasileiros quanto à forma, textura, esfericidade e angularidade para o equipamento AIMS

Propriedade	Valores limite				
Forma 2D	< 4,0 Circular	4,0 - 11,0 Semicircular	11,0-15,5 Semialongado	> 15,5 Alongado	-
Angularidade	< 1.260 Arredodado	1.260-4.080 Subarredondado	4.080-7.180 Subangular	> 7.180 Angular	-
Esfericidade	< 0,5 Achatado/Alongado	0,5 - 0,70 Pouco esférico	0,7 - 0,9 Moderadamente esférico	> 0,9 Muito esférico	-
Textura	< 260 Polido	260-440 Macio	440-600 Pouco rugoso	600-825 Moderadamente rugoso	> 825 Muito rugoso

Fonte: Adaptado de Ibiapiana, 2018.

_____/Anexo E

Anexo E (Informativo) – Bibliografia

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO PP64-10: Standard Method for Determining Aggregate Source Shape Values from Digital Image Analysis Shape Properties. Washington, 2010.
- b) _____. AASHTO TP81-10 – Standard Method of Test for Determining Aggregate Shape Properties by Means of Digital Image Analysis. Washington, 2010.
- c) ALVES, V. A. H. S. Avaliação da resistência a degradação mecânica de agregados da região metropolitana do Rio de Janeiro por técnica digital de imagem. 2014. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- d) AMERICAN SOCIETY FOR TEST AND MATERIALS. ASTM C802-14 Standard Practice for Conducting an Interlaboratory Test Program to Determine the Precision of Test Methods for Construction Materials. West Conshohocken, PA, 2014.
- e) ARAUJO, V.M. de C.; BESSA, I.S.; CASTELO BRANCO, V.T.F. (2014) Avaliação da Textura de Misturas Asfálticas a Partir do Uso do Processamento Digital de Imagens. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes – XXVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes.
- f) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14597: Programa intralaboratorial de métodos analíticos – Determinação da repetibilidade e precisão intermediária. Rio de Janeiro, 2012.
- g) ARÊDES, M. L. A. Avaliação do Desempenho de Misturas Asfálticas Utilizando Resíduo do Beneficiamento do Fe. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia,
- h) BATHINA, M. Quality analysis of the aggregate imaging system (AIMS). Tese de Doutorado. Texas A&M University, 2005
- i) BESSA, I.S. (2012) Avaliação do Processamento Digital de Imagens como Ferramenta para Caracterização de Agregados e Misturas Asfálticas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará.
- j) DIÓGENES, L. M. Avaliação das Relações entre Propriedades de Forma de Agregados Minerais com Base nas Características do Processo de Britagem e da Rocha de Origem. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará.
- k) DIOGENES, L. M.; BESSA, I. S.; CASTELO BRANCO, V.T.F.; MAHMOUD, E. The influence of stone crushing processes on aggregate shape properties. Road Materials and Pavement Design, v. 1, p. 1-18, 2018.
- l) DIOGENES, D. F.; MAIA, R. S.; CASTELO BRANCO, V.T.F. Evaluation of the Ballast Aggregates Shape Properties Using Digital Image Processing Techniques. In: 10th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields, 2017, Atenas. 2017.
- m) IBIAPINA, D. S.; CASTELO BRANCO, V.T.F.; RODRIGUES, C. B.; BESSA, I. S. Avaliação da relação entre angularidade de agregados e parâmetros do esqueleto mineral de misturas asfálticas. In: XIX Congresso Ibero-Latinoamericano de Asfalto, 2017
- n) IBIAPINA, D. S; DIOGENES, L. M.; CASTELO BRANCO, V.T.F; FREITAS, S. M.; MOTTA, L. M. G. Proposição de um sistema de classificação das propriedades de forma de agregados caracterizados com o uso do processamento digital de imagens a partir de materiais oriundos do Brasil. Transportes, 2018.
- o) IBIAPINA, D. S. Proposição de um Sistema de Classificação das Propriedades de Forma de Agregados Caracterizados com o Uso do Processamento Digital de Imagens para a Seleção de Materiais Brasileiros. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará.

- p) LIMA, C.D.A. (2016) Estudo da Deformação Permanente de Duas Britas Graduadas para uso em Camadas de Pavimentos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- q) MASAD, E. A. Aggregate Imaging Measurement System (AIMS): Basics and Applications. Texas Transportation Institute. The Texas A&M University System. Project performed in cooperation with the Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration. Report nº FHWA/TX-05/5-1707-01-1, 2005.
- r) PAZOS, A. G. Efeitos de Propriedades Morfológicas de Agregados no Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas. 2015. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ
- s) PINE INSTRUMENT COMPANY. Model: AFA2A Operation Manual. Version 2.07. Grove City, PA. September 2011.

_____ / Índice Geral

Índice Geral

Abstract.....	1	Execução do ensaio	6	4
Agregado Graúdo.....	3.3.....	2	Expressão dos Resultados	8
Agregado Miúdo.....	3.2.....	2	Forma 2D.....	3.7,7.4 ...2, 4
Anexo A (Normativo) – Exp. Matemáticas....	6	Formação da amostra	5	3
Anexo B (Informativo) – Modelo de relatório	7	Índice Geral	14	
Anexo C (Informativo) – Estudo de Repetibilidade e Reprodutibilidade	10	Objetivo	1	1
Anexo D (Informativo) – Proposição de Sistema de Classificação	11	Partículas achatadas e alongadas.....	3.9	2
Anexo E (Informativo) – Bibliografia	12	Partículas achatadas ou alongadas.....	3.8	2
Angularidade	3.4,7,1... 2, 4	Peneiras	4.4	3
Aparelhagem.....	4.....	Per. de partículas achatadas e alongadas....	7.6	4
Balança	4.2.....	Per. de partículas achatadas ou alongadas..	7.5	4
Cálculos	7.....	Prefácio	1	1
Calibração	4.5.....	Referências normativas	2	2
Definições	3.....	Resumo	1	1
Esfericidade	3.6,7.3... 2, 4	Sist. Dig. de Aquisição e Análise de Imagens ...	4.1.....	2
Estufa.....	4.3.....	Sumário	1	1
		Tamanho da Fração	3.1	2
		Textura Superficial.....	3.5,7.2 ...2, 4	