

# Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o processamento digital de imagens (PDI)

Wilton Pereira Macedo, swilton.macedo@hotmail.com

Centro Universitário de Brasília (Brasil)

Jaime Rafael Obando Ante,  
jaimeobando@unicauca.edu.co

Universidad del Cauca (Colombia)

Diferentes métodos de compactação em laboratório têm sido desenvolvidos buscando apresentar os resultados que mais se aproximam de realidades encontradas em campo. O presente trabalho utiliza o processamento digital de imagens (PDI) como método para avaliar as principais mudanças nas propriedades dos agregados e na estrutura interna de misturas asfálticas, submetidas a diferentes tipos de compactação. Para isso, foi utilizada a metodologia de dosagem de materiais Marshall, e compactado com diferentes tipos de compactação, sendo elas: Marshall, Superpave e Placa vibratória. Para analisar as mudanças na estruturação do esqueleto mineral, devido aos efeitos da compactação utilizou-se o equipamento AIMS (Aggregate Image Measurement System). Para analisar a estrutura interna das misturas utilizou-se o programa I-PAS 2 (Image processing and Analyses System). O trabalho apresenta e discute os métodos de análise, com o objetivo de definir entre as metodologias de compactação escolhidas, a que mais se aproxima das realizadas em campo.

**Palabras clave:** Palavras-chave: Misturas asfálticas, Compactação, Processamento digital de imagens (PDI), Análise de agregados, AIMS (Aggregate Image Measurement System).

Different laboratory compression methods have been developed seeking to present the results that are closer to the realities found in field. The study, uses the digital image processing, as a method to evaluate the main changes of aggregate properties and internal structure of hot mix asphalt, submitted to different compaction kinds. For this purpose, Marshall method was used for dosing materials and samples was compacted in different compactors: Marshall, Superpave and Vibratory plate. To analyze the aggregates it was used the AIMS (Aggregate Image Measurement System). To analyze the internal structure it was used the IPAS 2 (Image processing and Analyses System). The study presents and discusses the methods of analyses in order to define between the compaction methodologies chosen which one approach the actual conditions encountered in the field.

**Keywords:** Asphalt Mixtures, Compaction, Digital image processing, Aggregate Analysis.

Diferentes métodos de compactación en laboratorio han sido desarrollados buscando presentar los resultados que más se aproximan a las realidades encontradas en campo. El presente trabajo utiliza el procesamiento digital de imágenes (PDI) como método para evaluar los principales cambios en las propiedades de los agregados y en la estructura interna de mezclas asfálticas, sometidas a diferentes tipos de compactación. Para eso, se utilizó la metodología de dosificación de materiales Marshall, y compactada con diferentes tipos de compactación, siendo ellas: Marshall, Superpave y Placa vibratória. Para analizar los cambios en la estructuración del esqueleto mineral, debido a los efectos de la compactación se utilizó el equipo AIMS (Aggregate Image Measurement System). El trabajo presenta y discute los métodos de análisis, con la meta de definir entre las metodologías de compactación elegidas, la que más se acerca a las realizadas en campo.

**Palabras clave:** Mezclas asfálticas, Compactación, Procesamiento digital de imágenes (PDI), Análisis de agregados, AIMS (Aggregate Image Measurement System)

# Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o processamento digital de imagens (PDI)

## 1. Introdução

A utilização de concreto asfáltico (CA) constituído por cimento asfáltico de petróleo (CAP), agregados, filler e vazios é o material mais empregado nas rodovias brasileiras. Somente após o século 20, quando houve um aumento no número de veículos, os engenheiros passaram a se preocupar com o desenvolvimento de especificações, a fim de produzir rodovias de menor custo (Vasconcelos, 2004).

Durante a evolução dos processos de dosagem, diversas formas de compactação têm sido desenvolvidas. Dependendo do sistema as amostras podem ser quanto à forma, cilíndricas, trapezoidais, ou retangulares, e a compactação pode ser realizada através de impacto, amassamento, vibração ou rolagem (Harman et al., 2002).

O objetivo da compactação de laboratório é de adotar um procedimento que envolvesse um esforço mínimo de compactação e de tempo, e que pudesse selecionar um teor ótimo de ligante asfáltico para uma dada composição granulométrica (Moura, 2010).

De acordo com (Mcrae, 1957) apud (Iwama, 2009) “É sempre desejável para corpos de prova compactados em laboratório ter as mesmas propriedades dos moldados em campo”. Para chegar nesse objetivo os equipamentos vem sendo desenvolvidos para chegar o mais perto das condições reais de obra. Entretanto é fato que diferentes métodos de compactação produzem corpos com propriedades mecânicas distintas.

Para quantificar esses parâmetros, o presente trabalho utiliza o processamento digital de imagens (PDI), desenvolvido para melhorar as caracterizações dos materiais e da estrutura interna de misturas asfálticas.

Tendo em vista diversos tipos de compactações de corpos de prova (CP) em laboratório, o presente trabalho busca avaliar qual a influência da compactação, nos agregados minerais e na estrutura interna de misturas asfálticas, através do processamento digital de imagens considerando os seguintes fatores: forma, angularidade, textura superficial, áreas de contato, orientação e segregação das partículas.

## 2. Materiais e métodos

A pesquisa seguiu quatro etapas básicas: caracterização dos materiais, confecção dos corpos de prova em três diferentes compactadores, análise dos agregados utilizando o Aggregate

Image Measurement System (AIMS), análise da estrutura interna de misturas asfálticas utilizando o Image Processing & Analysis System – IPAS-2.

### 2.1 Mistura asfáltica

Para determinar o teor ótimo de cimento asfáltico foi empregada à metodologia Marshall. Os ensaios foram realizados seguindo os estipulados pela norma DNIT 031/2006 (Pavimentos flexíveis – concreto asfáltico – especificações de serviço). As propriedades da mistura asfáltica, para o teor de asfalto ótimo foram: Quantidade de agregados (95%), quantidade de cimento asfáltico (5%), densidade aparente ( $2,408 \pm 0,039 \text{ g/cm}^3$ ), volume de vazios ( $4,93 \pm 1\%$ ).

### 2.2 Compactação Marshall

Para a confecção dos corpos de prova no compactador Marshall foram seguidas as especificações da norma (DNER-ME 043/1995).

### 2.3 Compactação Superpave

As confecções dos corpos de prova no compactador giratório seguiram a norma AASHTO T 312, os aspectos mais importantes foram: pressão de compactação, ângulo de giro e quantidade de giros por minuto. Nesse trabalho foi utilizando o compactador SERVOPAC da Universidade Federal do Ceará – UFC com os seguintes parâmetros, pressão de 600 kPa, ângulo de  $1,25^\circ$ , 30 rotações por minuto configurado para parar com 110 giros. A quantidade de giros foi escolhida para chegar ao mesmo volume de vazios obtidos nos outros processos de compactação.

### 2.4 Índice de quebra Marsal e Resendiz (1975)

Prevendo a mudança na distribuição das partículas após as três diferentes metodologias de compactação, foi calculada a quebra de partículas a partir das curvas granulométricas, através do método proposto por (Marsal et al., 1975) apud (Gómez, 2011). A metodologia proposta foi escolhida pelo fato de fornecer dados confiáveis uma vez que considera as mudanças de todas as frações utilizadas e pela simplicidade dos cálculos.

Para a realização das curvas granulométricas foi necessário retirada do ligante betuminoso, que seguiu a norma DNER-ME

053/94, que consiste em colocar o material com solvente dentro de um aparelho denominado Rotarex, que possui uma cuba metálica cilíndrica acoplada a um motor que o faz girar, o procedimento empregado pode ser visto na Figura 1.



Figura 1: Remoção do betume da mistura asfáltica: (a) Mistura do solvente; (b) Rotação do equipamento; (c) Agregados após ensaio.

## 2.5 Processamento digital de imagens PDI

Com intuito de quantificar a mudança que ocorreu no material quando submetido a diferentes tipos de compactação, utilizou-se dois procedimentos de análise através do processamento digital de imagens. O primeiro, para quantificar a mudança que ocorreu na estrutura interna das misturas asfálticas através do programa IPAS 2. O segundo procedimento, o sistema de medida de imagens de agregados AIMS, para quantificar a mudança na forma das partículas e complementar com a metodologia de quebra de partículas proposto por (Marsal et al., 1975) apud (Gómez, 2011), possibilitando análise mais detalhada das propriedades de forma por fração granulométrica, os procedimentos adotados serão apresentados neste capítulo dividido em duas partes, uma para cada metodologia.

## 2.6 Análise da forma dos agregados utilizando o AIMS

O AIMS é capaz de fornecer cinco diferentes propriedades, três delas são para os agregados graúdos, sendo elas: forma, angularidade e lamelaridade, outra propriedade apenas para os agregados miúdos é a forma 2D, restando apenas a textura superficial que são para ambos os tamanhos de agregados.

Para a utilização do equipamento, primeiramente, o material deve ser passado por uma série de peneiras, no qual os materiais retidos foram higienizados e posteriormente analisados no equipamento. Na segunda etapa, aproximadamente 50 g do material, para cada tamanho, foram distribuídos na bandeja de

forma que evitase o contato entre as partículas. Após a separação da amostra foi configurado o software com o tipo de análise e o tamanho dos agregados a serem ensaiados. Após a obtenção das imagens, o equipamento gera todos os resultados

em planilhas do MS Excel (Bessa, 2012).

## 2.7 Análise da estrutura interna utilizando o IPAS 2

De acordo com (Sefidmazgi, 2011), o número mínimo de três sessões é necessário para analisar a estrutura interna de uma mistura para que o coeficiente de variação não passe de 5%. Nesta pesquisa os corpos de prova foram cortados tanto nas sessões transversais quanto nas longitudinais (Figura 3).

Os cortes na transversal foram de  $30 \pm 2$  mm de espessura, sem considerar perda com a espessura da serra, assim como os cortes na longitudinal foram de  $20 \pm 2$  mm espessura, considerando arrasamento da superfície.

Com intuito de facilitar o reconhecimento dos agregados e remover as ranhuras causadas pela serra durante o corte da amostra, todas as peças foram polidas Figura 2.

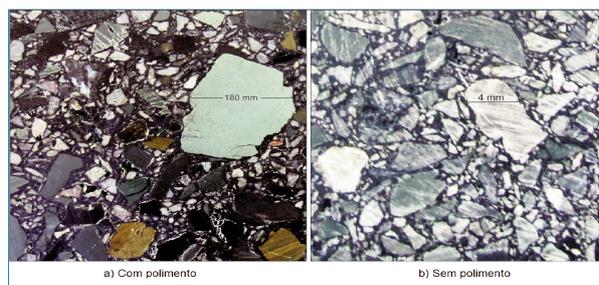


Figura 2: Imagem das amostras: Com polimento e sem polimento.

## Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o processamento digital de imagens (PDI)

Após os cortes e polimentos, foram capturadas imagens com uma câmera profissional de alta resolução de três seções principais da amostra como mostra na Figura 3, totalizando 36 imagens.

ção dos agregados da mistura, em que o usuário cria um arquivo (\*.txt) com duas colunas, a primeira contendo o tamanho dos agregados (mm), a segunda os valores de material passante nas peneiras (%).

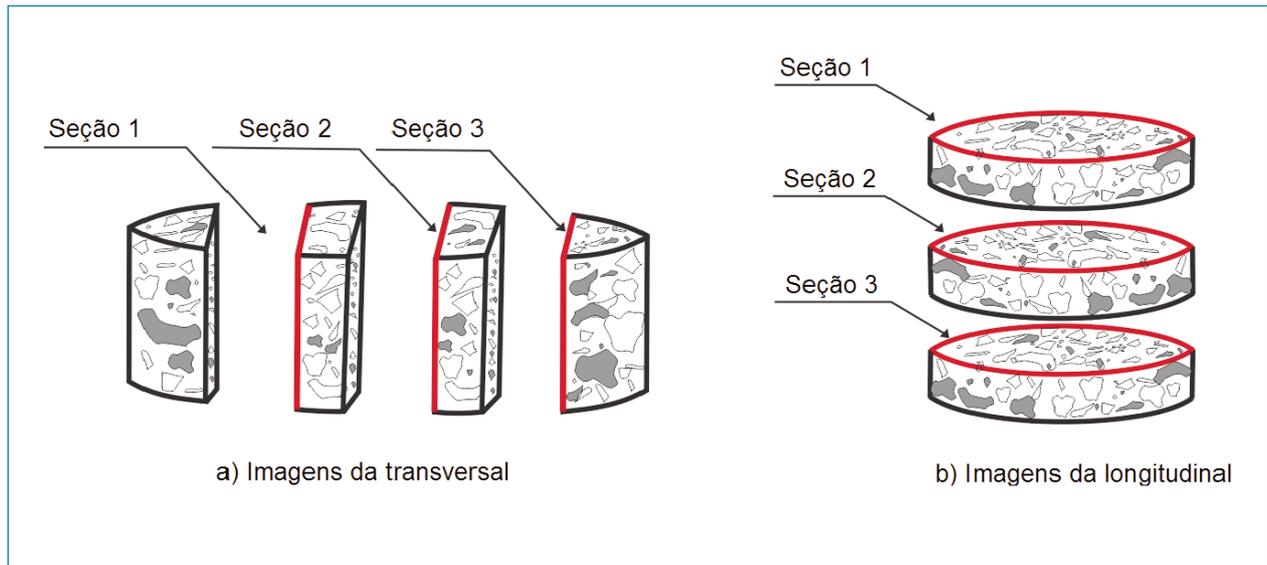


Figura 3 Seções principais.

Para a utilização do Image Processing & Analysis System – IPAS-2, foi necessário seguir algumas etapas que constavam no procedimento normatizado. A primeira etapa consistiu em inserir a imagem no programa, onde a imagem foi transformada automaticamente em escalas de cinza. Em seguida, foi determinada a resolução da imagem por meio de uma linha azul que o operador define uma distância real conhecida em milímetros. A partir disso, o software realiza a divisão da distância conhecida pela quantidade de pixels da imagem, computando a resolução em mm/pixels.

Com a resolução definida, é escolhida uma área retangular de interesse e o programa solicita informações volumétricas da mistura. Foram utilizados parâmetros volumétricos médios das misturas para efeito de comparação dos resultados,

Com a resolução definida, é escolhida uma área retangular de interesse e o programa solicita informações volumétricas da mistura. Foram utilizados parâmetros volumétricos médios das misturas para efeito de comparação dos resultados, como: Volume de vazios (4,8%), quantidade de ligante (5%), densidade dos agregados (2,7), densidade do ligante (1,004), tamanho mínimo dos agregados (1,18 mm), distância mínima entre agregados (0,1 mm) (Figura 4).

Outro parâmetro solicitado pelo programa é a gradua-

No passo seguinte, começam as aplicações de filtros para diferenciar os materiais na imagem, na aplicação dos três filtros (tamanho médio, H<sub>máx</sub>, Threshold) são escolhidos valores manualmente até que se chegue próximo à curva granulométrica do material.

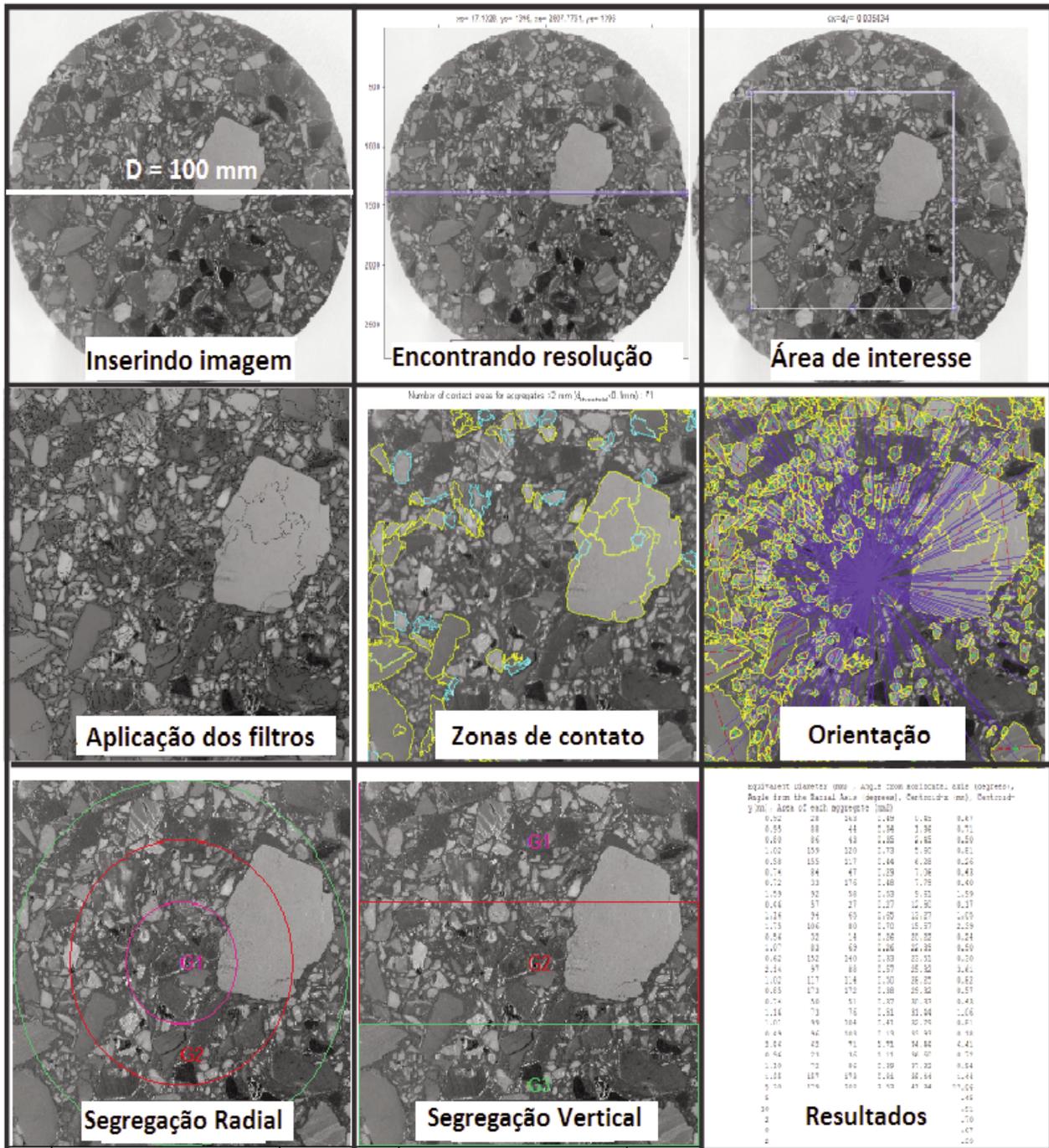
Após a aplicação dos filtros, é escolhido o tamanho mínimo do agregado pelo usuário sendo que os valores menores que o escolhido será ignorado pelo programa. Os valores escolhidos foram baseados em estudos anteriores (Safidmazgi, 2011).

Por fim, é escolhido o tipo de amostra para o cálculo da área considerando corpos sendo circulares ou retangulares.

Após todos os passos de tratamento de imagem e configuração das propriedades descritas, o programa é capaz de fornecer os seguintes parâmetros automaticamente: Perímetro de todos os agregados, áreas de contato, orientação dos contatos, orientação dos agregados (a partir da horizontal), segregação (vertical e horizontal).

O programa gera todas as tabelas automaticamente na mesma pasta onde contem a imagem, podendo ser aberta no Wordpad ou MS excel. A Figura 4 apresenta as principais etapas utilizadas na análise através do uso do IPAS-2.

Figura 4 Passos seguidos no iPas 2: (a) Inserindo a imagem, (b) Encontrando resolução, (c) Área de interesse, (d) Aplicação dos filtros, (e) Definição das zonas de contato, (f) Orientação das particuladas, (g) Áreas de segregação radial, (h) Áreas de segregação,



### 3. Resultados

#### 3.1 Mistura asfáltica

A avaliação do teor ótimo de cimento asfáltico foi realiza-

da por meio do método de dosagem Marshall. Os ensaios foram realizados com teor de asfalto de 5% em relação à massa total da mistura. Estabelecidas às percentagens de dos materiais, temperaturas de mistura e compactação, foi prepara uma quantidade suficiente de mistura CBUQ para ela-

# Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o precessamento digital de imagens (PDI)

Tabela 1. Resultado caracterização da mistura asfáltica (Modificado Obando, 2012)

Características	Resultado	Unidade
Porcentagem de agregados (Ps)	95	%
Porcentagem de cimento asfáltico	5	%
Densidade Bulk (Gmb)	2,404	(g/cm <sup>3</sup> )
Estabilidade Marshall	9751	N
Fluxo Marsahall	4,5	mm
Relação Estabilidade / Fluxo	2166	N/mm
Densidade Máxima medida Rice (Gmm)	2,529	(g/cm <sup>3</sup> )
Volume de vazios (%Vv)	4,93	%
Relação Betume/Vazios / %Vv)	82	%
Massa esocifica efetiva (Gse)	2,749	(g/cm <sup>3</sup> )
Porcentagem asfalto absorvido (Pba)	1,02	%
Teor de asfalto efetivo (Pbe)	4,03	%
Vazios do agregado mineral (%VAM)	14,59	%
Relação filer/ligante efetivo (RP)	2,23	---

borar todos os ensaios para determinação do teor ótimo de ligante asfáltico, apresentados na Tabela 1.

Como descrito na metodologia, os ensaios apresentados, foram realizados tendo como graduação inicial a Faixa granulométrica C. Com base nela foram calculadas as mudanças da curva granulométrica antes e após os processos de compactação através da metodologia estabelecida por Marsal e Resendiz (1975). g / cm<sup>3</sup>.

e a situação menos agressiva foi de compactação Superpave.

A Figura 5 apresenta de forma resumida a variação na porcentagem de material retido nas peneiras. A partir do gráfico conclui-se que para todas as compactações, os agregados sofreram quebra nas peneiras de maiores dimensões como a de 12,7 mm e 4,75.

Características	Resultadnidade
Placa Vidratória	24%
Supervave	18%
Marshall	28%

Tabela 2. Fator quebra de (Marsal et al., 1975)

A partir da Tabela 2, é possível observar que a compactação Marshall apresenta-se como sendo a mais agressiva em relação à quebra de partículas, seguida pela placa vibratória,

Os valores de quebra apresentados nesse capítulo, para a compactação Marshall, seguiram as observações apresentados por Gómez (2016).

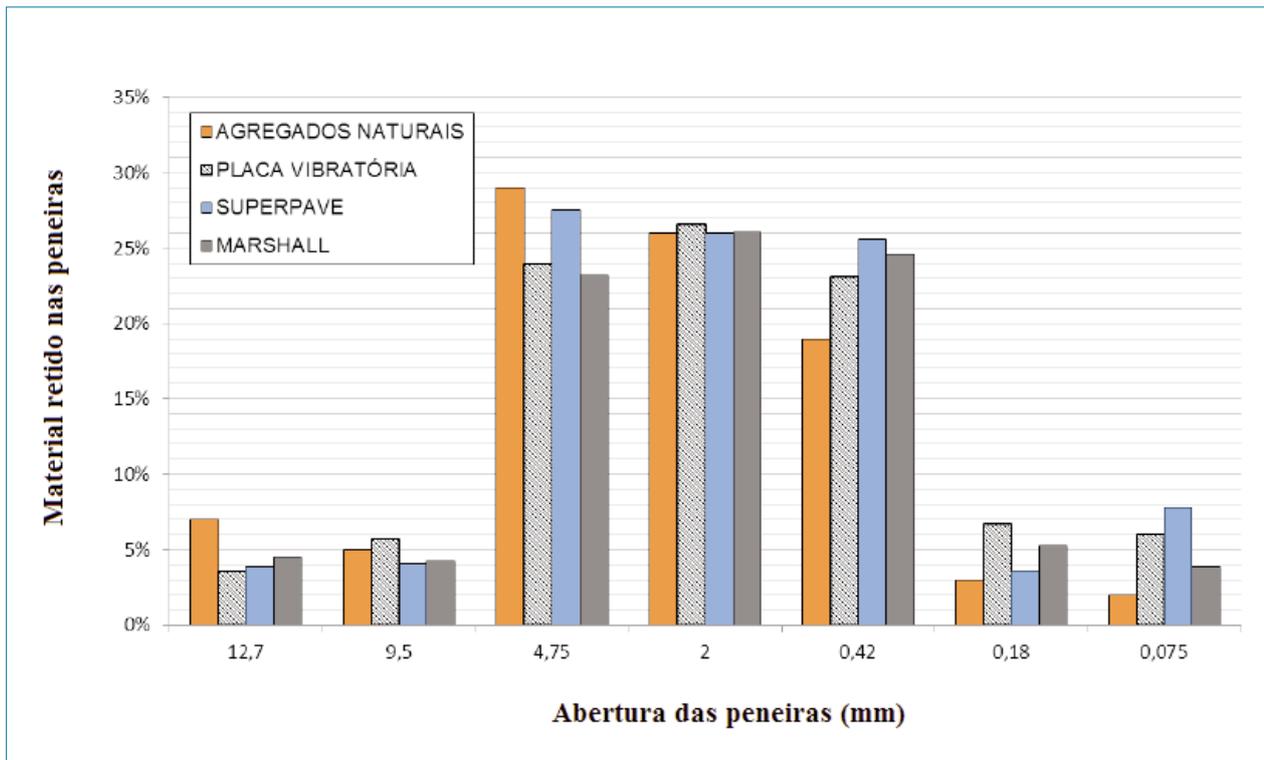


Figura 5: Gráfica de las curvas granulométricas de las mezclas de obra.

### 3.2 Caracterizações de forma, angularidade e textura superficial.

A utilização do equipamento AIMS possibilitou analisar com mais precisão as mudanças que ocorreram nos agregados antes e após as compactações por fração granulométrica, as análises e resultados se basearam nas observações feitas

por Bessa (2012) e nas classificações feitas por Al Rousan (2004) da Tabela 3.

### 3.3 Forma (agregados miúdos)

A forma 2D, ensaio realizado apenas nos agregados miúdos, está relacionado com a proximidade das partículas em

Tabela 3. Limites de classificação (Modificado Al Rousan, 2004)

Propiedade	Valores-Limite / Classificação				
<b>Forma 2D</b>	< 6,5 Circular	6,5 - 8,0 Semicircular	8,0 - 10,5 Semialongado	> 10,5 Alongado	- -
<b>Esfericidade</b>	< 60,6 Achatado/Alongado	0,6 - 0,7 Baixa esfericidade	0,7 - 0,8 Esfericidade moderada	> 0,8 Alta esfericidade	- -
<b>Angularidade</b>	< 2100 Arredondado	2100 - 4000 Subarredondado	4000 - 5400 Subangular	> 5400 Angular	- -
<b>Textura Superficial</b>	< 165 Polido	165 - 275 Macio	275 - 350 Baixa rugosidade	350 - 460 Rugosidade moderada	> 460 Alta rugosidade

# Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o precessamento digital de imagens (PDI)

forma de um círculo. Quanto mais o valor de forma se aproxima de 0, mais circular a partícula será. A classificação dos agregados em estado natural foi, no geral, como sendo alongado, considerando que apenas os agregados retidos nas peneiras #50 e #100 apresentaram valores menores do que 8, que são semicirculares.

Após as compactações Marshall e Superpave, as formas dos agregados passaram a ser classificadas como sendo semicircular para todas as frações com exceção dos agregados mais finos retidos na peneira #200.

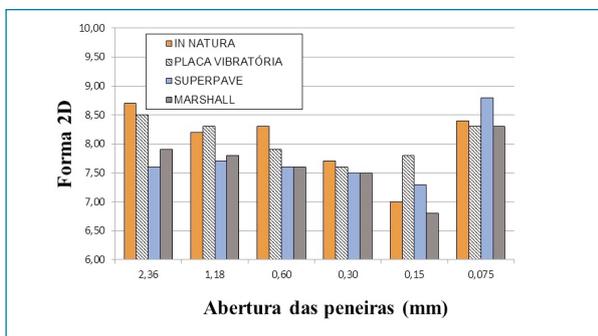


Figura 6: Resumo dos valores de forma para toda as compactações

A partir da Figura 6, é possível observar que os agregados até a peneira #50 (0,3mm), de modo geral, passaram a ser mais circulares após as compactações.

A partir dos valores apresentados de forma 2D, conclui-se que, de uma forma geral, os agregados inicialmente caracterizados como semialongados passam a ser caracterizado como semicirculares após qualquer tipo de compactação, provavelmente devido à quebra das partículas alongadas durante a aplicação dos diferentes tipos de compactação.

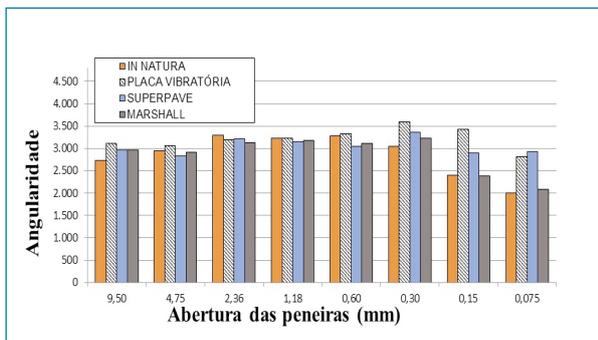


Figura 7 Resumo dos valores de angularidade para toda as compactações.

### 3.4 Angularidade (agregados graúdos e miúdos)

A angularidade, que é o grau de agudez dos cantos de uma partícula, podendo variar de 0 a 10.000, sendo que valores próximos de 0, a partícula apresenta forma de um círculo perfeito. A caracterização dos agregados em estado natural foi, de forma geral, subarredondados. Após as compactações os agregados não apresentaram novas classificações de angularidade, a pesar de apresentar valores de angularidade mais elevados nos agregados de menores tamanhos, retido nas peneiras #50, #100 e #200.

A partir da Figura 7, é possível observar que a grande variação de angularidade apenas nos agregados de menores dimensões. Os valores médios e parâmetros estatísticos para todas as frações analisadas no AIMS. Os valores de média aritmética são calculados a partir de todos os valores de cada agregado da amostra. A partir dos valores apresentados de angularidade, conclui-se de uma maneira geral que, as compactações Superpave e placa vibratória apresentam agregados com valores mais angulares, o que representa estruturas de pavimento com o esqueleto mineral mais resistente, uma vez que, o intertravamento das partículas será elevado.

### 3.5 Textura superficial

Foram obtidos gráficos apenas de duas frações de agregados, uma vez que são as únicas frações que a mistura obtinha de agregados graúdos. A caracterização dos agregados em estado natural foi, em geral, como sendo de rugosidade moderada. Após as compactações os agregados passaram a ser classificados com baixa rugosidade.

A partir dos resultados apresentados na Figura 8, é possível observar que a compactação Superpave foi a que menos

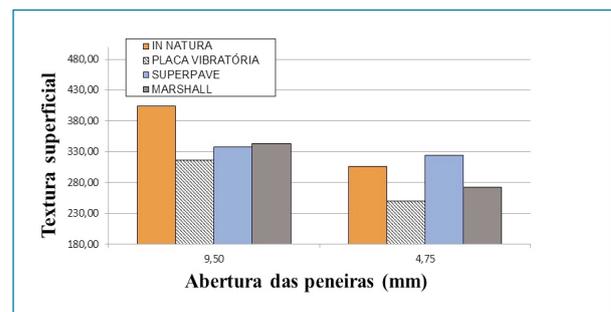


Figura 8: Resumo da textura de todas as compactações

influenciou na mudança da textura superficial dos agregados, concluindo-se que é a compactação que mais se aproxima dos valores dos agregados naturais. Os valores de média aritmética são calculados a partir de todos os valores de cada agregado da amostra.

A partir dos valores apresentados no AIMS de textura superficial, conclui-se que provavelmente devido aos efeitos gerados pelo compactador Marshall e pela placa vibratória, tendem a deixar os agregados mais lisos, influenciando no atrito entre partículas e na ligação entre agregado e ligante asfáltico, o que pode diminuir o desempenho do pavimento, causando deformações permanentes.

A diminuição nos valores de textura superficial, também podem ser atribuídos com a camada de ligante que permanece no agregado, devida ao preenchimento dos vazios, após retirada do ligante no equipamento Rotarex.

### 3.6 Análise da estrutura interna utilizando o IPAS 2

A análise da estrutura interna foi realizada conforme as observações e análises feitas por (Safidmazgi, 2011). A apre-

grupos como mostra a Figura 9.

Os grupos de segregação foram divididos radialmente e verticalmente, representado por quantidade de agregados com dimensões iguais em cada grupo da imagem (G1, G2 e G3). Para efeito de comparação, os gráficos de segregação serão apresentados com suas respectivas cores e comparados com as amostras realizadas em campo, representado pela cor cinza como valor de referência.

A exemplo da compactação Marshall apresentada na Tabela 4, a caracterização a partir das zonas de contatos dos quais são: número de zonas de contato, somatório do comprimento das zonas de contato, ângulo médio da orientação das zonas de contato (AAA), vetor magnitude que pode variar de 0 a 100,  $\Delta=0$  significa que a orientação das partículas é completamente diferente, enquanto que  $\Delta=100$  todos os agregados se organizaram na mesma direção, por fim, os valores apresentados foram calculados em função da média aritmética de cada mistura, que no caso, foram seis imagens para cada tipo de seção.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4, é possível observar que os valores obtidos na compactação Mars-

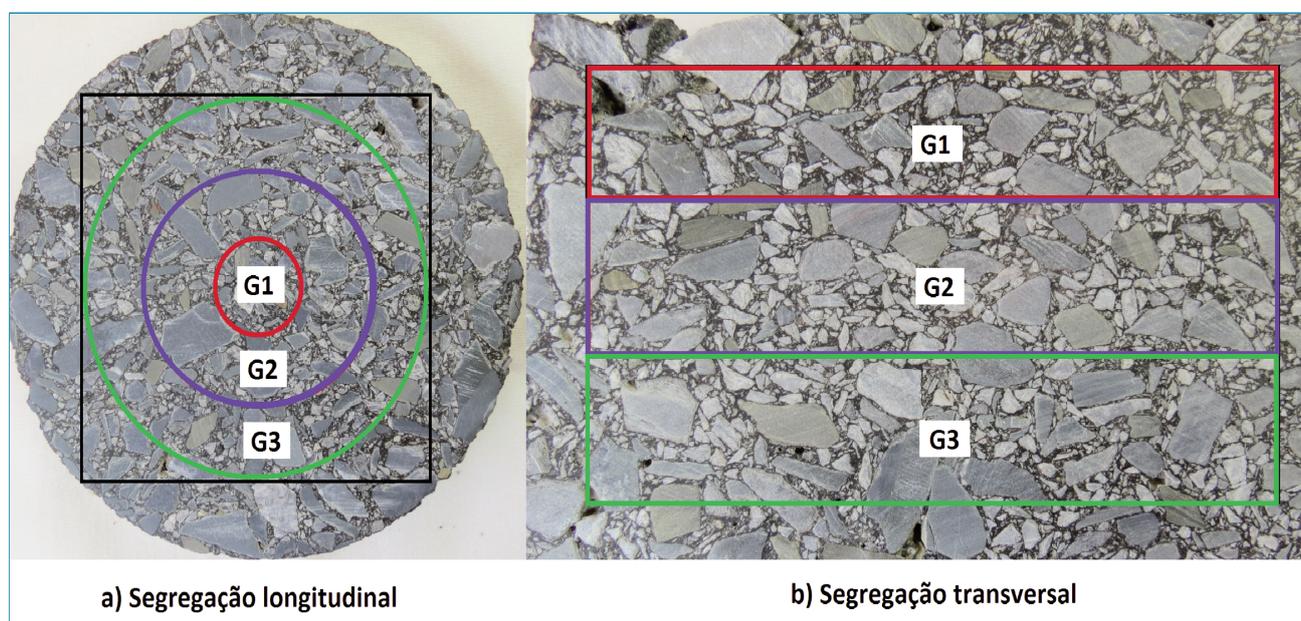


Figura 9: Grupos de segregação (Modificada, tutorial IPAS 2).

sentação dos resultados foi organizada por tipo de compactação, onde serão apresentadas tabelas com valores calculados a partir dos resultados do IPAS 2, e os gráficos de segregação tanto na longitudinal como na transversal, separados por

hall apresentaram 889 zonas de contato na transversal a mais do que a feita em campo. Concluindo-se que a compactação Marshall tem uma formação do esqueleto mais distribuída, o que indica uma maior eficiência na capacidade de transferên-

## Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o precessamento digital de imagens (PDI)

cia de cargas. A eficiência da transferência de carga também é representada como a média do ângulo absoluto da orientação das zonas de contato (AAA), valores próximos de 90° graus, que no caso não apresentou grande variação. Os resultados de vetor magnitude apresentaram valores baixos, indicando uma maior anisotropia da mistura, ou seja, as partículas estão de forma aleatória com respeito às faces analisadas. Os valores apresentados seguiram as observações feitas por (Safidmazgi, 2011).

Os valores apresentados a seguir são divididos por grupos de segregação, os valores das colunas de cor cinza, são os valores obtidos pelas amostras moldadas em campo, os valores coloridos são para o tipo de compactação analisada, que para as Figuras 10 e 11 são para a compactação Marshall.

A partir da Figura 10 é possível observar uma diminuição na quantidade de agregados de menor dimensão nos grupos, provavelmente devido a perda de finos na extração do-

Tabela 4. Estrutura interna da compactação Marshall x Placa vibratória

Dist. Mínima entre as superfícies dos agregados examinados = 0.1 mm						
Tamanho mínimo dos agregados examinados = 1.18 mm						
		Nº de Z.C.	Comp. Total das Z.C (mm)	AAA (°)	AC	CV (AC)
Compactação placa vibratória	Sessões longitudinais	1.044	1.088	73,7	9,94%	22,52%
	Sessões transversais	816	1.068	77,0	13,09%	36,54%
Compactação placa vibratória	Sessões longitudinais	1.036	1.132	73,6	5,42%	27,26%
	Sessões transversais	1.705	2.101	77,7	15,17%	34,59%

Z.C. = Zonas de contato; AAA (°) Média do ângulo; Δc Vector magnitude

Os resultados de vetor magnitude apresentaram valores baixos, indicando uma maior anisotropia da mistura, ou seja, as partículas estão de forma aleatória com respeito às faces analisadas.

ligante, como já mencionado em itens anteriores. Porém, o comportamento das colunas, indica um comportamento parecido, ou seja, a quantidade de agregados de mesma dimensão se encontra em porcentagens parecidas.

A partir dos valores de segregação apresentados por gru-

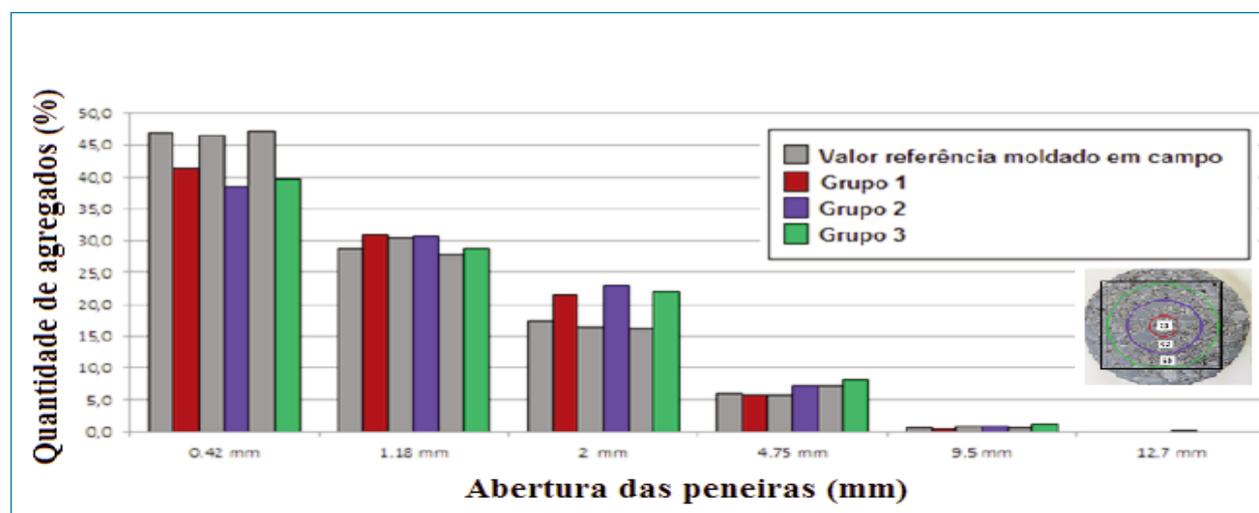


Figura 10: Segregação radial (Marshall x Placa vibratória)

pos, tanto nos cortes longitudinais como nos cortes transversais (Figura 10 e 11), é possível concluir que as amostras não tiveram segregação e apresentaram comportamentos parecidos em relação à distribuição da compactação feita em campo, apesar de quantidade de agregados por grupo ser diferenciada, devido à quantidade de agregados por fração granulométrica, também ser diferenciada.

se de escolha de materiais para o pavimento, uma vez que, agregados com valores elevados de forma, caracterizados como alongados, irão sofrer variação de forma durante a compactação passando a ser mais circulares, que por sua vez, modifica a curva granulométrica inicialmente especificada.

Os valores de angularidade das misturas asfálticas tendem a aumentar após as compactações, concluindo-se que

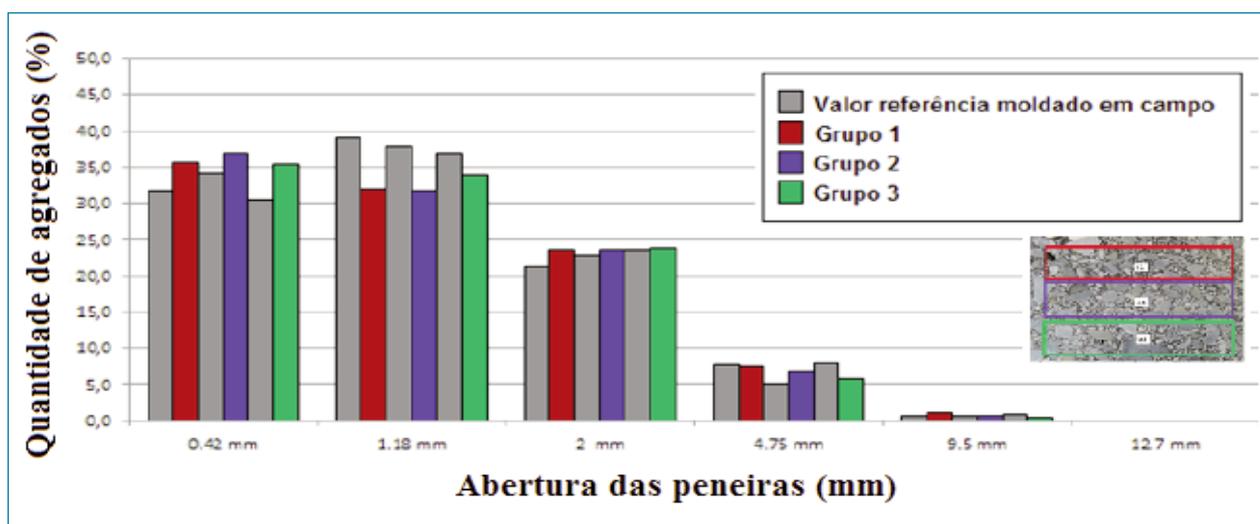


Figura 11: Segregação vertical (Marshall x Placa vibratória)

#### 4. Conclusões

**Quebra das partículas após compactação:** A partir dos resultados obtidos de quebra dos agregados, é possível concluir que a compactação Marshall é a mais nociva em relação às compactações analisadas, a nova metodologia proposta pelo programa SHRP que resultou na modelagem dos corpos de prova por amassamento (Superpave), apresentaram valores mais próximos dos agregados em estado natural, tendo a maior representatividade dos materiais especificados em fase de projeto. Caso o uso da metodologia Marshall continue sendo usada, sugere-se uma modificação da curva granulométrica, prevendo a quebra de partículas, a fim de manter as características da mistura, e por consequência, manter comportamentos previstos na fase de dimensionamento do pavimento.

**Forma, angularidade e textura superficial:** Parâmetros como Forma 2D, devem ser levados em consideração na fa-

agregados com características de angularidade baixa, podem vir a apresentar valores de angularidade satisfatória após os processos de compactação, melhorando o intertravamento dos agregados, influenciando na resistência à deformação permanente das misturas asfálticas.

**Estrutura interna das misturas asfálticas:** Os valores de quantidade de zonas de contato apresentaram valores iguais para as compactações Superpave e Marshall, em relação à realizada em campo (placa vibratória), concluindo-se que para as duas metodologias, a estruturação interna da mistura apresenta valores satisfatórios.

As compactações apresentaram valores satisfatórios com respeito à segregação da mistura, apresentando a mesma quantidade de partículas de mesma dimensão por grupo de imagem na mistura. Apesar de a compactação Marshall apresentar valores diferenciados de quantidade de agregados por grupo de segregação, devido à provavelmente quebra das partículas, o comportamento do gráfico continua parecido,

# Influência da compactação em misturas asfálticas utilizando o processamento digital de imagens (PDI)

não podendo concluir qual compactação melhor representa as empregadas em campo.

Como conclusão principal do trabalho, as compactações têm influencia maior na forma, angularidade e textura superficial das partículas, tendo grande ocorrência de quebra devido aos tipos de compactação aplicados nos agregados. Quanto à organização do esqueleto mineral, as misturas não apresentaram grandes variações, comparado com amostra feita em campo. De uma forma geral a compactação Superpave representa com mais precisão as amostras moldadas em campo, pelo fato de não apresentar grandes variações em relação à forma dos agregados em estado natural.

## 5. Referências bibliográficas

- [1] AASHTO T 312 (2016) Preparing Hot-Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the Superpave Gyratory Compactor.
- [2] Al Rousan, T. M. (2004) Characterization of Aggregate Shape Properties Using a Computer Automated System. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil, Texas A&M University, College Station, Texas, USA, 211 p.
- [3] Bessa, I.S. (2012). Avaliação do processamento digital de imagens como ferramenta para caracterização de agregados e misturas asfálticas. Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnología, Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil, 154p.
- [4] DNER – ME 043/95: Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall.
- [5] DNER-ME 053/94. Misturas betuminosas - Percentagem de betume.
- [6] DNIT 031/2006: Pavimentos flexíveis concreto asfáltico – Especificação de Serviço.
- [6] Gómez, A.M. J. (2011). Estudo Experimental de um Resíduo de Construção e Demolição (RCD) Para Utilização Em Pavimentação. Dissertação de Mestrado, Publicação G. DM-196/11, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123p.
- [7] Gómez, A.M. J. (2016). Comportamento Mecânico de um Agregado Reciclado a Partir de Resíduos de Construção e Demolição Submetido a Carregamentos.
- [8] Harman, T., Bukowski, J.R., Moutier, F., Huber, G. Mcgennis, R. (2002). The history and future challenges of gyratory compaction 1939 to 2001. Annual meeting of the transportation research board, Washington, USA, 81 p.
- [9] Iwama, M. (2009). Influence of Specimen Size and Orientation on the Mechanical Properties of Laboratory Compacted Asphalt Specimens. Dissertação de Mestrado, Department of Civil Engineering Nottingham Transportation Centre, The University of Nottingham, Nottingham, UK, 249 p.
- [10] Moura, E. Estudo de deformação permanente em trilha de roda de misturas asfálticas em pista e em laboratório. ed.rev. – São Paulo, 2010.
- [11] Safidmazgi, N. R. (2011) Defining effective aggregate skeleton in asphalt mixture using digital imaging. Dissertação de Mestrado. Departamento de engenharia e meio ambiente, University of Wisconsin, Madison, 87 pg.
- [12] Vasconcelos, K.L. (2004). Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas a Quente Dosadas pelas Metodologias Marshall e Superpave com Diferentes Granulometrias. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 149 fl.