

# Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Departamento de Engenharia Civil

**ESTUDOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS  
DE MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS COM  
MATERIAIS FRESADOS: ESTUDO DE CASO - BR-230**

**EMERSON PEREIRA DE SANTANA**

**Campina Grande**  
**Data: MARÇO / 2009**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE  
ÁREA GEOTÉCNICA**

**ESTUDOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS  
RECICLADAS COM MATERIAIS FRESADOS: ESTUDO DE CASO - BR-230**

**Por:**  
EMERSON PEREIRA DE SANTANA

Dissertação apresentada ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande-PB, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

Campina Grande – Paraíba  
Março de 2009

**EMERSON PEREIRA DE SANTANA**

Dissertação apresentada ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da  
Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande-PB, como parte dos  
requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

Área de Concentração – Geotécnica

Prof. Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues  
Orientador

Campina Grande – Paraíba  
Março de 2009



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

S232e

2009 Santana, Emerson Pereira de.

Estudos das propriedades físicas e mecânicas de misturas asfálticas recicladas com materiais fresados: estudo de casos – BR-230 / Emerson Pereira de Santana. – Campina Grande, 2009.

79f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientador: Prof. Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues.

1. Reciclagem. 2. Reaproveitamento. 3. Pavimentação. I. Título.

CDU – 625.85(043)

## FOLHA DE APROVAÇÃO

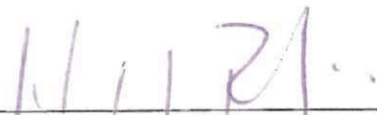
Autor: Emerson Pereira de Santana

Título: ESTUDOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE MISTURAS  
ASFÁLTICAS RECICLADAS COM MATERIAIS FRESADOS: ESTUDO DE CASO - BR-230

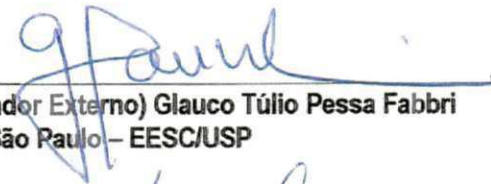
Dissertação Defendida e Aprovada em: 03/09/2009

Pela Banca Examinadora


(Assinatura):

  
Prof. Dr. (Orientador) John Kennedy Guedes Rodrigues  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/DEC

(Assinatura):

  
Prof. Dr. (Examinador Externo) Glauco Túlio Pessa Fabbri  
Universidade de São Paulo – EESC/USP

(Assinatura):

  
Prof. Dr. (Examinador Externo) Ricardo de Almeida Melo  
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

(Assinatura):

  
Prof. Dr. (Examinador Interno) Adriano Elisio de Figueiredo Lopes Lucena  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

## DEDICATÓRIA

A Deus ao o qual nós damos graças por tudo que temos.  
Ao meu pai, Gerson Reis Bezerra de Santana.  
À minha noiva, Edna Freitas Ferreira.

## AGRADECIMENTOS

A minha mãe, meus irmãos e meu Tio Cícero Pereira, pelo exemplo de vida.  
Ao Professor Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues pelo direcionamento e orientação desta  
pesquisa, pelo  
Empenho, atenção e compreensão nas horas mais difíceis.  
À ATECEL que forneceu equipamentos e recursos para o desenvolvimento do trabalho.  
Ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da UFCG e a Coordenação de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil e Ambiental.  
A professora Dra. Veruschka Escarião Dessoles Monteiro pelo auxílio da minha formação.  
Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP)  
Ao CNPQ pela bolsa de estudo concedida  
À coordenação do Curso de Graduação em Engenharia civil.  
Aos alunos do Departamento de Engenharia de Civil, em especial,  
Leda Christiane de Figueiredo Lopes Lucena e Hosana Emilia  
Aos amigos: Hélio Carlos Ferreira e Lucia Freitas Ferreira.  
Aos funcionários da área de Geotecnia.  
Aos funcionários da ATECEL, Marcos, Lelé, Mano, Eugeniano e Eliane.

## RESUMO

A reciclagem de um pavimento visa reaproveitar os materiais e poupar os recursos naturais, se possível, melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais. Dentre as propriedades destacam-se: a resistência à ruptura por carregamento estático, a resistência à fadiga por carregamento repetido, e a resistência à ação das intempéries e ação das águas. Ao mesmo tempo, a técnica de reciclagem "in situ" em concretos asfálticos viabiliza a utilização de materiais fresados evitando, dessa forma, a disposição inadequada diminuindo o impacto ambiental. O objetivo deste trabalho foi de estudar o comportamento físico e mecânico de misturas asfálticas contendo materiais fresados, considerando seu aproveitamento para as camadas de binder e/ou de rolamento, de forma a estabelecer o teor adequado de material fresado a fazer parte da composição de concretos asfálticos. Foram feitos ensaios utilizando o método empírico para em seguida serem feitas as devidas comparações com o método teórico (Asphalt Institute). As atividades inerentes à fase experimental foram divididas em duas etapas: estudos das propriedades físicas dos materiais que compunham a mistura, e estudos das propriedades mecânicas das misturas asfálticas padrão e recicladas. Ensaios de Granulometria, de Extração de Ligante, Marshall, de Resistência à Tração Indireta por Compressão Diametral, Lottman Modificado (Relação da Resistência a Tração) e de Módulo de Resiliência foram realizados. Considerando as limitações deste estudo de caso, específico para os materiais e proporções adotadas, pode-se inferir que: "as misturas recicladas mais adequadas para serem usadas como camada de rolamento de pavimento flexíveis foram as que tinham em sua composição 10% e 30% de material fresado, e 3% de filer (cal). Estas apresentaram propriedades físicas e mecânicas compatíveis com as exigências preconizadas pelo DNIT e pela AASHTO.

Palavras Chave: Reciclagem, Reaproveitamento, Pavimentação.



## **ABSTRACT**

The recycling of a pavement aims at to reconstitute the original physical and mechanical properties of the Reclaimed Asphalt Pavement and, if possible, to improve them. Amongst the properties stands out: the breaking resistance by static shipment, the fatigue resistance by repeated chargement, and the resistance to the action of bad weathers and action of waters. At the same time, the recycling technique "in situ" in hot mix asphalt makes possible the use of Reclaimed Asphalt Pavement preventing, the inadequate disposal diminishing the ambiental impact. The objective of this work was to study the physical and mechanical behavior of asphalt mixtures containing Reclaimed Asphalt Pavement, considering its utilization for the layers of binder and/or riding surface, as a way to establish the adequate content of Reclaimed Asphalt Pavement to make part of the composition of asphalt. The inherent activities to the experimental phase had been divided in two stages: studies of the physical properties of the materials that composed the mixture, and studies of the mechanical properties of the asphalt mixtures standard and recycled. Test of Granulometria, Extration of Asphalt, Marshall, Indirect Tensile strenght for Diametrical Compression, Lottman Modified and of Module of Resilience had been carried through. Considering the limitations of this study of case, specific for the materials and adopted ratios, it can be inferred that: "the recycled mixtures more adjusted to be used as layer of rolling for flexible pavement had been the ones that had in its composition 10% and 30% of Reclaimed Asphalt Pavement, and 3% of filler (lime)." These had presented compatible physical and mechanical properties with the requirements praised for the DNIT and the AASHTO.

**Keywords:** Reclaimed Asphalt Pavement, Mechanical Behavior, Pavement.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Modelo de micelas de Yen (1991) [Fonte: Bernucci, 2008].....	19
Figura 2.2 - Layout da Lei da Potência [Fonte: Leite, (1999)] .....	22
Figura 2.3 - Esquema de reciclagem in situ [Fonte: Fonseca, 2002] .....	30
Figura 2.4 - Reciclagem a frio in situ, onde a emulsão betuminosa [Fonte: Araújo, 2007].....	30
Figura 2.5 – Fresagem “in situ” de camada asfáltica [Fonte: www.fresar.com.br].....	35
Figura 3.1 -Material Fresado utilizado na pesquisa .....	38
Figura 3.2 - CAP 50-70 utilizado na pesquisa.....	39
Figura 3.3 – Filer utilizado na pesquisa .....	39
Figura 3.4 - Pó de Pedra utilizada na pesquisa.....	40
Figura 3.5 - Pedrisco utilizado na pesquisa .....	40
Figura 3.6 - Brita 19 utilizada na pesquisa .....	41
Figura 3.7 – Extrator de asfalto utilizado (Rotarex) .....	42
Figura 3.8 - Equipamentos utilizados para realização da compactação dos corpos-de-prova (a) Compactador (b) Corpo-de-prova (c) Soquete + Cilindro .....	43
Figura 3.9 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio Marshall (a) Prensa (b) Molde (c) Prensa + Molde..	44
Figura 3.10 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de tração indireta (a) Banho Maria (b) Pórtico de Lottman (c) Bomba de vácuo .....	45
Figura 3.11 - Equipamento utilizado para realização do ensaio de módulo de resiliência .....	48
Figura 3.12 – Programa utilizado para realização do ensaio de módulo de resiliência .....	49
Figura 3.13 – Programa utilizado para o processamento dos dados e cálculo do MR.....	49
Figura 4.1 – Distribuição dos tamanhos das partículas para Mistura Padrão.....	54
Figura 4.2 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada sem filer [10% de Material fresado].....	55
Figura 4.3 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada sem filer [30% de Material fresado].....	55
Figura 4.4 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada sem filer [50% de Material fresado].....	56
Figura 4.5 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada sem filer [75% de Material fresado].....	56
Figura 4.6 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada sem filer [100% de Material fresado].....	57
Figura 4.7 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada com filer [10% de Material fresado].....	57
Figura 4.8 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada com filer [30% de Material fresado].....	58
Figura 4.9 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada com filer [50% de Material fresado].....	58
Figura 4.10 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada com filer [75% de Material fresado].....	59
Figura 4.11 – Volume de vazios em função do incremento percentual de material fresado.....	60

<b>Figura 3.12 – Relação betume/vazios em função incremento do percentual de material fresado.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 3.13 – Estabilidade Marshall em função do incremento percentual de material fresado .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 3.14 – Resistência a Tração Indireta por Compressão Diametral .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 3.15 - Relação da Resistência a Tração - Lottman Modificado.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 3.16 – Módulos de Resiliência – Mistura Padrão e Misturas Recicladas .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 3.17 – relação a Resistência a Tração e o de Módulo de Resiliência.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 3.18 – Relação entre o Módulo de Resiliência médio e Módulo de Resiliência Instantâneo .....</b>	<b>68</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Propriedades físicas, químicas e mecânicas de rochas [Fonte:(ROBERT et al., 1996)] .....	7
Quadro 2.2 - Propriedades físicas e mecânicas de rochas desejáveis para o emprego no CBUQ [Fonte:(ROBERT et al., 1996)].....	8
Quadro 2.3 - Normas brasileiras utilizadas para obtenção das propriedades mecânicas, físicas e químicas de agregados.....	10
Quadro 3.1 – Denominações e quantitativos relacionados aos corpos-de-prova utilizados para a realização do ensaio Marshall.....	44
Quadro 3.2 - Descrição e quantitativos dos Corpos-de-prova moldados para o ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral.....	45
Quadro 3.3 – Denominações e quantitativos relacionados aos corpos-de-prova utilizados para a realização do ensaio de Lottman Modificado.....	46
Quadro 3.4 - Descrição e quantitativos dos corpos-de-prova utilizados para realização dos ensaios de MR.....	48
Quadro 4.1 – Resultados da dosagem Marshall para Mistura Padrão.....	54
Quadro 4.2 – Parâmetros obtidos com o auxílio do Ensaio Marshall - Mistura Padrão e Misturas Recicladas .....	60
Quadro 4.3 – Módulos de Resiliência – Mistura Padrão e Misturas Recicladas.....	66
Quadro 4.4 – Método de dosagem de mistura asfáltica reciclada do <i>Asphalt Institute</i> e dosagem empírica .....	68

## LISTA DE FLUXOGRAMA

Fluxograma 3.1 - Seqüência de atividades e dos ensaios realizados na pesquisa .....	37
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Ensaio e normas utilizadas nesta etapa de pesquisa .....	42
Tabela 3.2 - Normas dos ensaios de caracterização física das amostras de CAP.....	42
Tabela 4.1 – teor de CAP extraído do material reciclado.....	53
Tabela 4.2 – Massa específica dos agregados utilizados na pesquisa .....	53
Tabela 4.3 – Resultados dos ensaios de Resistência a Tração Indireta por Compressão Diametral.....	62
Tabela 4.4 – Relação da Resistência a Tração – Lottman Modificado.....	63
Tabela 4.5 – Módulos de Resiliência – Mistura Padrão e Misturas Recicladas.....	65

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AR	Agente Rejuvenecedor
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
DC	Deformação controlada
DERSA-SP	Desenvolvimento Rodoviário S.A.
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
DMT	Densidade Máxima Teórica
LUBNOR	Lubrificantes do Nordeste
MR	Módulo de Resilência
PAV	Pressure Aging Vessel
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
PMF	Pré-Misturado a Frio
RBV	Relação Betume-Vazios
RT	Resistência à Tração
SHRP	Strategic Highway Research Program
SUPERPAVE	Superior Performance Asphalt Pavements
USACE	United States Army Corps of Engineers
VAM	Vazios no Agregado Mineral
Vv	Volume de Vazios

## SUMÁRIO

CAPITULO 1.....	1
1 - INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - OBJETIVO.....	1
1.1.1 - Objetivos específicos.....	2
1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	2
CAPÍTULO 2.....	3
2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1 - AGREGADOS .....	3
2.2 - AGREGADOS UTILIZADOS NA PAVIMENTAÇÃO .....	6
2.3 - Propriedades físicas dos agregados .....	11
2.3.1 - Expansão.....	11
2.3.2 - Distribuição granulométrica.....	11
2.3.3 - Forma da partícula e textura superficial .....	11
2.3.4 - Adesividade (sistema CAP versus agregado).....	12
2.3.5 - Durabilidade e Sanidade.....	13
2.3.6 - Limpeza e materiais deletérios .....	14
2.3.7 - Porosidade e absorção .....	15
2.3.8 - Polimento e características de atrito.....	15
2.3.9 - Tenacidade, resistência abrasiva e dureza .....	16
2.4 - MATERIAIS ASFÁLTICOS.....	16
2.4.1 - Obtenção e tipos de materiais asfálticos.....	17
2.4.2 - Tipos e Aplicações do Asfalto de Petróleo .....	17
2.4.3 - Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP.....	17
2.4.4 - Especificações .....	18
2.4.5 - Composição Química do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) .....	18
2.4.6 - Propriedades do Cimento Asfáltico de Petróleo .....	20
2.4.7 - Propriedades físico-químicas do asfalto .....	21
2.4.8 - Propriedade Reológicas do asfalto.....	21
2.5 - MISTURAS ASFÁLTICAS .....	22
2.5.1 - Misturas de graduação densas.....	23
2.5.2 - Misturas de graduação abertas .....	24
2.5.3 - SMA - Stone Matrix Asphalt .....	24
2.5.4 - PMF – Pré-misturado a frio.....	26
2.6 - RECICLAGEM DE PAVIMENTOS .....	27
2.6.1 - Reciclagem a frio .....	28
2.6.2 - Reciclagem a frio in-situ .....	29
2.6.3 - Reciclagem a quente.....	30



2.6.4 - Reciclagem a quente "in situ" .....	32
2.6.5 - Reciclagem de camadas do pavimento.....	33
2.7 - DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS.....	33
2.8 - TIPOS DE FRESAGENS.....	35
2.8.1 - Fresagem Fina .....	35
2.8.2 - Fresagem de Pequeno Porte.....	35
2.8.3 - Fresagem de Médio Porte.....	36
2.8.4 - Fresagem de Grande porte.....	36
CAPÍTULO 2.....	37
3 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	37
3.1 - MATERIAIS.....	38
3.1.1 - Material Fresado.....	38
3.1.2 - Cimento Asfáltico de Petróleo .....	38
3.1.3 - Filler .....	39
3.1.4 - Pó de Pedra.....	39
3.1.5 - Cascalho.....	40
3.1.6 - Brita 19.....	40
3.2 - MÉTODOS.....	41
3.2.1 - Estudo das Propriedades Físicas dos Materiais .....	41
3.2.2 - Estudo das propriedades mecânicas das misturas asfálticas.....	43
CAPÍTULO 4.....	52
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52
4.1 - Estudo das Propriedades Físicas dos Materiais .....	52
4.1.1 - Extração do CAP.....	52
4.1.2 - Determinação da massa específica dos agregados .....	53
4.1.3 - Massa específica real e aparente dos agregados .....	53
4.1.4 - Distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados das misturas asfálticas.....	53
4.2 - Estudo das propriedades mecânicas das misturas asfálticas.....	59
4.3 - Ensaio Marshall .....	59
4.4 - Ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral.....	61
4.5 - Ensaio de Lottman Modificado .....	63
4.6 - Ensaio de Módulo de Resiliência .....	64
4.7 - teor de CAP para misturas recicladas (Método teórico - Asphalt Institute).....	68
5 - CONCLUSÕES .....	69
6 - SUGESTÕES .....	70
7 - REFERÊNCIAS.....	72
8 - ANEXOS.....	79

## CAPITULO 1

### 1 - INTRODUÇÃO

Consenso entre os pesquisadores, a reciclagem de camadas de pavimentos é uma das alternativas para a restauração de pavimentos próximos do final de sua vida útil, consistindo em um procedimento de aproveitamento de materiais que constituem as camadas de pavimento, principalmente a camada de revestimento e cujas propriedades fundamentais, rigidez, adesividade, etc., não atendem mais às exigências das especificações.

O objetivo da reciclagem de um pavimento é restituir as propriedades originais do material que se fresa e, se possível, melhorá-las. Estas propriedades são basicamente: a resistência mecânica, resistência ruptura e a resistência à ação das intempéries e da ação das águas. A reciclagem das camadas constituídas de material asfáltico permite não só dar uma resposta adequada ao problema cada vez maior de escassez de agregados como também às exigências ambientais em termos de depósito de resíduos provenientes da fresagem de pavimentos.

No Brasil, a inexistência de especificações técnicas para execução de serviços de restauração de pavimentos contemplando a reciclagem "in situ" da camada de rolamento, tem impedido na prática a elaboração de projetos e a conseqüente adoção de medidas desse tipo pelos órgãos públicos responsáveis pela manutenção das rodovias em nosso país.

Um aspecto importante a ser destacado nesse contexto é o fato de que as obras rodoviárias geram grandes quantidades de material fresado quando ocorre a restauração dos pavimentos. Nesse sentido, a técnica de reciclagem "in situ" viabiliza a reutilização desse material evitando, dessa forma, uma maior agressão ao meio ambiente.

#### 1.1 - OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento físico e mecânico de misturas asfálticas contendo materiais fresados, oriundos de trechos da BR-230, Estado da Paraíba, considerando seu aproveitamento para as camadas de binder e/ou de rolamento, de forma a estabelecer o teor adequado de material fresado a fazer parte da composição da mistura.

### 1.1.1 - Objetivos específicos

- verificar a influência da adição do filer (cal) nas misturas asfálticas recicladas;
- determinar as composições adequadas de misturas asfálticas recicladas em função da distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados, do percentual de material fresado, do comportamento mecânico (Estabilidade Marshall, Resistência à Tração, Módulo de Resiliência), da adição de filer, da susceptibilidade à presença de água (Relação da Resistência a Tração).
- estudar o comportamento mecânico de misturas asfálticas recicladas submetidas à presença de água;
- estudar o comportamento mecânico de misturas asfálticas recicladas submetidas à carregamentos repetidos;

### 1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O texto desta dissertação encontra-se em um volume distribuído da seguinte forma.

[Capítulo 1] Introdução, objetivos e organização do trabalho.

[Capítulo 2] Revisão da literatura – são discutidos e descritos assuntos relacionados a tipos e aplicações dos agregados para uso na pavimentação, tipos e propriedades físico-químicas e reológicas dos asfaltos, tipos de misturas asfálticas, comportamento mecânico das misturas asfálticas e os tipos de fresagem.

[Capítulo 3] Materiais e métodos – são apresentados os materiais utilizados na pesquisa e relatados aspectos, considerados importantes, sobre os procedimentos dos ensaios.

[Capítulo 4] Resultados – são apresentados e analisados os resultados obtidos durante a fase experimental.

[Capítulo 5] Conclusões – são apresentadas as conclusões do trabalho.

[Capítulo 6] Sugestões – são expostas as sugestões para futuras pesquisas sobre o tema estudado.

Para finalizar estão inseridas as referências bibliográficas e os anexos, a qual se encontra as referências citadas para a realização do trabalho e as planilhas, os gráficos, e os quadros resultantes dos ensaios realizados.

## CAPÍTULO 2

### 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1 - AGREGADOS

Segundo a NBR 9935 (1987) os agregados são materiais sem forma ou volume definido, geralmente inertes, com dimensões e propriedades físicas e mecânicas adequadas para produção de argamassa e concreto.

Agregado mineral é todo material inerte, resistente, usado nas misturas, em obras de construção civil, sob a forma de partículas ou fragmentos graduados. Inclui areia, pedregulhos, rocha britada, escoria e pó-de-pedra (MANUAL DE ASFALTO, 1989).

No Brasil os agregados minerais para pavimentação são classificados em dois tipos: a) naturais, aqueles que são utilizados tal como se encontram na natureza (podendo haver só seleção e lavagem), como nos casos dos cascalhos, saibros e areias. b) artificiais, aqueles que sofrem uma alteração física ou química de outros materiais, como são os casos das escórias de alto forno, das argilas expandidas, ou no caso que exige extração (as rochas, sendo a pedra britada o tipo mais comum).

Os agregados minerais podem ser classificados conforme sua fonte e modo de preparação. Nesta classificação estão incluídos agregados naturais procedentes de escavações e terraços, e agregados processados e artificiais ou sintéticos.

O pedregulho e a areia são agregados naturais e tipicamente materiais de escavações e terraços (MANUAL DE ASFALTO, 1989). As areias (agregado miúdo) e pedregulhos (agregado graúdo) são definidos usualmente pelo tamanho dos seus grãos. Pedregulhos os que contêm diâmetros entre 75 mm e 4,75 mm, enquanto a areia entre 4,75 e 0,075 mm. E diâmetros inferiores a 0,075 mm são considerados como fração silte.

Os solos arenosos têm frequentemente um pouco de argila e silte na sua composição, do mesmo modo que nos pedregulhos tem certa quantidade de areia em sua composição, mas em ambos os

casos em quantidades baixas. Os depósitos de pedregulhos e areia são usualmente peneirados no tamanho adequado e lavados para remover a terra antes de utilizá-los (MANUAL DE ASFALTO, 1989).

Segundo o Asphalt Institute (1989), a quantidade de agregado mineral em misturas asfálticas é geralmente de 90 a 95% em peso e 70 a 85% em volume, esta é a parte responsável pela capacidade de suporte de cargas do pavimento relacionados diretamente ao seu desempenho.

Os agregados sintéticos ou artificiais são aqueles que resultam em modificação tanto na natureza física como química. O uso de agregado sintético é recente na pavimentação, eles têm resistência ao desgaste acima da usual. Sua utilização é constantemente empregada em pavimentação de tabuleiros de pontes e nas camadas superficiais de pavimentos aonde se requer alto grau de resistência à derrapagem. Estes agregados sintéticos são manufacturados por calcinação, que podem ser: de argila, ardósia, terra diatomácea processada, vidros vulcânicos, escória expandida e outros materiais semelhantes. A escória de alto-forno é o agregado artificial mais comumente utilizado na pavimentação.

Segundo Frasca e Sartori (1998), durante o processo de diferenciação geoquímica da terra, que resultou na formação da sua parte sólida mais externa (crosta terrestre), dez elementos ali se concentraram, totalizando 99% da sua composição. O oxigênio (46,6%) e o silício (28,2%) são os elementos mais comuns nos minerais formadores de rochas, chamados de silicatos. Os demais são: Al (8,2%), Fe (5,6%), Ca (4,2%) e outros (Na, K, Mg e Ti).

A rocha é um material natural consolidado na crosta terrestre, formado essencial por minerais. Dependendo da sua origem podem ser: ígneas, sedimentares e metamórficas.

A rocha ígnea ou magmática é a que resultou da consolidação devida a resfriamento de magma (rocha fundida) derretido ou semiderretido. Estas rochas são compostas de feldspato (59,5%), quartzo (12%), piroxênios e anfíbolitos (16,8%), micas (3,8%) e minerais acessórios (7%). Ocupam cerca de 25% da superfície terrestre e 90% do volume terrestre, devido ao processo de gênese. As rochas formadas em profundidade no interior da crosta terrestre são chamadas plutônicas ou intrusivas e as que são formadas na superfície terrestre pelo extravasamento da lava são chamadas de vulcânicas ou extrusivas (FRASCÁ e SARTORI, 1998).

Os granitos e os basaltos são, respectivamente, as rochas plutônicas e vulcânicas mais abundantes no Brasil, as principais rochas ígneas são as seguintes:

- granitos: rochas ácidas plutônicas, muito abundantes no Brasil, principalmente nas regiões de Escudos (Guianas, Brasil central e Atlântico), são compostas de quartzo (20 a 30%), feldspatos (50 a 70%), feldspato potássico, plagioclásio e minerais ferromagnésicos (5 a 25%).

- riolitos: são os equivalentes extrusivos das rochas graníticas.

- dioritos: rochas plutônicas intermediárias. São compostas essencialmente por plagioclásio sódico-cálcico como biotita, hornblenda e/ ou piroxênios. O quartzo ocupa menos de 10% em volume.

- andesitos: são as rochas vulcânicas intermediárias.

- sienitos: rochas plutônicas intermediárias também chamadas alcalinas. São compostas essencialmente por feldspato potássico.

- traquitos e fonólitos: são rochas vulcânicas de composição semelhante aos sienitos.

- basaltos: rochas vulcânicas mais abundantes. Sua maior ocorrência é na forma de derrames e no Brasil constituem a formação Serra Geral da bacia do Paraná, onde perfazem mais de 90% das rochas vulcânicas aí existentes. É constituída essencialmente por plagioclásio cálcico (35 a 59%), augita (20 a 40%), magnetita ou ilmenita (5 a 15%) e quantidades muito variáveis de matriz vítrea. É muito usada como pedra britada em misturas asfálticas e para concretos, em lastro para ferrovias e outros.

As rochas sedimentares resultam da deposição de detritos de outras rochas (magmáticas ou metamórficas), ou do acúmulo de detritos orgânicos ou ainda, da precipitação química. Ex.: Arenito, Calcário, etc.([www.rc.unesp.br](http://www.rc.unesp.br)). As rochas sedimentares constituem uma camada relativamente fina ( $\pm$  0,8 Km) da crosta terrestre. Entre as rochas sedimentares se destacam com principais as seguintes:

- rochas Detríticas (ou clásticas): são formadas pela acumulação e posterior diagênese de sedimentos derivados da desagregação e decomposição de rochas na superfície terrestre. Podem-se destacar três tipos de rochas detríticas: ruditos (ou pséfitos), arenitos (ou psamitos) e lutitos (ou pelitos).

- seixo é todo fragmento de mineral ou de rocha, menor do que bloco ou calhau (nome popular para um pedaço solto de rocha) e maior do que grânulo, corresponde a diâmetro maior do que 4 mm e menor do que 64 mm. De acordo com uma norma da ABNT, a NBR 6502 sobre Rochas e solos - Terminologia de 1995, define-se pedregulho como: solos formados por minerais ou partículas de rocha, com diâmetro compreendido entre 2,0 mm até 60 mm quando arredondados ou semi-arredondados, são denominados de cascalho ou seixo.

- calcários: são rochas carbonáticas compostas por mais de 50% de minerais carbonáticos (calcita e dolomita). São importantes matérias-primas para as indústrias cimenteira e da cal. É comum o uso com brita, porém apresenta queda de resistência mecânica e dissolução quando em meio ácido.

As rochas metamórficas resultam da transformação de outras rochas preexistentes, agora, sob novas condições de temperatura e pressão. O metamorfismo pode ser local, regional ou dinâmico. Os tipos principais de rochas metamórficas são:

- hornfels: tipo litológico característico do metamorfismo local (ou de contato).
- serpentinito: oriundo do metamorfismo local, chamado hidrotermal em que a ação de fluidos aquosos e quentes percolam rochas próximas a intrusões magmáticas.
- esteatitos (pedra sabão): composta essencialmente por talco
- ardósia: rocha de granulação muito fina, composta essencialmente de sericita e quartzo. No Brasil é muito utilizado no revestimento de pisos.
- gnaisses: são rochas quartzo-feldspáticas de granulação média a grossa. Podem ser derivadas da deformação de rochas graníticas submetidas a metamorfismo dinâmico.
- migmatitos: rochas de composição e estrutura heterogênea. Compreendem intercalações em rochas gnáissicas de composição quartzo-feldspática.
- mármore: rochas constituídas por mais de 50% de minerais carbonáticos (calcita e/ou dolomita), formadas a partir do metamorfismo de rochas sedimentares calcíticas e/ou dolomíticas. Exibem características físico-mecânicas semelhantes às dos calcários sedimentares.
- quartzitos: rochas formadas quase que exclusivamente de quartzo recristalizado, derivados de sedimentos silicosos, como quartzo, arenitos ou cherts.

No Quadro 2.1 e no Quadro 2.2 estão inseridas as propriedades físicas, químicas e mecânicas inerentes às rochas ígneas, sedimentares e metamórficas relacionadas a aceitação de utilização na pavimentação.

## **2.2 - AGREGADOS UTILIZADOS NA PAVIMENTAÇÃO**

Existem vários tipos de agregados empregados para pavimentação, sendo escolhidos de acordo com a sua aplicação (revestimento, base, sub-base etc). Que são divididos em: agregado graúdo, agregado miúdo, pedrisco, filer.

Os agregados graúdos obedece aos limites granulométricos estabelecidos pela NBR 7211-1983. Usualmente utilizam os seguintes materiais: rocha, concreções lateríticas, etc.

**Quadro 2.1 - Propriedades físicas, químicas e mecânicas de rochas [Fonte:(ROBERT et al., 1996)]**

Tipos de Rochas	Resistência Mecânica	Durabilidade	Estabilidade Química	Característica Superficial	Presença de Impurezas Indesejáveis
<b>Igneas</b>					
Granito, Sianito, Diorito	boa	boa	boa	boa	possível
Felsita	boa	boa	questionável	satisfatória	possível
Basalto, Diabasio, Gabro	boa	boa	boa	boa	raramente
Periodotita	boa	satisfatória	questionável	boa	possível
<b>Sedimentares</b>					
Calcário, Dolomito	boa	satisfatória	boa	boa	possível
Arenito	satisfatória	satisfatória	boa	boa	raramente
Sílex	boa	pobre	pobre	satisfatória	provável
Conglomerado, Brecha	satisfatória	satisfatória	boa	boa	raramente
Xisto Argiloso	pobre	pobre	pobre	boa	possível
<b>Metamórficas</b>					
Gnaise, Xisto	boa	boa	boa	boa	raramente
Quartzo	boa	boa	boa	boa	raramente
Mármore	satisfatória	boa	boa	boa	possível
Serpentinita	satisfatória	satisfatória	boa	satis. a pobre	possível
Anfibolito	boa	boa	boa	boa	raramente
Ardósia	boa	boa	boa	pobre	raramente

Os agregados miúdos são classificados também de acordo com diâmetro dos grãos, sendo agregado miúdo os materiais que ficarem retidos entre as peneiras de 2,0 mm (n° 10) e 0,075 mm (n°200), onde a sua distribuição granulométrica obedece os limites granulométricos estabelecidos pela NBR 7211-1983. Os materiais mas utilizados são: areia, solo laterítico etc.

Pedrisco é a mistura, nas mais variadas proporções de pedra britada de graduação 0 (zero) com agregado miúdo artificial.

O filer ou material de enchimento é aquele que deve ter pelo menos 65% passante na peneira de 0,075 mm (n° 200). A Especificação de Material EM 367/97 "Material de enchimento para misturas asfálticas" do DNER determina uma faixa granulométrica para o filer, onde o material deve ser 100% passante na peneira de 0,42 mm (n° 40), ter entre 95 e 100% de material passante na peneira de 0,18 mm (n° 80) e entre 65 e 100% passante na peneira de 0,075 mm (n° 200). Conforme a NBR NM-ISSO



3310 Parte 1 e Parte 2. Os materiais mais utilizados como filer são: cimento Portland, a cal hidratada e solo lateríticos.

**Quadro 2.2 - Propriedades físicas e mecânicas de rochas desejáveis para o emprego no CBUQ**  
[Fonte:(ROBERT et al., 1996)]

Tipos de Rochas	Dureza, Tenacidade	Resistência ao Deslocamento	Textura Superficial	Forma
<b>Ígneas</b>				
Granito	satisfatória	satisfatória	satisfatória	satisfatória
Sianito	boa	satisfatória	satisfatória	satisfatória
Diorito	boa	satisfatória	satisfatória	boa
Basalto	boa	boa	boa	boa
Diabasio	boa	boa	boa	boa
Gabro	boa	boa	boa	boa
<b>Sedimentares</b>				
Calcário, Dolomito	pobre	boa	boa	satisfatória
Arenito	satisfatória	boa	boa	boa
Silex	boa	satisfatória	pobre	boa
Xisto Argiloso	pobre	pobre	satisfatória	satisfatória
<b>Metamórficas</b>				
Gnaisse	satisfatória	satisfatória	boa	boa
Xisto	satisfatória	satisfatória	boa	satisfatória
Ardósia	boa	satisfatória	satisfatória	satisfatória
Quartzito	boa	satisfatória	boa	boa
Mármore	pobre	boa	satisfatória	satisfatória
Serpentinita	boa	satisfatória	satisfatória	satisfatória

Para a utilização na pavimentação o conhecimento das propriedades físicas, químicas e mecânicas é essencial para definição da aplicação em camadas de pavimento (base, sub-base, revestimento asfáltico ou de concreto de cimento Portland). As propriedades químicas estão relacionadas à interação entre os agregados e o cimento asfáltico ou com o cimento Portland. Portanto, em geral, é fundamental avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos agregados empregados em pavimentos buscando, com auxílio de procedimentos normalizados, enquadrá-los nas especificações concernentes a cada serviço empreendido.

São propriedades físicas e mecânicas básicas a densidade, porosidade e a resistência. As Propriedades químicas e físico-químicas tais como umidade, adesão e descolamento são função da composição e estrutura dos minerais no agregado. Uma compreensão da mineralogia e identificação de minerais podem fornecer as informações sobre propriedades físicas e químicas potenciais de um agregado para um determinado uso de forma o que é preconizado nas especificações.

Segundo KANDHAL et al. (1997), os defeitos que ocorrem em pavimentos flexíveis, tais como: deformação permanente, descolamento, desintegração superficial e falta de resistência ao atrito superficial, podem ser atribuídos diretamente à seleção e uso de agregados.

Segundo WU et al. (1998), as propriedades dos agregados usados em misturas asfálticas são muito importantes para o desempenho dos pavimentos. Com isso, uma seleção de agregado apropriada contribui, de forma positiva, para a construção de pavimentos com os desempenhos funcional e estrutural satisfatórios e, conseqüentemente, com uma vida útil de acordo com a projetada.

Em geral, os agregados que são utilizados em misturas asfálticas devem ser: duro, tenaz, forte, durável (são), bem graduado, serem constituídos de partículas cúbicas com baixa porosidade e com superfícies limpas, rugosas e hidrofóbicas.

As propriedades químicas dos agregados têm pequeno efeito no desempenho das misturas asfálticas, exceto quando elas afetem a adesão do ligante asfáltico ao agregado e a compatibilidade com aditivos, os quais podem ser incorporados ao Cimento Asfáltico de Petróleo, CAP, (ROBERTS et al., 1996).

As propriedades químicas de um agregado identificam a composição química e/ou determinam as transformações que um agregado pode estar sujeito devido à ação química. As composições químicas de agregados baseadas em análises químicas são usualmente apresentadas em termos de óxidos, sem consideração se tais óxidos estão atualmente presentes na amostra. Estas, por sua vez, podem não trazer informações quanto à composição mineral e às vezes podem ser confusos. Alguns agregados contêm substâncias que: são solúveis em água (ex. gesso), são sujeitas à oxidação, hidratação e carbonatação, e podem reagir com os componentes do Cimento Portland, mas a reatividade de alguns agregados com o cimento asfáltico não é conclusivamente estabelecida.

As normas brasileiras utilizadas para obtenção das propriedades mecânicas, físicas e químicas de agregados (absorção de água) estão relacionadas diretamente ao concreto de cimento Portland. Uma relação completa pode ser vista no Quadro 2.3. Apesar destas normas serem utilizadas mais frequentemente para concreto de cimento Portland, dependendo da necessidade, estes ensaios podem ser solicitados para agregados a serem usados em misturas asfálticas. Dentre vários ensaios pode-se citar: Verificação da reatividade potencial pelo método químico (NM 28), Determinação de sais, cloretos e sulfatos (NM 50), Reatividade potencial de álcalis em combinações cimento-agregado (NBR 9773).

A adesão do cimento asfáltico ao agregado e o deslocamento do filme asfáltico pela água é um fenômeno complexo segundo ROBERTS et al. (1996). Várias teorias têm sido sugeridas para explicar os mecanismos de adesão e adesividade (descolamento). Porém, nenhum deles pode ser completamente explicado e mais de um mecanismo pode ocorrer ao mesmo tempo.

**Quadro 2.3 - Normas brasileiras utilizadas para obtenção das propriedades mecânicas, físicas e químicas de agregados**

Código Atual	Título	Código Antigo
NBR9933	Agregados - Determinação da resistência ao esmagamento de agregados grandes	-
NBR7211	Agregados - Ensaio de qualidade de agregado miúdo	-
NBRNM26	Agregados - Amostragem	NBR 7216
NBR9776	Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman	-
NBR9775	Agregados - Determinação da unidade superficial de agregados miúdos por meio do frasco Chapman	-
NBR12524	Agregado miúdo - Verificação da aderência a ligante betuminoso	-
NBRNM51	Agregado grande - Ensaio de abrasão "Los Angeles"	NBR 6465
NM44	Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis	-
NBR12532	Solo ou agregado miúdo - Determinação de equivalente de areia	-
NBR12583	Agregado grande - Verificação da aderência a ligante betuminoso	-
NBR12597	Agregados - Avaliação do comportamento mediante a ciclagem acelerada com etilenoglicol	-
NM64	Agregado grande - Determinação da absorção de água	-
NBR7251	Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária	-
NM49	Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas	-
NBRNM27	Agregados - Redução da anotação de campo para ensaios de laboratório	NBR 9941
NBR7217	Agregados - Determinação da composição granulométrica	-
NM53	Agregado grande - Determinação de massa específica e massa específica aparente	-
NBR7220	Agregados - Determinação de impurezas orgânicas hídricas em agregado miúdo	-
NBR5458	Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água	-
NBR5467	Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo	-
NM46	Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometros por lavagem	-
NBR7219	Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos	-
NBR7909	Agregado grande - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro	-
NM52	Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente	-
NM45	Agregados - Determinação da massa unitária e dos espaços vazios	-
NBR7225	Materiais de pedra e agregados naturais	-
NBR9939	Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado grande	-
NM51	Agregados - Determinação do teor de partículas leves	-
NM28	Agregados - Verificação da reatividade potencial pelo método químico	-
NBR7218	Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis	-
NBR9937	Agregados - Determinação da absorção e da massa específicas de agregado grande	-
NBR9935	Agregados	-
NBR9936	Agregados - Determinação do teor de partículas leves	-
NM52	Agregado grande - Método de ensaio de partículas friáveis	-
NBRNM66	Agregados - Constituintes mineralógicos dos agregados naturais - Terminologia	NBR 9942
NBR7389	Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto	-
NBRNM30	Agregado miúdo - Determinação da absorção de água	NBR 9977
NM28	Verificação da reatividade potencial pelo método químico	-
NBR12696	Agregados - Verificação do comportamento mediante ciclagem artificial água-areia	-
NBR7910	Agregado em estado compactado e seco - Determinação da massa unitária	-
NBR 12052	Solo ou agregado miúdo - Determinação de equivalente de areia	-
NBR 12583	Agregado Grande - Verificação da aderência a ligante betuminoso	-
NBR 12584	Agregado miúdo - Verificação da aderência a ligante betuminoso	-
NBR 12695	Agregados - Verificação do comportamento mediante ciclagem natural	-

## **2.3 - PROPRIEDADES FÍSICAS DOS AGREGADOS**

Segundo Roberts et al. (1996) as propriedades físicas dos agregados determinam a adequação para o uso em misturas asfálticas, e em menor extensão, as propriedades químicas. As características físicas dos agregados minerais são: Expansão, Distribuição Granulométrica, Forma da Partícula e Textura Superficial, Afinidade ao Asfalto, Durabilidade e Sanidade, Limpeza e Materiais Deletérios, Porosidade e Absorção e Polimento e Características de Atrito.

### **2.3.1 - Expansão**

O método ME 192/97 ou NBR 6467 é utilizado para determinação do inchamento de Agregado miúdo". O inchamento do agregado miúdo é o fenômeno da variação do volume aparente, provocado pela absorção de água livre pelos grãos e que incide sobre a sua massa unitária. Este também é um ensaio mais usado durante os procedimentos de dosagem de concreto de cimento Portland, onde o inchamento da areia deve ser determinado para uma precisa quantificação volumétrica do traço.

Existem outros ensaios que medem expansibilidade de solos como a ME 029/94 "Solos determinação da expansibilidade" ou o próprio ensaio para a determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR) com o auxílio do método ME 049/94 do DNIT.

### **2.3.2 - Distribuição Granulométrica**

A "gradação" é a distribuição dos tamanhos dos agregados expressa em porcentagem do peso total. A gradação é obtida fazendo-se passar o material através de uma série de peneiras empilhadas com aberturas progressivamente menores, e pesando-se o material retido em cada uma. Para Roberts al. (1996), no entanto, expressar a gradação como uma porcentagem do volume total é mais importante, porém a gradação como uma porcentagem do peso é mais fácil e já é um padrão tradicional. As gradações pelo volume e peso são aproximadamente iguais. Se existem grandes diferenças nas massas específicas dos agregados usados para uma mistura em particular, então a gradação deve ser determinada como uma porcentagem do volume total.

### **2.3.3 - Forma da partícula e textura superficial**

Para uso em misturas asfálticas as partículas de agregados devem ser misturas compactadas, as partículas de forma angular exibem um maior inter-travamento e atrito interno, resultando conseqüentemente em uma maior estabilidade mecânica que partículas arredondadas. Por outro lado, misturas que contêm partículas arredondadas, tais como a maioria dos cascalhos naturais e areias, tem uma melhor trabalhabilidade e requerem menor esforço de compactação para se obter a densidade

requerida. Esta facilidade de compactar não constitui necessariamente uma vantagem, visto que as misturas que são mais fáceis de compactar durante a construção podem continuar a densificar sob ação do tráfego, levando à deformações permanentes devido aos baixos índices de vazios e fluxo plástico (ROBERTS et al., 1996).

Tanto a forma da partícula como a textura superficial influenciam na trabalhabilidade e na resistência da mistura asfáltica. Uma textura superficial rugosa, encontrada na maioria das rochas britadas, tende a aumentar a resistência e requer cimento asfáltico adicional para superar a perda de trabalhabilidade, quando comparada com os agregados de superfícies lisas como cascalhos, seixos e areias de rio. Vazios na massa compactada de agregados de textura rugosa também são normalmente altos produzindo espaço adicional para o cimento asfáltico. Agregados de textura lisa podem ser mais facilmente cobertos pelo filme asfáltico, mas o cimento asfáltico forma usualmente ligações mecânicas mais fortes com os agregados de textura rugosa (ROBERTS et al., 1996).

De acordo com Massad et al. (2005) os agregados apresentam três propriedades físicas independentes, de significativa influência no desempenho do pavimento: forma, angularidade e textura. Segundo Massad et al. (2005), os métodos atualmente utilizados para aferir tais propriedades apresentam limitações; são trabalhosos, subjetivos, e possuem pouca relação direta com parâmetros de desempenho, além de serem limitados possibilidade de mensurar o efeito da angularidade inerente à textura. Os autores chamam atenção para a importância do desenvolvimento de métodos capazes de quantificar as propriedades do agregado, de forma separada, ao invés do efeito da interação entre elas.

#### **2.3.4 - Adesividade (sistema CAP versus agregado)**

Uma das atividades essenciais a se exigir de um agregado a ser usado em revestimento asfáltico e que tenha boa adesividade, isto é, não haja possibilidade de deslocamento da película betuminosa pela ação da água. Existem dois tipos de adesividade: adesividade ativa e adesividade passiva (SANTANA, 2006).

A adesividade ativa é a desenvolvida quando o CAP vai cobrir a partícula de agregado. A condição imprescindível é que haja uma molhagem, isto é, que o ligante molhe o agregado. Para se entender melhor o assunto é interessante recordar o que é tensão interfacial, sendo aliás, a primeira um caso particular da segunda (SANTANA, 2006).

Adesividade passiva consiste na resistência apresentada ao deslocamento da película de CAP da superfície do agregado já envolvido. Na prática, uma viscosidade mais alta do CAP, a textura rugosa

e a porosidade (ao contrário da adesividade ativa) favorecem à adesividade passiva. Mas é importantíssima a presença de dopes (aditivos - emulsificantes catiônicos) que funcionam como repelentes de água (SANTANA, 2006).

A presença de finos plásticos na porção fina dos agregados de misturas asfálticas pode induzir descolamento na mistura quando exposta à água ou umidade.

A presença de pó e cobertura de argila no agregado graúdo e/ou fino pode inibir a cobertura entre o cimento asfáltico e o agregado e produzir canais para a penetração da água. O cimento asfáltico fica sobre a cobertura de pó e não entra em contato com a superfície do agregado resultando em descolamento da mistura asfáltica.

Existe também a hipótese de que algum material argiloso muito fino possa causar deslocamento pela emulsificação do cimento asfáltico na presença de água. Finos plásticos em excesso também podem enrijecer o cimento asfáltico, e conseqüentemente levar a mistura asfáltica a trincamento por fadiga.

O ensaio de Azul de Metileno é um método francês, recomendado pela Associação Internacional de Lama Asfáltica (ISSA – International Slurry Surfacy Association) para avaliar a quantidade de argila nociva do grupo das montmorilonitas, matéria orgânica e hidróxido de ferro presentes em agregados finos. O ensaio tem por título “Valor de Absorção do Azul de Metileno (MBV) de fileres de agregado mineral e finos”, e está contido no Boletim Técnico nº 145 da ISSA. O princípio do ensaio é adicionar quantidades de uma solução aquosa padrão de Azul de Metileno (o ensaio está mais detalhado no Item limpeza e materiais deletérios) a uma amostra até a absorção do azul de metileno cessar.

As análises estatísticas dos dados dos ensaios em agregados e nos ensaios de validação mostram que o ensaio de Azul de Metileno é o que melhor se relaciona com o descolamento em misturas asfálticas para pavimentos (MARQUES, 2002).

No Brasil a norma do ME 079/94 do DNIT especifica o procedimento para determinar adesividade de agregado ao CAP. Neste ensaio a adesividade é mensurada pelo deslocamento CAP recobre o agregado, quando a mistura asfáltica é submetida à ação da água destilada fervente e de soluções molares de carbonato de sódio.

### **2.3.5 - Durabilidade e Sanidade**

Os agregados também devem ser resistentes ao quebramento ou desintegração quando sujeitos ao umedecimento e secagem e/ou congelamento e degelo. Se a cobertura de cimento asfáltico

permanece intacta, estes ciclos de intemperismo não afetam significativamente as misturas asfálticas. Entretanto, a água pode penetrar nas partículas de agregados se alguma degradação da mistura asfáltica ocorrer durante a construção da camada de revestimento. Partículas frágeis e fracas que se quebram durante a compactação produzem fácil acesso para a água. A água também pode penetrar se a mistura asfáltica apresentar descolamento (WU et al. 1998).

Segundo Roberts et al (1996) os agregados devem ser resistentes ao colapso ou desintegração sob a ação de molhagem e secagem e/ou congelamento e degelo.

A durabilidade e a Sanidade podem ser avaliadas pelas normas brasileiras através das seguintes normas:

- ME 089/94 – “Agregados: Avaliação da durabilidade pelo emprego de Soluções de Sulfato de Sódio ou de Magnésio”;

- ME 400/99 – “Agregados – Desgaste após fervura de agregado pétreo natural”.

### **2.3.6 - Limpeza e materiais deletérios**

Para Roberts et al. (1996) a limpeza refere-se à ausência de certos materiais estranhos e deletérios que tornam os agregados indesejáveis para misturas asfálticas. Lavar agregados sujos pode reduzir a quantidade de matéria estranha indesejada a um nível aceitável. Estes materiais objetivamente incluem vegetação, xisto argiloso, partículas frágeis, torrão de argila, argila cobrindo partículas de agregados e às vezes, excesso de pó da operação de britagem.

Para Kandhal et al. (1997) a limpeza tem a ver com as coberturas presentes nas partículas de agregado ou o excesso de partículas mais finas que 75mm (peneira N° 200), ao passo que material deletério se refere a partículas individuais que são feitas de materiais inadequados ou insalubres. Para os autores [KANDHAL et al. (1998B)] os finos podem influenciar o desempenho de misturas asfálticas nas seguintes circunstâncias:

- dependendo do tamanho das partículas, os finos podem atuar como um filer ou como um componente do ligante asfáltico. Em certos casos pode-se uma mistura muito rica em asfalto (“gorda”) levar a fluência e/ou a deformação permanente. Em muitos casos a quantidade de cimento asfáltico usado deve ser reduzida para prevenir a perda de estabilidade ou uma exsudação.

Alguns finos tem um considerável efeito sobre o cimento asfáltico fazendo-o atuar como um cimento asfáltico mais rígido comparado ao cimento asfáltico puro e isso afeta o desempenho da

mistura asfáltica no comportamento à fadiga. Outros tornam as misturas asfálticas sensíveis ao dano induzido por umidade.

Dentre as normas Brasileiras que tratam deste assunto, destacam-se:

- ME 054/97 – “Equivalente de areia”
- ME 082/94 – “Solos – determinação do limite de plasticidade”
- ME 122/94 – “Solos – determinação do limite de liquidez”
- ME 266/97 ou NBR 7219 - “Agregados – determinação do teor de materiais pulverulentos”
- ME 055/95 – “Impurezas orgânicas na areia”
- NBR 7220 – “Agregados – determinação de impurezas húmicas em agregado miúdo”
- NM 32 – “Agregado Graúdo – método de ensaio de partículas friáveis”
- NBR 7218 – “Agregados: Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis”

### **2.3.7 - Porosidade e absorção**

São de fundamental importância as propriedades volumétricas das misturas asfálticas. Assim os valores de Volume de Vazios,  $V_v$ ; Vazios do Agregado Mineral, VAM e Relação Betume-Vazios, RBV podem ser facilmente calculados, pois os valores das densidades do agregado (aparente, real e efetiva) são teoricamente iguais.

A densidade do agregado e a absorção de asfalto exercem grande efeito nos parâmetros volumétricos, além de influenciar diretamente o teor de asfalto efetivo da mistura, sendo, portanto, imperativo que esses dois fatores sejam cuidadosamente considerados nos projetos de misturas, para que os parâmetros utilizados como critério de projeto sejam calculados corretamente (GOUVEIA, 2005).

### **2.3.8 - Polimento e características de atrito**

Teor de cal/carbonatos e exigências de resíduos insolúveis é incluído em especificações para restringir a quantidade de agregados “carbonatados” usados em misturas superficiais e/ou restringir os agregados de mineralogia calcária usada em misturas superficiais. A intenção destas restrições é assegurar que algum mineral resistente ao polimento (silicoso) esteja exposto na interface superfície/pavimento/pneu. O atrito está relacionado a micro e macro textura do revestimento asfáltico.



A micro textura refere-se a relação irregularidades microscópicas da superfície do pavimento, proveniente da aspereza individual dos agregados. A medida e quantificação são de difícil realização mesmo em laboratório, por esta razão usa-se a classificação qualitativa, através de tato: áspera e lisa (Boletim técnico da ABPV). A macro textura refere-se a aspereza do pavimento como um todo, depende dos tamanhos e quantidade dos agregados (faixa granulométrica). Esta relacionada à aquaplanagem dinâmica e contribui para o atrito quando o veículo trafega a alta e media velocidade. Pode ser medida e quantificada pela profundidade media da textura comumente obtida pelo método da Mancha de Areia (ASTM E 965-87) que baseiam em processo volumétrico (Boletim técnico da ABPV)

No Brasil, exige-se um procedimento para avaliação da superfície de rolamento durante a construção e operação do revestimento. A ES 313/97 do DNIT "Concreto Betuminoso" que especifica o uso e aplicação do concreto asfáltico, recomenda o uso do Pêndulo Britânico e do ensaio de Mancha de Areia, que ver as condições de segurança do asfalto. Recomenda-se que o revestimento acabado deverá apresentar VRD (Valor de Resistência à Derrapagem) superior a 55 medido. Ainda existe a avaliação pelo "mu-meter" que é a mais utilizada pelo Ministério da Aeronáutica Brasileiro.

### **2.3.9 - Tenacidade, resistência abrasiva e dureza**

Os agregados devem transmitir as cargas de rodas às camadas sobrejacentes por intermédio do atrito interno e também devem ser resistentes à abrasão e ao polimento devido ao tráfego. São sujeitos à fragmentação (quebra) e ao uso abrasivo durante sua produção, transporte e compactação das misturas asfálticas. Eles devem ser duros e tenazes para resistir à britagem, degradação e desintegração quando estocados, manipulados com o auxílio de equipamentos durante a produção de uma mistura asfáltica, espalhadas no pavimento, compactados com rolos e quando solicitados por caminhões (ROBERTS et al. 1996). Estas propriedades são especialmente críticas para misturas de concreto asfáltico abertas ou descontínuas (tais como camadas porosas de atrito e SMA) que não se beneficiam do efeito do amortecimento dos agregados finos e onde partículas graúdas são sujeitas as tensões.

## **2.4 - MATERIAIS ASFÁLTICOS**

Os materiais asfálticos que são derivados do carvão ou do petróleo, têm sido um dos materiais mais empregados pelo homem desde a antiguidade até o dia de hoje. Tem-se informações que o primeiro uso foi para impermeabilização das salas de banhos e reservatórios de água na Mesopotâmia, por causa do seu potencial de impermeabilização e aglutinação, que são uma das mais importantes funções exercida pelo asfalto.

Data que os pioneiros da pavimentação asfáltica foram os franceses em 1802, os americanos em 1838 e os ingleses em 1869 que executaram com asfaltos naturais provenientes de jazidas (IBP, 2000).

#### **2.4.1 - Obtenção e tipos de materiais asfálticos**

Os materiais betuminosos são classificados em dois tipos: os derivados de petróleo (os mais utilizados atualmente, os asfaltos) e os derivados do carvão (alcatrão).

Os alcatrões, que deixaram de ser utilizados no Brasil na década de 60, resultam de processos de refinação de alcatrões brutos, dos quais se originam da destilação dos carvões durante a fabricação de gás e coque (IBP, 2000).

Os asfaltos são materiais aglutinantes de origem do petróleo, sendo obtido de duas formas: pela evaporação natural de depósitos localizados na superfície terrestre e por destilação em unidades industriais especialmente projetadas (IBP, 2000).

#### **2.4.2 - Tipos e Aplicações do Asfalto de Petróleo**

Os Asfaltos de Petróleo podem ser classificados segundo sua utilização em: Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), Asfalto Diluído (Cut-Backs), Emulsão Asfáltica, Asfalto Oxidado, Asfalto Modificado, Agentes Rejuvenecedores, Asfalto Espuma e Asfalto Borracha.

#### **2.4.3 - Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP**

O Cimento Asfáltico de Petróleo é um líquido com viscosidade alta, à temperatura ambiente pode ser sólido ou semi-sólido, que apresenta comportamento termoplástico, tornando-se líquido quando aquecido e retornando ao estado original após resfriamento. É quase totalmente solúvel em benzeno, tricloroetileno e em dissulfeto de carbono.

Simanos (2000) define CAP como um adesivo termoplástico, impermeável à água, viscoelástico e pouco reativo. O autor descreve e relaciona algumas propriedades do CAP com a sua utilização, a saber:

- pelo comportamento termoplástico, o CAP possibilita o próprio manuseio a quente, para aplicação em pavimentos e, por simples resfriamento, o retorno às suas propriedades viscoelásticas correspondentes às condições de serviço;

- é utilizado na impermeabilização da estrutura de pavimentos, evitando a penetração da água e melhorando o seu escoamento para o sistema de drenagem superficial;

- tem na viscoelasticidade a base do comportamento mecânico que exerce sobre a estrutura do pavimento. O CAP combina dois comportamentos mecânicos distintos: o elástico, sob aplicação de carga curta (tráfego rápido) e o viscoso, sob longos períodos de aplicação de carga;

- tem boa durabilidade, em face da pouca reatividade química. O contato com o ar propicia oxidação lenta, que pode ser acelerada pelo aumento da temperatura.

#### **2.4.4 - Especificações**

No Brasil as especificações para o CAP estão de acordo com a RESOLUÇÃO ANP de Nº 19 que visa fixar características essenciais e forma de produção, inclusive com os métodos de ensaios. A D 3381-92 constitui a especificação do CAP sugerida pela ASTM (American Society for Testing Materials).

Na Europa, especialistas dos países da Comunidade Européia vêm trabalhando para padronizar os ensaios e métodos, com o auxílio do grupo chamado WG1 do CEN/TC/SC1. A norma EN 12591 completa foi publicada oficialmente em 2000.

#### **2.4.5 - Composição Química do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)**

Os CAPs são constituídos de 90 a 95% de hidrocarbonetos e 5 a 10% de heteroátomos (oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais- vanádio, níquel e ferro) com ligações covalentes.

Os CAPs são sistemas coloidais, constituídos por partículas denominadas asfaltenos protegidos por resinas “peptizantes” (que impedem a floculação), dispersos nos chamados óleos maltenos (Figura 2.1). Em altíssima temperatura o CAP se transforma em um líquido Newtoniano (obedece à lei de Newton – as tensões são proporcionais às velocidades de deformação) e em baixa temperatura o CAP se transforma em um sólido elástico frágil (obedecendo a lei de Hook – as tensões são proporcionais às deformações). A preponderância de uma componente sobre a outra (valor da relação entre elas) é muito importante para o comportamento do CAP.

Bernucci et. al. (2008) citando (Girdler, 1965, Yen, 1991, Leite, 1999 e Hunter, 2000) descreve sucintamente o CAP como uma dispersão coloidal de asfaltenos em saturados e aromáticos, conhecidos genericamente por maltenos, imersos em resinas, que são como micelas diretas ou reversas, ou seja, grupos polares orientados para fora ou para o centro. O modelo de Yen ou modelo de micelas está representado na Figura 2.1. Uma micela é um aglomerado de moléculas em uma solução coloidal. Um colóide é uma mistura que consiste de grandes moléculas simples, dispersas em uma segunda substância.

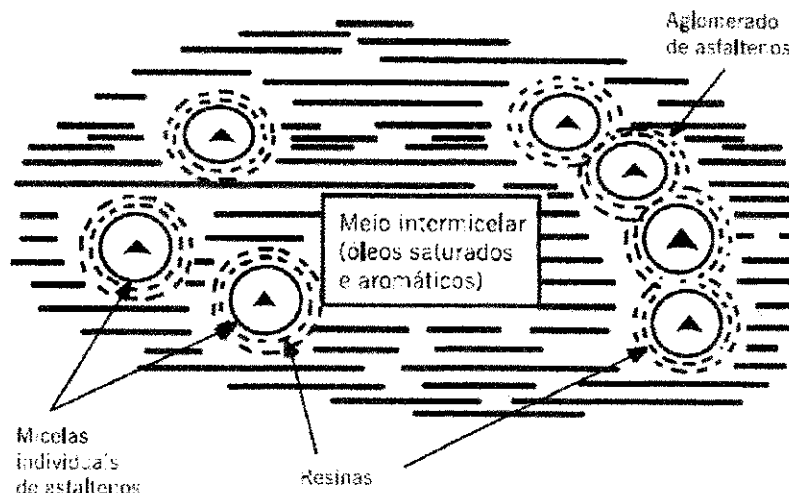


Figura 2.1 - Modelo de micelas de Yen (1991) [Fonte: Bernucci, 2008]

Na sua composição química os asfaltos são muito complexos tem como interferência direta o petróleo utilizado e o seu processo de fabricação. Em definição química pode-se dizer que o asfalto é uma dispersão coloidal de partículas de asfaltenos em meios oleoso maltenos formando uma dispersão coloidal. Como já vimos os maltenos ainda pode ser separados em frações menores (GUARÇONI, 1994).

Os ligantes asfálticos consistem de compostos polares e polarizáveis (piróis, fenóis, amidas, ácidos carboxílicos, piridinas e aromáticos polinucleares), capazes de associação e compostos não polares (hidrocarbonetos aromáticos e saturados) (CASTRO, 2003).

Normalmente o processo de fracionamento químico são baseados nos princípios de solubilidade, reatividade química e absorção, tendo como objetivo a separação de conjuntos de substâncias semelhantes entre si (GUARÇONI, 1994).

A base dos métodos de separação do asfalto em frações é a utilização de uma propriedade fundamental dos sistemas coloidais, que é a destruição de sua estabilidade pela eliminação da camada de proteção das micelas, o que faz com que elas se associem e se precipitem por gravidade. A estabilidade da micela é dada por uma camada de agente peptizante ou por camadas de solvatação, bastando assim a eliminação da proteção para que haja sedimentação destas micelas (GUARÇONI, 1994).

Sendo dividido os asfaltenos (fase micelar) do maltenos (fase intermicelar) o composto fica solúvel no solvente utilizado, podendo então formar subgrupos por diferentes reatividade química ou por cromatografia.

Os asfaltenos são hidrocarbonetos de peso molecular elevado, contendo maior teor de heteroátomos (N, S, O, V, Ni, Fe), apresentando-se, quando isolado, na forma sólida, quebradiça, preta, de alta viscosidade e quimicamente semelhante às resinas (GUARÇONI, 1994).

Os maltenos são hidrocarbonetos de menor peso molecular, apresentando-se com o aspecto oleoso, podendo ainda ser separados em outras frações tais como as resinas, óleos saturados e óleos aromáticos. São menos viscosos do que os asfaltenos e são sensíveis à oxidação (CASTRO, 2003).

Dentre os métodos analíticos existentes para a determinação da composição química do asfalto, são usados quatro tipos de análise por separação em frações, que são definidas em função do procedimento utilizado (GUARÇONI, 1994): Fracionamento por Solvente; Precipitação Química; Técnicas Cromatográficas: Procedimento com Sílica gel e Attapulgu; Procedimento com Alumina e Cromatografia por Exclusão de Tamanho.

#### **2.4.6 - Propriedades do Cimento Asfáltico de Petróleo**

Algumas propriedades do CAP são muito importantes para a construção de obra de pavimentação, entre elas as que se destacam são: consistência, pureza e segurança.

##### *a) Consistência*

Os asfaltos são materiais termoplásticos porque se liquefazem gradualmente quando aquecidos. A consistência é o termo empregado para descrever a viscosidade ou grau de fluidez do asfalto a qualquer temperatura que se considere. Sendo a consistência do cimento asfáltico variável com a temperatura, é preciso adotar uma temperatura padronizada quando se comparam as consistências dos cimentos asfálticos. Os cimentos asfálticos são graduados com base da faixa de consistência a uma temperatura padrão (ASPHALT INSTITUTE, 1989).

Quando o CAP é exposto ao ar em películas delgadas à temperatura elevadas, isto é, durante a mistura com o agregado, o asfalto cresce. Admite-se um aumento limitado. Todavia, o controle descuidado da temperatura e da mistura pode causar danos ao CAP, pelo enrijecimento, maiores do que os muitos anos de serviços da estrada concluída. A consistência do CAP de pavimentação é usualmente especificada e medida no ensaio de viscosidade ou no ensaio de penetração.

##### *b) Pureza*

O CAP compõe-se quase sempre inteiramente de betume, o qual, por definição, é totalmente solúvel no bissulfeto de carbono. Os asfaltos refinados são betumes quase puros e usualmente mais de

99,5% solúveis em bissulfeto de carbono. As impurezas quando existentes são inertes (ASPHALT INSTITUTE, 1989).

Ao deixar a refinaria, o cimento de asfalto é, normalmente, isento de água ou umidade. Contudo, os veículos de transporte do dele podem ter um pouco de umidade nos seus reservatórios. Se existir um pouco de água, por descuido, isto poderá gerar espuma do CAP quando aquecido acima de 100°C (ASPHALT INSTITUTE, 1989).

### *c) Segurança*

A espuma do asfalto é um risco para a segurança, de modo que as especificações requerem usualmente que o asfalto não espume em temperaturas até 175°C. O cimento asfáltico se aquecido a temperaturas elevadas, desprenderá vapores que irão chamejar de uma centelha ou chama exposta. A temperatura em que fato ocorre é designada ponto de fulgor, sendo bem maior que as temperaturas usadas, normalmente, nas operações de pavimentação. Contudo para que se assegure uma margem de segurança adequada, mede-se e controla-se o ponto de fulgor do CAP.

## **2.4.7 - Propriedades físico-químicas do asfalto**

Com o auxílio de ensaios empíricos são medidas as propriedades físico-químicas no meio rodoviário, dentre eles podemos citar: Ductilidade; Viscosidade absoluta a 60°C; Ponto de amolecimento; Penetração; Envelhecimento TFOT; Perda de massa após TFOT; Viscosidade após TFOT; Ponto de amolecimento após TFOT; e Penetração após TFOT.

## **2.4.8 - Propriedade Reológicas do asfalto**

Os CAPs têm um comportamento viscoelástico e exibem dissipação viscosa e recuperação elástica. A temperatura quanto o tempo tem uma importância de na resistência a deformação permanente. Quando o CAP sofre uma tensão em um pequeno tempo e temperatura baixa, ele se comporta como um sólido elástico e a uma tensão ou carregamento estar em altas temperaturas e grandes tempos, o CAP se comporta como um líquido viscoso.

Quando um líquido é submetido a uma tensão de cisalhamento escoar e sofre deformação irreversível, pode ser considerado como um líquido ideal segundo a lei de Newton. Quando o CAP se encontra com a temperatura próxima a 100°C, o CAP tem um comportamento físico de fluido Newtoniano.

A temperatura de serviço o CAP apresenta comportamento físico não-newtoniano, sendo que em determinada faixa de temperatura (incluindo 25°C que é uma temperatura muito utilizada nos ensaios

de CAP), a curva  $\log(\tau)$  versus  $\log(d\gamma/dt)$  exibe uma região aproximadamente linear onde a lei da potência, proposta por Ostwald de Waele pode ser considerada válida. A tensão de cisalhamento varia linearmente com a taxa de deformação, elevada a uma exponencial (LEITE, 1999). Segundo Leite (1999) a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação é uma reta onde  $(c)$  é a inclinação da reta e o  $\log(m)$  é a interseção com o eixo  $y$  (Figura 2.2).

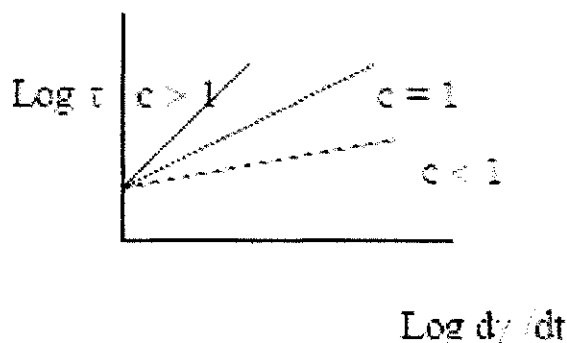


Figura 2.2 - Layout da Lei da Potência [Fonte: Leite, (1999)]

## 2.5 - MISTURAS ASFÁLTICAS

São resultantes da mistura apropriada de agregados e CAP, que após espalhada e compactada deve satisfazer exigências contidas em especificações. O CAP funciona como agente aglutinante. A ligação adequada entre os agregados contribuirá para melhorias na resistência mecânica e flexibilidade da camada. Consequentemente, contribui para aumentar a capacidade do pavimento de resistir às intempéries e às ações do tráfego.

O CAP confere às misturas asfálticas um comportamento visco-elástico influenciado pela temperatura. Sua principal característica, a susceptibilidade à temperatura, é ao mesmo tempo, vantagem e alguns casos, sua limitação. Por isso, na maioria dos procedimentos experimentais, tanto com o CAP quanto com a mistura com agregados a temperatura de ser controlada.

Dentre as propriedades essenciais exigidas para as misturas asfálticas, podemos citar:

- suportar as cargas provenientes do tráfego;
- proteger as camadas subjacentes do pavimento (base, sub-base, leito e subleito);
- ter boa condição de rolamento dando segurança aos veículos;
- flexibilidade;

- resistência à ação abrasiva do tráfego;
- resistência ao intemperismo.

As misturas asfálticas podem ser utilizadas como: camada de rolamento, camadas de regularização e camada de base.

A camada de rolamento deve resistir às cargas verticais e ao desgaste prematuro, ter superfície plana e rugosidade para melhorar a aderência ou atrito pneu/pavimento. O efeito nocivo sobre o revestimento provocado pelo desgaste gerado pelas rodas dos veículos, exige a utilização de materiais de boa qualidade inerentes às solicitações, boa adesividade, e que sejam capazes de minimizar a desagregação pela ação cíclica das solicitações do tráfego.

A camada de base é a parte da estrutura do pavimento situada imediatamente abaixo da camada de rolamento e acima da sub-base, quando existente, ou diretamente sobre o subleito. Poderá ser constituída por materiais granulares, como pedregulhos, cascalhos e produtos de britagem, estabilizados com a adição de CAP.

A camada de regularização vem anteriormente ao revestimento ou camada de rolamento, geralmente classificada na Faixa B do DNIT, tem como objetivo principal diminuir as irregularidades que por ventura tenha a camada de base.

O U.S. Army Corps of Engineers (USACE) classifica as misturas asfálticas a quente em três tipos em função da graduação dos agregados: densas, abertas e descontínuas.

### **2.5.1 - Misturas de graduação densas**

Dentre as misturas densas podemos destacar: Concreto Betuminoso Usinado a Quente, Areia Asfáltica Usinada a Quente. O HMA (Hot Mix Asphalt) ou CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado à Quente) executado em usina móvel ou fixa, contendo agregado mineral (graúdo e miúdo) e CAP, espalhada e compactada a quente, com propriedades físicas e mecânicas definidas em especificações do DNIT.

Segundo Pinto e Preussler (2002) de acordo com a posição relativa e a função na estrutura do pavimento o CBUQ deve atender a características especiais, sendo geralmente designado por:

- camada de rolamento ou simplesmente capa asfáltica – camada superior da estrutura destinada a receber diretamente a ação do tráfego. A mistura empregada deve apresentar estabilidade e



flexibilidade compatíveis com o funcionamento elástico da estrutura e condições de rugosidade que proporcionem segurança ao tráfego, mesmo sob condições climáticas e geométricas adversas;

- camada de ligação ou binder – camada posicionada imediatamente abaixo da capa. Apresenta, em relação à mistura utilizada para camada de rolamento, diferenças de comportamento, decorrentes do emprego de agregados de maior diâmetro máximo, de maior percentagem de vazios e menor relação betume/vazios;

- camada de nivelamento ou regularização – serviço executado com massa asfáltica de graduação fina, com função de corrigir deformações ocorrentes na superfície de um antigo revestimento e, simultaneamente, promover a selagem de fissuras existentes.

A Areia asfalto usinada à quente - A.A.U.Q., é o revestimento flexível, resultante da mistura a quente, em usina apropriada, de agregado miúdo, material de enchimento filer e CAP, espalhada e comprimida a quente (DNIT 032/2005-ES).

### **2.5.2 - Misturas de graduação abertas**

As misturas asfálticas abertas são usinadas a quente ou a frio compostas por agregado mineral, preponderantemente graúdo, cuja graduação confere percentagem de vazios maior que 12%, e material asfáltico, sendo usualmente empregada como:

- revestimento asfáltico em uma só camada ("capa"), podendo receber, opcionalmente, uma capa selante;

- camada de ligação (ou "Binder") empregada quando se usa revestimento asfáltico em duas camadas, sendo a camada de rolamento executada com Concreto Asfáltico Usinado à Quente – CAUQ;

- camada de nivelamento em obras de restauração onde, além da função estrutural, deseja-se corrigir deformações na pista existente;

- camada de base.

### **2.5.3 - SMA - Stone Matrix Asphalt**

A mistura asfáltica aberta SMA assim denominada em outros países, foi originada na Alemanha no final da década de 1960 sob a denominação de "Splittmastixasphalt", com o objetivo principal de reduzir o desgaste superficial, principalmente pelo polimento dos agregados minerais causados pelo atrito pneu/revestimento, e também as deformações permanentes nos pavimentos asfálticos. O

polimento dos agregados tem grande relação com a condição de desgaste superficial (ação abrasiva do tráfego) e a qualidade dos agregados.

O SMA é uma mistura a quente de graduação descontínua e densa, com uma grande proporção de agregado graúdo, de preferência totalmente britado. É concebida para maximizar o contato entre os agregados minerais graúdos, aumentando assim a interação entre os grãos. Pelo fato de se usar uma graduação descontínua é necessário o uso de adições de fibras à massa asfáltica.

O SMA é uma mistura flexível, estável, resistente a afundamentos de trilha de roda que tem no contato grão/grão o responsável por sua resistência e no mástique a durabilidade da mistura (NAPA, 2002). Resultado de sua constituição granulométrica, a SMA é considerada uma mistura rica em ligante asfáltico possuindo um consumo de ligante em torno de 6 a 7%, gerando uma película maior de ligante, e cerca de 4 a 6% de volume de vazios logo após compactação em pista.

O SMA é utilizada como camada de rolamento numa espessura variando de 1,5 a 4,0cm em função do diâmetro máximo do agregado mineral utilizado na composição da mistura. Não é recomendada a utilização do SMA em espessuras muito superiores a 4,0cm, em decorrência de possibilidade de deformações permanentes, ou seja, maior probabilidade de formação de afundamentos de trilha de roda. No decorrer dos anos o SMA vem sendo utilizado como alternativa para rejuvenescimento de superfícies deterioradas. Para pavimentos que apresentem uma elevada capacidade estrutural, o SMA é empregado visando apenas uma melhoria do desempenho funcional (conforto e segurança aos usuários). Para este caso a camada delgada de SMA pode ser denominada de micro concreto asfáltico a quente, sendo aplicada numa espessura variando entre 1,0 e 2,0cm (BELIGNI et al., 2000).

A mistura SMA reúne as seguintes características (EAPA, 1998; HORST, 2000):

- estabilidade a elevadas temperaturas – Ajudada pelo esqueleto mineral formado com agregados de elevada qualidade que aumenta o atrito interno;
- flexibilidade a baixas temperaturas – Se dá pelo mástique rico em ligante que proporciona propriedades superiores às misturas convencionais de granulometria fechada com relação a trincas térmicas;
- elevada resistência ao desgaste – A mistura SMA tem baixo índice de vazios o que a faz ser impermeável, fornecendo também satisfatória resistência ao envelhecimento, baixa sensibilidade à umidade e alta durabilidade;

- elevada adesividade entre os agregados minerais e o ligante – Com o aumento da quantidade de filler, fibras de celulose são adicionadas para estabilizar a mistura. A estrutura tridimensional da fibra de celulose ajuda o ligante a manter a viscosidade, engrossa o filme de ligante e melhora a adesividade agregado/ligante;

- resistência a derrapagem devido à macro-textura da superfície de rolamento;

- redução do “spray” ou borriço de água – Por causa da textura da mistura, há diminuição do “spray” de água em dias chuvosos, e existe também uma diminuição no reflexo ofuscante noturno na superfície de rolamento, melhorando também a visibilidade das sinalizações horizontais da pista;

- redução do nível de ruído – A mistura SMA geralmente proporciona menores níveis de ruído devido às propriedades da textura que se obtém com esse tipo de mistura asfáltica.

#### **2.5.4 - PMF – Pré-misturado a frio**

As misturas ditas a frio são preparadas com emulsão asfáltica ou asfalto diluído. As emulsões asfálticas podendo ser aniônicas e catiônicas. Com graus MS e SS para aniônicas e RM e RL para as catiônicas. Os asfaltos diluídos podendo ser os de graus CM e CL. Os agregados minerais variam desde a brita de graduação aberta até um solo granular fino. Onde os agregados podem estar úmidos, secos ao ar ou artificialmente aquecidos e secos.

Segundo o Manual de Asfalto (1999), o tipo de asfalto selecionado para uso na construção depende muito do agregado, método de mistura e condições climáticas. Os asfaltos recomendados para diferentes tipos de misturas a frio estão no quadro abaixo:

As misturas preparadas numa instalação de mistura fixa admitem, geralmente, um grau mais viscoso de asfalto do que o usado nas usinas nas estradas. Em condição de tempo fresco é preciso usar um grau de viscosidade mais baixo e permitem-se asfaltos de cura ou ruptura mais rápida do que nas condições de mistura de tempo mais quente ou muito quente (MANUAL DE ASFALTO, 1999).

As misturas asfálticas preparadas com emulsão asfáltica não exigem agregados tão secos quanto às preparadas com asfaltos diluídos. Isto reduz a quantidade de manipulação e a extensão de secagem ao ar antes de misturar os agregados com asfalto. As misturas espalhadas a frio que são preparadas para a manutenção, sendo empilhadas por certo tempo, são usualmente preparadas com um dos graus de menor viscosidade dos asfaltos diluídos CM e CL (MANUAL DE ASFALTO, 1999).

O teor de asfalto para a mistura a frio pode ser determinado com o auxílio dos seguintes métodos: Métodos de Ensaio à Deformação e Coesão de Misturas asfálticas por meio do aparelho de

Hveem, D 1560 e Método do Equivalente Centrifugo de Querosene da ASTM. Pode-se estimar ainda através de formulas teóricas o teor de asfalto, quando não tiver equipamentos de laboratórios (MANUAL DE ASFALTO, 1999).

A mistura a frio deve atender a especificação ES-P 23/05 DER/PR que trata de pré-misturado a frio. A composição da mistura deve atender a DNIT- ME 083/98 e suas respectivas tolerâncias no que diz respeito à granulometria. As condições de vazios, estabilidade e fluência devem ser estabelecida com auxílio do Ensaio Marshall (DNIT- ME 107/97).

## **2.6 - RECICLAGEM DE PAVIMENTOS**

Segundo Fonseca (2002), a reciclagem de pavimentos é uma técnica cujo objetivo fundamental é transformar um pavimento degradado numa estrutura homogênea e adaptada ao tráfego que deverá suportar. O mas correto, consiste em reutilizar os materiais existentes na construção de uma nova camada, mediante a desagregação dos mesmos numa certa profundidade, a adição de um aglomerante (cimento ou emulsão), água (para a hidratação, pré-molhagem e compactação), eventualmente agregados (como corretores granulométricos ou com outros fins) e algum aditivo. A mistura homogênea destes materiais, espalha-se, compacta-se e deixa-se curar adequadamente, constituindo uma base ou uma camada estruturalmente resistente de um novo pavimento.

Segundo o autor o objetivo fundamental da reciclagem de um pavimento é melhorar as suas características e comportamento quando solicitado pelo tráfego. Como conseqüências possíveis podem ocorrer:

- transformação de um pavimento degradado e heterogêneo numa estrutura resistente e mais homogênea;
- aumento da capacidade de suporte, adaptando-a às solicitações do tráfego;
- aumento da sua durabilidade: com redução da susceptibilidade à água e aumenta a resistência à erosão;
- proteção o leito do pavimento e das camadas inferiores do pavimento, cujas características são muitas vezes deficientes.

Soto et al. (2008) a reciclagem é uma das soluções possíveis para a reabilitação de pavimentos muito degradados e consiste na reutilização dos materiais provenientes dos pavimentos em serviço, que se encontram deteriorados, tendo perdido grande parte das suas propriedades iniciais, ou cujas características se pretende melhorar. O objetivo da reciclagem de um pavimento é restituir as

propriedades originais do material que se fresa e, se possível, melhorá-las. Estas propriedades são basicamente a resistência mecânica, a resistência à ação da água e a resistência à fadiga que é parcial ou mesmo totalmente eliminada. A reciclagem das camadas betuminosas existentes permite não só dar uma resposta adequada ao problema cada vez maior de escassez de agregados como também às exigências ambientais em termos de depósito de resíduos provenientes da fresagem de pavimentos.

Nicholls, 1998 e Roberts et al., 1996 afirmam que o uso de reciclagem a quente teve início na Índia e Singapura, no início da década de 30. Entretanto, sua utilização em larga escala só teve desenvolvimento na década de 70 com o aumento dos custos de construção rodoviária decorrente da alta do preço do petróleo (Roberts et al., 1996). No Brasil, o processo de reciclagem de pavimentos iniciou na década de 80, contemplando somente o concreto betuminoso usinado a quente reciclado, DNER [2006]. Poucas reciclagens de revestimentos asfálticos foram realizadas até então. No Norte e Nordeste brasileiros não há registro de nenhum projeto do conhecimento dos autores que contemple o uso de tal técnica. Segundo Silveira et al. (2002), nos Estados Unidos cerca de 33% dos pavimentos asfálticos fresados são utilizados para reciclagem.

Segundo Sachet et al. (2008), no Brasil, a inexistência de especificações técnicas, para execução de serviços de restauração de pavimentos contemplando a reciclagem in situ da base granular, tem impedido, na prática, a elaboração de projetos e a conseqüente adoção de medidas desse tipo pelos órgãos públicos responsáveis pela manutenção das rodovias em nosso país. Um aspecto importante a ser destacado, nesse contexto, é o fato de que as obras rodoviárias geram grandes quantidades de material fresado quando da restauração dos pavimentos. Nesse sentido, a técnica de reciclagem in situ viabiliza a reutilização desse material evitando, dessa forma, uma maior agressão ao meio ambiente.

A Associação de Reciclagem Asfáltica dos Estados Unidos (The Asphalt Recycling and Reclaiming Association-ARRA), classifica os tipos de reciclagem em cinco categorias de acordo com os métodos de execução: Reciclagem a frio (Cold planning), Reciclagem a frio in-situ (Cold in-place recycling), Reciclagem a quente (Hot recycling), Reciclagem a quente "in situ" (Hot in-place recycling), Reciclagem de camadas do pavimento (Full depth reclamation).

### **2.6.1 - Reciclagem a frio**

A técnica de reciclagem a frio remove o pavimento asfáltico a uma certa profundidade desejada, em seguida restaura através da confecção de uma nova camada superficial. Esta técnica tem como objetivo fazer a correção de greide na pista, inclinação, ondulações e deformações na camada superficial. Permite também melhorar o atrito entre a superfície de rolamento e os pneus dos veículos

(utilizado também para melhoria de atrito e drenagem de pista de aeroportos). A reciclagem a frio é executada com auxílio de máquina fresado, que possibilita fresar as camadas do pavimento (ASPHALT INSTITUTE, 1989).

### **2.6.2 - Reciclagem a frio in-situ**

A reciclagem a frio in situ possibilita a reabilitação do revestimento existente utilizando-se normalmente asfalto emulsionado a temperatura ambiente, para produzir uma nova camada asfáltica com características semelhantes às de pré-misturada a frio (PMF). O processo consiste basicamente da extração de uma determinada profundidade do revestimento, adicionando-se emulsão asfáltica, aditivos, e espalhando-a e compactando em seguida através de equipamentos apropriados. A espessura máxima alcançada com este tipo de reciclagem varia normalmente entre 75 a 100 mm. As reciclagens a frio in situ têm sido indicadas para vias rurais e urbanas, com baixos e altos volumes de tráfego (KEARNEY, 1997).

O processo de reciclagem in situ consta essencialmente de três operações: exploração de materiais granulares que representa o pavimento existente, fresando-o até uma determinada profundidade para recuperar o material utilizado na sua construção; a mistura, a frio, do material desagregado no próprio local. À mistura geralmente se junta a água (hidratação ou pré-molhagem), aos ligantes (emulsão betuminosa, espuma de betume, cimento ou cal) e aos agregados para eventual correção da distribuição dos tamanhos das partículas; e finalmente, a compactação da mistura e o seu nivelamento para que se obtenha uma nova camada do pavimento (FONSECA, 2002).

A Figura 2.3 e a Figura 2.4 ilustram o processo de reciclagem a frio in situ, onde a emulsão betuminosa usada é transportada através de um tanque, que se localiza à frente do misturador de Slurry.

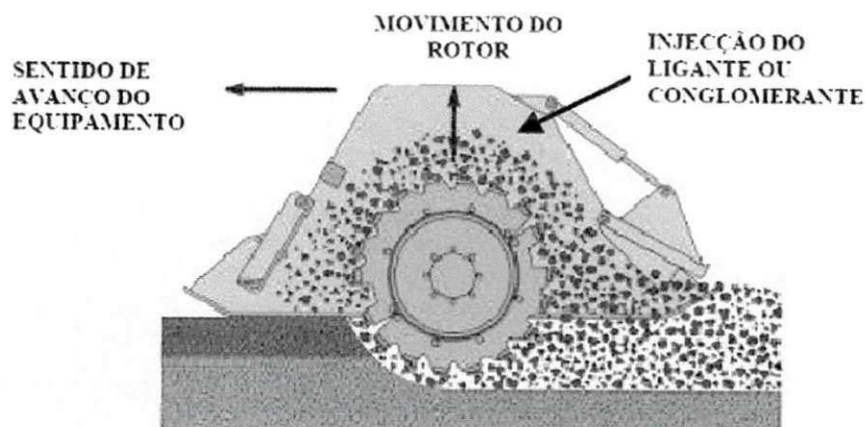


Figura 2.3 - Esquema de reciclagem in situ [Fonte: Fonseca, 2002]



Figura 2.4 - Reciclagem a frio in situ, onde a emulsão betuminosa [Fonte: Araújo, 2007]

### 2.6.3 - Reciclagem a quente

A reciclagem a quente consiste no método no qual o pavimento asfáltico existente é removido por intermédio de uma fresadora ou outro equipamento capaz de arrancar a camada superficial total ou parcialmente a uma profundidade previamente estabelecida que é depois transportada para um local de estocagem para que seja reciclada em usina.

São utilizados dois tipos de usinas para a reciclagem do asfalto removido. Usinas do tipo gravimétricas ou verticais (Batch Plants) e usinas horizontais (Drum Mixer) (ASPHALT INSTITUTE, 1986). As usinas gravimétricas consistem basicamente de um depósito para armazenar os agregados, um secador para retirar a umidade dos mesmos, um depósito para o material fresado, um elevador para transportar o material para a parte superior da torre, onde os mesmos serão separados com

auxílio de peneiras vibratórias. Os agregados aquecidos e separados granulometricamente são descarregados dentro de um depósito, onde a correta proporção de cada agregado é determinada por peso e misturado com o asfalto (e AR, se for o caso) na proporção estabelecida no projeto de mistura dentro do pugmill (misturador).

O tempo de mistura é de aproximadamente 25 a 30 segundos, tempo necessário para que o AR se disperse na mistura, já que entre outras coisas o desempenho da mistura reciclada depende da eficiência de como o agregado virgem e o ligante (asfalto + AR) são misturados com o material fresado, e da forma com que o agregado é envolvido por este ligante. A distribuição do AR na mistura reciclada é função do tempo com que ela é executada (LEE al., 1983). Quando a mistura está completada, a parte inferior do pugmill é aberta e a mistura asfáltica reciclada é descarregada dentro da carroceria do veículo de transporte. O material fresado pode ser adicionado aos novos agregados em três locais diferentes na usina, no fundo do elevador, nos depósitos aquecidos dos agregados dentro da torre ou, como é mais comum, no depósito alimentador para pesagem (weigh hopper) (USACE, 2000).

A quantidade de material fresado a ser adicionada à mistura reciclada depende de três fatores: teor de umidade, temperatura desejada para a mistura asfáltica, e temperatura dos agregados novos previamente aquecidos. Se a temperatura do material fresado for próxima à temperatura ambiente, e se o seu teor de umidade for mínimo, é possível utilizar 50% de material fresado na nova mistura asfáltica reciclada (ASPHALT INSTITUTE, 1986).

As usinas do tipo Drum Mixer possuem cinco componentes principais: depósitos para estocagem dos agregados; tanque de suprimento de asfalto; tambor misturador; silos de armazenagem da mistura pronta e equipamento de controle de emissões poluentes. Os materiais agregados estocados são dosados conforme o projeto de mistura e transportados através de esteiras até o tambor onde se dá o aquecimento necessário para a mistura atingir aproximadamente 175°C. Uma usina convencional do tipo Drum Mixer possui um sistema de fluxo paralelo, ou seja, os gases da exaustão e os agregados movem-se dentro do tambor na mesma direção.

O material fresado incorpora-se à mistura na porção média do tambor por intermédio de correia transportadora do local onde está estocado até o colar adaptado no tambor para essa finalidade. A entrada do material fresado na porção média do tambor é para evitar que o mesmo não sofra um super aquecimento, aumentando a emissão de hidrocarbonetos no fenômeno chamado de Blue Smoke. Após a mistura do agregado com o fresado no interior do tambor, adiciona-se asfalto novo e agente rejuvenescedor (se for o caso) na parte final do tambor misturador. Com a mistura pronta transporta-se a mesma até os silos de armazenagem, de onde são abastecidos os veículos transportadores da



mistura (USACE, 2000). Usinas do tipo Drum Mixer permitem que sejam aproveitados até 70% de material fresado na mistura reciclada (ASPHALT INSTITUTE, 1986).

As técnicas de aplicação e compactação de misturas asfálticas recicladas são as mesmas empregadas para as misturas convencionais. The Federal Highway Administration (FHWA) apresentou os resultados das pesquisas feitas em 17 estados norte-americanos sobre o desempenho de misturas asfálticas recicladas, realizadas no período compreendido entre 1992 e 1995. Esta pesquisa mostrou que aproximadamente 33% dos pavimentos asfálticos fresados são reciclados (FHWA, 1996). O consenso destes estados foi de que misturas asfálticas recicladas possuem desempenho igual, ou melhor, que as misturas asfálticas convencionais, desde que projetadas e produzidas adequadamente. Decker (1997), Paul (1996) e Kandhal et al. (1995), nos seus estudos sobre pavimentos reciclados nos estados da Geórgia e Louisiana (Estados Unidos) respectivamente, mostraram não haver diferenças significativas no desempenho entre misturas recicladas e convencionais, após alguns anos de uso. Estudos semelhantes feitos por Hossain no sudoeste do Arizona, onde foram analisados parâmetros de rugosidade da camada de superfície, resistências à derrapagem e dados de trincamento mostraram desempenho semelhante (HOSSAIN et al., 1993).

Solaimanian e Tahmoresi (1995), pesquisando misturas asfálticas recicladas recém aplicadas, com teores de fresado variando entre 35% a 50%, encontraram grande variação na granulometria, volume de vazios e estabilidade, comparados com revestimentos asfálticos convencionais também recém aplicados.

#### **2.6.4 - Reciclagem a quente "in situ"**

A reciclagem de misturas asfálticas a quente realizada "in situ" é definida como um processo de correção da superfície do pavimento asfáltico. Consiste na remoção mecânica da superfície asfáltica, através de aquecimento e conseqüente amolecimento (fresagem a quente). Esta superfície é então misturada com o ligante asfáltico, agregados virgens, e agentes rejuvenescedores. Após este processo, a mistura reciclada é recolocada sobre o pavimento remanescente.

A reciclagem a quente in situ pode ser feita com uma operação de uma passagem única do equipamento reciclador, que combina o pavimento restaurado com materiais virgens, ou com dupla passagem onde o material reciclado é recompactado, seguido da aplicação de uma nova mistura asfáltica (Terrel et al., 1997). Existem três processos básicos de reciclagem a quente in situ: (i) Escarificação com aquecimento (Heater-scarification), no qual o pavimento é aquecido, escarificado, rejuvenescido, nivelado, reperfilado e compactado; (ii) Repavimentação (Repaving), onde é utilizado o mesmo procedimento citado acima, com a adição de uma nova camada de mistura asfáltica de pouca

espessura sobre a superfície reciclada; (iii) Remixing, processo similar aos anteriores, porém com um aquecimento mais efetivo, permitindo a colocação de revestimento mais espesso, e uma melhoria no revestimento velho com correções na granulometria do agregado ou ajustes nas propriedades do ligante.

Existem equipamentos especiais que permitem o aquecimento do pavimento existente, facilitando a sua desagregação e a mistura com um agente rejuvenescedor, geralmente uma emulsão betuminosa especificamente estudada para o tipo de mistura asfáltica a reciclar. Este método é utilizado em estradas e auto-estradas essencialmente para rejuvenescer a camada de desgaste do pavimento (FONSECA, 2002).

### **2.6.5 - Reciclagem de camadas do pavimento**

A Reciclagem de camadas de pavimento é simplesmente a adição de material novo, geralmente inserida no material fresado para a criação de uma camada de base ou sub-base estabilizada. Esses materiais podem ser: cal hidratada, cimento, agregados (miúdo e/ou graúdo), emulsões, agentes químicos etc. Segundo os estudos de Soares et al. (2000) mostra que a incorporação de brita às camadas de base tem quase sempre aumentado o desempenho à resistência a deformação permanente, porém não indicando necessariamente aumento de módulo de resiliência, sendo assim necessário um estudo mais profundo, quando houver a incorporação de qualquer que seja o tipo de brita.

Segundo Fonseca (2002) os tipos de reciclagem podem-se distinguir entre si no que respeita ao local onde se produz a mistura e a temperatura a que esta se produz, pelas características do material a reciclar e pelo tipo de asfalto utilizado. Deve-se ressaltar que por causa dos equipamentos disponíveis, as técnicas de reciclagem in situ apresentam vantagens sobre às técnicas de reciclagem em centrais, dentre elas o autor cita:

- menor custo uma vez que não é necessário levar o material para uma central;
- menor consumo energético;
- menor degradação das estradas existentes, uma vez que não é necessário transportar o material.

### **2.7 - DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS RECICLADAS**

As dosagens de misturas asfálticas recicladas a quente seja qual for o método de dosagem são utilizados, geralmente, como base os seguintes parâmetros: coleta de amostras de agregados, análise

granulométrica do material fresado com e sem ligante asfáltico, determinação do teor de CAP e da viscosidade do CAP envelhecido, propriedades físicas dos CAPs novos e dos agregados.

Existem vários tipos de dosagem de misturas asfálticas recicladas a quente. As mais utilizadas são as dosagens do Asphalt Institute e a sugerida pelo o Programa SUPERPAVE (Superior Performance Pavement).

Os procedimentos de dosagens de misturas asfálticas recicladas a quente seguem uma metodologia baseada na relação entre o CAP envelhecido e o CAP novo e a adição quando necessário de um agente rejuvenescedor de acordo com o preconizado pela norma D4887 da ASTM.

Um rejuvenescedor é um produto que confere os componentes do asfalto que se perderam como consequência do seu envelhecimento, devolvendo-lhe as suas características originais (físicas e químicas) perdidas. Tratam-se de produtos formulados com componentes dos maltenos e um conteúdo em asfaltenos muito baixo. Nunca fazem parte da sua composição fluxantes ou fluidificantes, por muito alto intervalo de destilação que possuam. Dependendo da composição do asfalto envelhecido, a composição do rejuvenescedor variará pelo que se tratam de produtos feitos à medida para as circunstâncias concretas de cada projeto e da fórmula de trabalho selecionada (DUEÑAS, 2007).

No Brasil as normas utilizadas para reciclagem a quente e a frio "in situ" são, respectivamente, ES 033/2005 e ES 034/2005 do DNIT. Castro Neto (2000) desenvolveu uma nova proposta para dosagem de misturas recicladas a quente, no qual parâmetros mecânicos são usados para a determinação do teor de projeto de ligantes rejuvenescidos.

A avaliação de desempenho de misturas asfálticas recicladas pode ser feita por intermédio de ensaios destrutivos, como os testes de compressão diametral, baseados nos comportamentos elásticos e visco-plástico das misturas, ensaios empíricos que correlacionam os seus resultados com o desempenho no campo (testes de estabilidade Marshall ou Hveem), e ensaios não destrutivos, baseados nas teorias da mecânica dos materiais (Modulo de Resiliência, compressão axial), e ainda com testes utilizando o ultrassom (NOURRELDIN e WOOD, 1989). A caracterização mecânica das misturas asfálticas feita através dos ensaios de carga repetida para a determinação do Modulo de Resiliência ME 133/94 e Resistência a tração por compressão diametral ME 138/94 do DNIT, vida de fadiga e deformação permanente, por suas relativas simplicidades na moldagem dos corpos-de-prova e na execução dos ensaios, têm sido bastante utilizada no Brasil (MOTTA, 1991; BENEVIDES, 2000).

## 2.8 - TIPOS DE FRESAGENS

A fresagem é um método de retirada da camada asfáltica de revestimento por completa ou parcialmente. Existem quatro tipos de fresagem: fresagem fina, fresagem de pequeno porte, fresagem de médio porte e fresagem de grande porte (Figura 2.5).



Figura 2.5 – Fresagem “in situ” de camada asfáltica [Fonte: [www.fresar.com.br](http://www.fresar.com.br)]

### 2.8.1 - Fresagem Fina

Fresagem Fina é o corte ou desbaste de uma espessura determinada do pavimento com o objetivo de restaurar sua funcionalidade conferindo uma melhor textura à superfície do pavimento, seja para aumentar sua resistência a derrapagem, ressaltar sua aderência a uma nova camada sobrejacente ou corrigir as irregularidades longitudinais e transversais [www.fresar.com.br].

Por sua característica intrínseca, a fresagem fina confere ao um pavimento um padrão de regularidade muito apurado no perfil transversal e longitudinal na sua superfície. Esse padrão só pode ser obtido com auxílio de sensores eletrônicos e do tambor especial com maior número de ferramentas de corte.

### 2.8.2 - Fresagem de Pequeno Porte

A fresagem de pequeno porte (FPP) é um processo de remoção seletiva de uma camada do revestimento de um pavimento realizado por equipamentos com potência de até 120HP e tambor de corte de 500 mm de largura. A FPP é indicada para as fresagens localizadas onde a mobilidade e

precisão das manobras é fator crítico para a execução dos serviços. Sua produtividade varia de 200 a 400 metros quadrados por dia em turnos de 10 horas [[www.fresar.com.br](http://www.fresar.com.br)].

### **2.8.3 - Fresagem de Médio Porte**

A fresagem de médio porte (FMP) é um processo de remoção seletiva de uma camada do revestimento de um pavimento realizado por equipamentos com potência entre 180 e 250 HP e tambor de corte de 1 metro de largura. A FMP é indicada para fresagens contínuas e descontínuas de pavimentos asfálticos onde a mobilidade do equipamento e sua capacidade produtiva permitem produções que variam de 20 a 100 mil metros quadrados por mês [[www.fresar.com.br](http://www.fresar.com.br)].

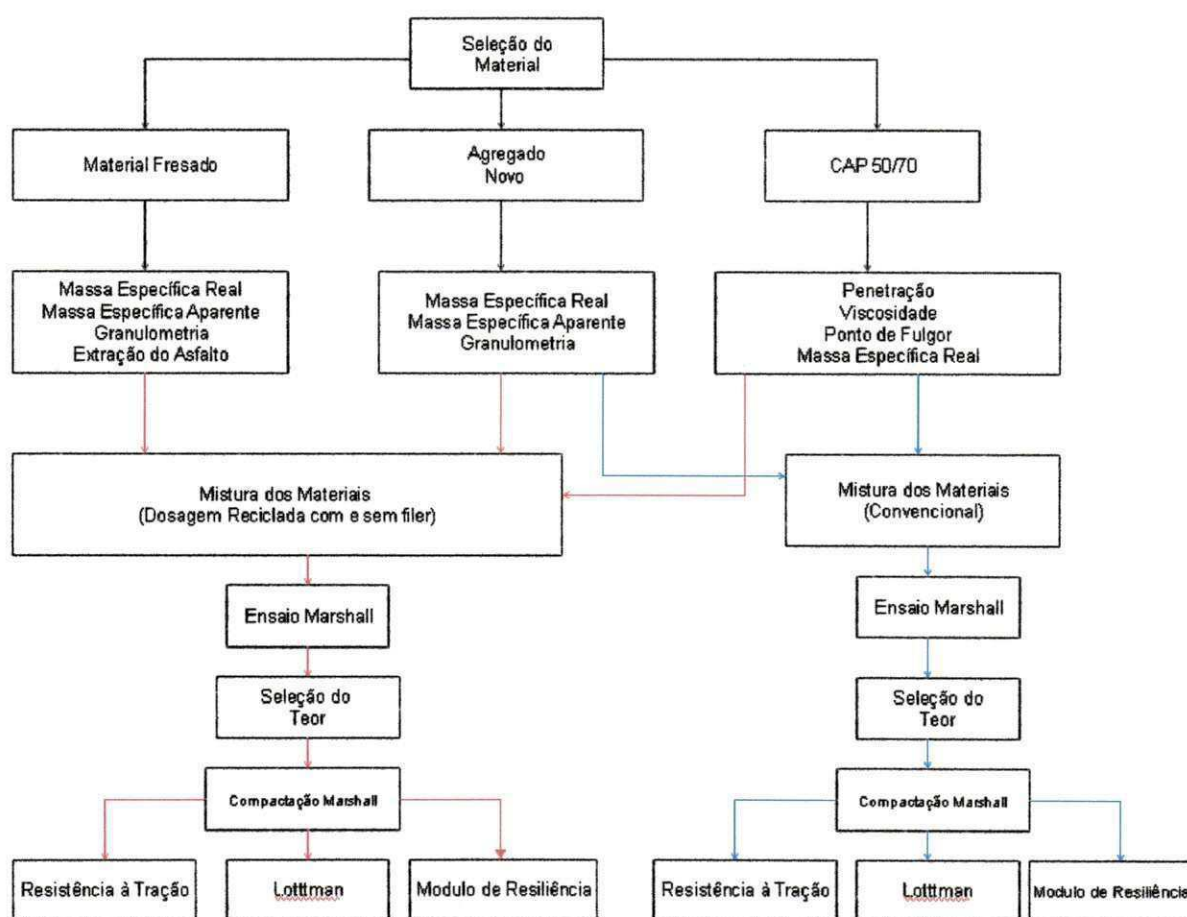
### **2.8.4 - Fresagem de Grande Porte**

A fresagem de grande porte (FGP) é um processo de remoção seletiva de uma camada de mistura asfáltica ou concreto realizado por equipamentos com potência superior a 450 HP, tambor de corte de 2 metros de largura e carregamento frontal. A FGP é solução ideal para serviços que necessitem de alta produtividade. Os Equipamentos de FGP podem produzir de 5000 a 8000 metros quadrados em um único turno de 10 horas [[www.fresar.com.br](http://www.fresar.com.br)].

## CAPÍTULO 3

## 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a descrição dos procedimentos utilizados durante a fase experimental da pesquisa, relacionados aos aspectos inerentes aos critérios adotados, materiais utilizados e as especificações adotadas, os estudos das propriedades físicas e mecânicas dos materiais e das misturas asfálticas projetadas. Os métodos de ensaios utilizados foram baseados em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Departamento de Infra-estrutura e Transportes (DNIT). Os métodos não constantes na normalização são descritos em detalhes. O Fluxograma 3.1 apresenta a seqüência de atividades e dos ensaios realizados.



Fluxograma 3.1 - Seqüência de atividades e dos ensaios realizados na pesquisa

### 3.1 - MATERIAIS

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram disponibilizados pela Associação Técnica Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior - ATECEL. Em seguida estão descritos os materiais, a sua natureza e a origem de cada um deles, na ordem: Material Fresado, Cimento Asfáltico de Petróleo 50/70, Filler (Cal hidratada), Pó de Pedra, Cascalho e Brita 19.

#### 3.1.1 - Material Fresado

Os materiais fresados foram extraídos da camada de rolamento da BR-230, km 199, trecho João Pessoa a Campina Grande no estado da Paraíba. Coletado conforme a norma de "Redução de amostra de campo de agregado para ensaios em laboratórios" PRO 199/96 (DNIT) (Figura 3.1).

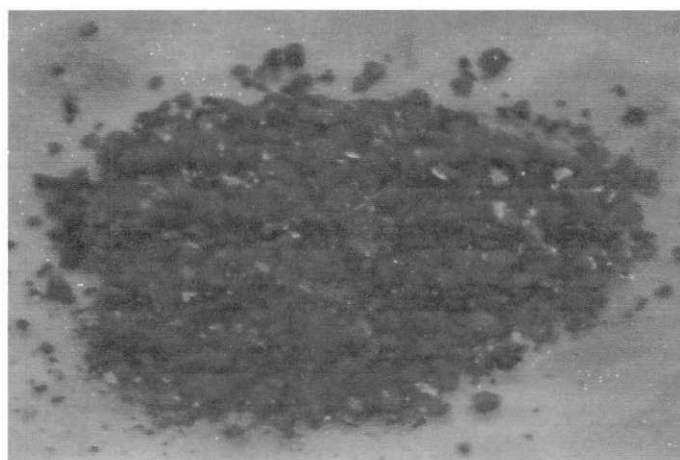
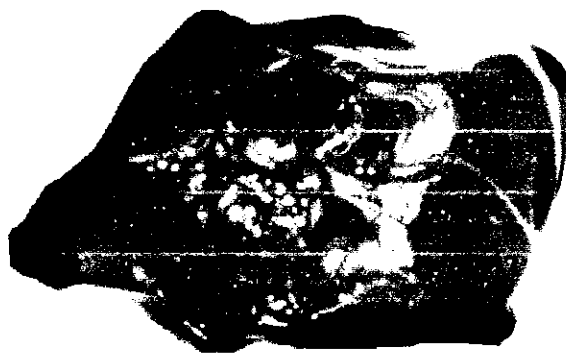


Figura 3.1 -Material Fresado utilizado na pesquisa

#### 3.1.2 - Cimento Asfáltico de Petróleo

Utilizou-se o CAP 50-70 oriundo da usina de Fortaleza/CE, tendo as características de viscosidade 320 s, densidade 1,02 g/cm<sup>3</sup>, ponto de fulgor mínimo 295 °C, penetração 50-70, para a produção tanto da mistura reciclada como para a mistura convencional.



**Figura 3.2 - CAP 50-70 utilizado na pesquisa**

### **3.1.3 - Filler**

O filler empregado na pesquisa foi a cal hidratada como estabilizante químico devido ao seu excelente desempenho em estudos realizados por (QUINTANS, 2008, WALLACE, 2007).

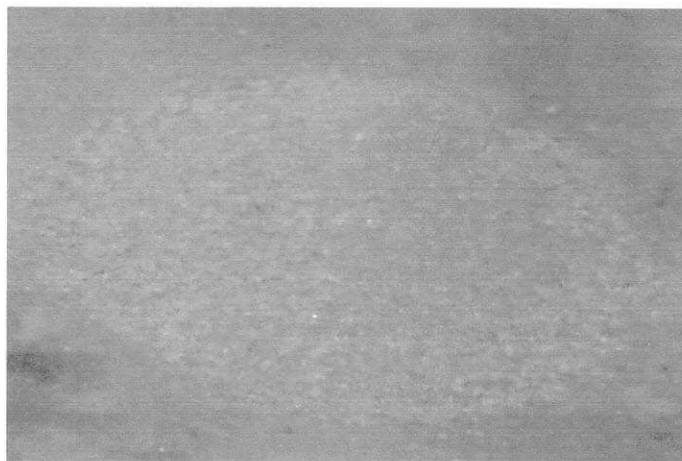


**Figura 3.3 – Filler utilizado na pesquisa**

### **3.1.4 - Pó de Pedra**

O pó de pedra utilizado foi extraído da jazida Britex S/A. A sua extração foi realizada segundo a Norma de “Redução de amostra de campo de agregado para ensaios de laboratórios”, PRO 199/96 (DNIT). Utilizados para os traços que porventura necessitou deste tipo material para a sua estabilização. Com diâmetro variando da peneira N° 4 à peneira de N° 200, conforme a Norma de Agregados – Análise Granulométrica ME 083/98 (DNIT) (Figura 3.4).

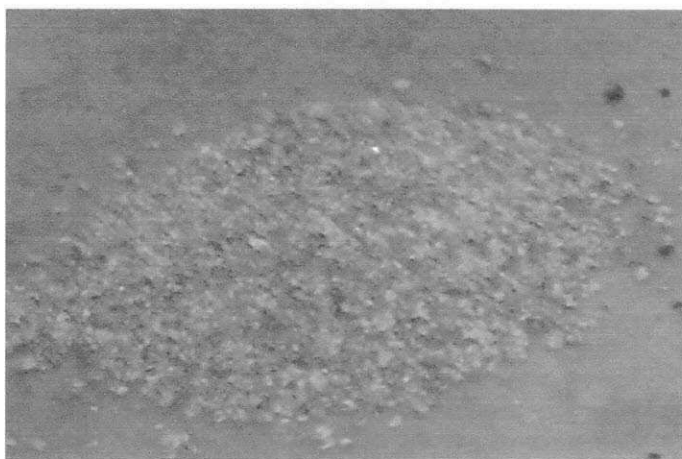




**Figura 3.4 - Pó de Pedra utilizada na pesquisa**

### **3.1.5 - Cascalho**

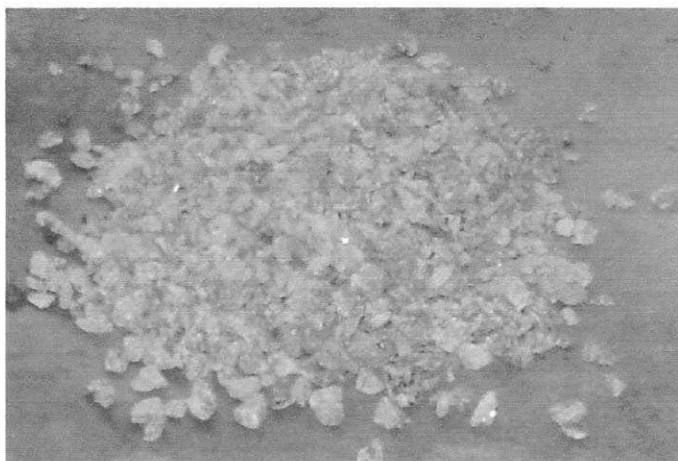
O cascalho utilizado foi extraído da Britex S/A com ensaio de Granulometria de ensaio de acordo o ME 083/98 (DNIT), e extraído conforme o PRO 199/96 (DNIT) (Figura 3.5).



**Figura 3.5 - Pedrisco utilizado na pesquisa**

### **3.1.6 - Brita 19**

A brita 19 foi oriunda da Britex S/A com distribuição dos tamanhos das partículas de acordo com a norma ME 083/98 (DNIT) e PRO 199/96 (DNIT). A brita 19 foi utilizada na mistura convencional e para as misturas que foram constituídas de material fresado (Figura 3.6).



**Figura 3.6 - Brita 19 utilizada na pesquisa**

## **3.2 - MÉTODOS**

O revestimento foi removido mecanicamente por uma máquina tipo fresadora e transportado com auxílio de caminhões basculantes, para locais previamente estabelecidos pela Construtora Via-Engenharia as Margens da BR-230. Os procedimentos de amostragem foram realizados de acordo com a especificação ES-033/2005 do DNIT.

Em seguida são relatados os aspectos considerados importantes, como os procedimentos relacionados aos métodos dos ensaios executados em laboratório, que serviram de base para a pesquisa proposta. As atividades inerentes a esta fase foram classificadas em duas etapas (02), a saber: Etapa 1: Estudos das propriedades física dos materiais, e a Etapa 2: Estudos das propriedades mecânicas das misturas asfálticas;

### **3.2.1 - Estudo das Propriedades Físicas dos Materiais**

Após o transporte do material fresado do campo para o laboratório, foi feita a redução da amostra pelo método de quarteamento seguindo procedimentos sugeridos pelo DNIT. Nesta etapa foi necessária a estocagem das amostras, tomando-se os cuidados necessários para obtenção de amostras representativas com procedimentos que eliminassem a contaminação do material fresado.

Inicialmente foram realizados três ensaios de extração de CAP com o auxílio de um do extrator centrífugo (Figura 3.7). Após o procedimento supracitado foram realizadas as composições das distribuições dos tamanhos de partículas (Análise granulométrica) para as três amostras.



Figura 3.7 – Extrator de asfalto utilizado (Rotarex)

Na Tabela 3.1 estão apresentadas as denominações e os procedimentos utilizados para realização dos estudos das propriedades físicas dos materiais utilizados nesta pesquisa.

Tabela 3.1 - Ensaio e normas utilizadas nesta etapa de pesquisa

Ensaio	Métodos
Determinação da massa específica dos agregados miúdos por meio do frasco Chaplin	DNIT ME 194/98
Determinação da massa específica dos agregados graúdos	DNIT ME 195/97
Distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados	DNIT ME 083/98

Na Tabela 3.2 estão inseridas as normas adotadas para a realização dos ensaios de caracterização física das amostras de CAP.

Tabela 3.2 - Normas dos ensaios de caracterização física das amostras de CAP

ENSAIOS	METODOLOGIA
Viscosidade Saybolt Furol	ABNT – MB 517
Penetração	DNIT- ME 003/99
Ponto de fulgor	DNIT- ME 148/94
Massa específica	DNIT- ME 117/94

### 3.2.2 - Estudo das propriedades mecânicas das misturas asfálticas

Para o estudo das propriedades mecânicas das misturas asfálticas padrão e recicladas foram adicionados agregados graúdos e/ou agregados miúdos novos de forma que a granulometria da mistura se enquadrasse na faixa "C" do DNIT da Especificação de Serviço ES - 031/2006, faixa esta mais comumente utilizada na região Nordeste e também por ser a faixa original de projeto da camada de rolamento da BR-230, antes de ser fresado.

A dosagem Marshall padrão foi realizada para servir de referência na análise comparativa com as misturas recicladas. Para as misturas recicladas foram estabelecidos dois grupos de amostras: no primeiro grupo foi utilizada a cal como filer (teor de 3%), e o segundo grupo onde não houve adição da cal. Em ambos os grupos o método de dosagem da mistura foi o ME-043/95 (DNIT).

Os ensaios realizados para o estudo das propriedades mecânicas das misturas asfálticas foram: ensaio de estabilidade Marshall, ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral, ensaio de Lottman Modificado e o ensaio de Módulo de Resiliência.

#### a) Ensaio Marshall

O ensaio Marshall foi realizado segundo a norma do ME 043/95 do DNIT com corpos-de-prova foram compactados de forma automática (Figura 3.8 e Figura 3.9). Para realização destes ensaios foram moldados corpos-de-prova com teores de CAP variável em função do percentual de material fresado. Este procedimento teve como objetivo a determinação do melhor desempenho, da mistura mecânica, quanto à estabilidade e fluência, e conseqüentemente do teor de CAP ideal respectivo a cada percentual de material fresado. No Quadro 3.1 estão inseridos a descrição e os quantitativos relacionados aos corpos-de-prova moldados.

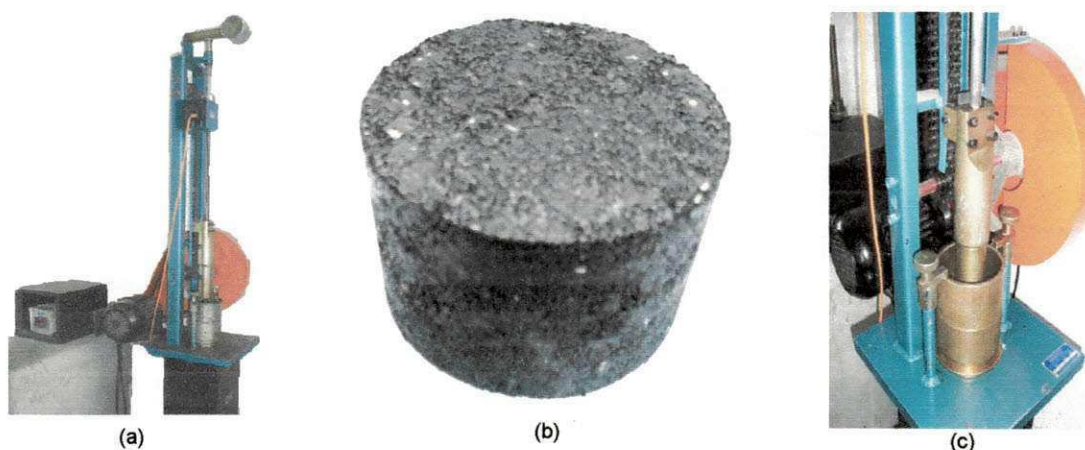


Figura 3.8 - Equipamentos utilizados para realização da compactação dos corpos-de-prova  
(a) Compactador (b) Corpo-de-prova (c) Soquete + Cilindro

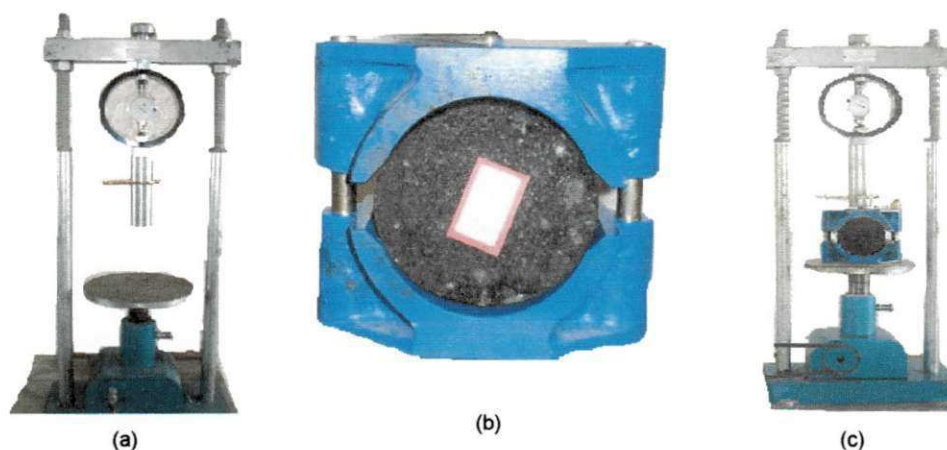


Figura 3.9 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio Marshall  
(a) Prensa (b) Molde (c) Prensa + Molde

Quadro 3.1 – Denominações e quantitativos relacionados aos corpos-de-prova utilizados para a realização do ensaio Marshall

Ensaio Marshall			
Quantidade de Material Fresado (%)	Quantidades de Corpo de provas (Unid.)		
	Com adição de filer	Sem adição de filer	
0	15	0	
10	15	15	
30	15	15	
50	15	15	
75	15	15	
100	0	15	

OBS.: Uma Replica para cada teor ótimo

### b) Ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral

O ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral foi realizado segundo a norma- ME 138/94 do DNIT com a moldagem dos corpos-de-prova realizada com o compactador automático Marshall (Figura 3.8 e Figura 3.9). Para realização destes ensaios foram moldados corpos-de-prova com teores ótimos de CAP obtidos nos ensaios Marshall em função do percentual de material fresado. Este procedimento teve como objetivo a determinação do melhor desempenho mecânico da mistura, quanto à Resistência a Tração por Compressão Diametral, e conseqüentemente do teor de CAP ideal respectivo a cada percentual de material fresado.

No Quadro 3.2 estão inseridos a descrição e os quantitativos relacionados aos corpos-de-prova moldados para o ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral.

**Quadro 3.2 - Descrição e quantitativos dos Corpos-de-prova moldados para o ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral**

Ensaio de Resistência à Tração Indireta à compressão Diametral		
Quantidade de Material Fresado (%)	Quantidades de Corpo de provas (Unid.)	
	Com adição de filler	Sem adição de filler
0	2	0
10	2	2
30	2	2
50	2	2
75	2	2
100	0	2

### c) Ensaio de Lottman Modificado

O ensaio de Lottman foi realizado segundo a norma ME 138/94 do DNIT e T 283-02 da American Association of State Highway Officials (AASHTO) com o auxílio da prensa Marshall e do pórtico de Lottman (Figura 3.10). Este ensaio também é adotado para a verificação da susceptibilidade de misturas asfáltica à presença de água nos três níveis pela metodologia preconizada pelo programa SUPERPAVE.



(a)



(b)



(c)

**Figura 3.10 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de tração indireta (a) Banho Maria (b) Pórtico de Lottman (c) Bomba de vácuo**

De acordo com Furlan (2004) o principal ensaio utilizado na avaliação dos danos por umidade das misturas asfálticas é o ensaio de tração por Compressão Diametral, isto é justificável por, durante a realização do ensaio, ocorrer o esforço ao qual a película de asfalto é submetida quando deslocada/arrancada e por também apresentar sensibilidade suficiente para diagnosticar variações na resistência ou perdas de coesão da mistura.

A moldagem dos corpos-de-prova foi realizada com o compactador automático Marshall (Figura 3.10) com teores ótimos de CAP obtidos nos ensaios Marshall em função do percentual de material fresado. Este procedimento teve como objetivo a determinação do melhor desempenho mecânico da mistura, quanto a Relação das Resistências à Tração por Compressão Diametral, e conseqüentemente do teor de CAP ideal respectivo a cada percentual de material fresado.

No Quadro 3.3 estão inseridos a descrição e os quantitativos relacionados aos corpos-de-prova moldados para o ensaio de Lottman Modificado.

**Quadro 3.3 – Denominações e quantitativos relacionados aos corpos-de-prova utilizados para a realização do ensaio de Lottman Modificado**

Quantidade de Material Fresado (%)	Ensaio Lottman Modificado	
	Quantidades de Corpo de provas (Unidade)	
	Com adição de filer	Sem adição de filer
0	2	0
10	2	2
30	2	2
50	2	2
75	2	2
100	0	2

O condicionamento foi obtido com a saturação dos corpos-de-prova in natura a vácuo, com período de dezesseis horas de resfriamento a dez graus Celsius (10°C) e subseqüente disposição em banho-maria a sessenta graus Celsius (60°C) por dezesseis horas. Após estes procedimentos, os corpos-de-prova foram rompidos.

O processamento dos resultados obtidos com realização dos ensaios de Lottman foi feito com a Fórmula [01] onde foram obtidos os valores de Resistência à Tração (RT) para cada corpo-de-prova rompido. Com os valores da RT foi possível calcular a Relação entre as Resistências à Tração (RRT) por Compressão Diametral.

$$RT = \frac{2P}{\pi tD}$$

[01]

Onde:

P – carga lida (kgf)

t - altura do corpo-de-prova (cm)

D - diâmetro do corpo-de-prova (cm)

Para Lottman (1978) apud Furlan (2004) a presença de água congelada nos poros a mistura asfáltica simula as tensões de tração no CBUQ, devido à expansão causada pela formação de cristais de gelo. Como consequência desta expansão pode haver ruptura de ligações adesivas mais frágeis ou de agregados porosos ou fissurados, comprometendo a durabilidade da mistura. Entretanto, na Região Nordeste, dificilmente a temperatura dos revestimentos asfálticos pode apresentar valores de menos dezoito graus Célsius ( $-18^{\circ}\text{C}$ ), como preconizado pela norma T 283-02 da AASHTO. Por isso, nesta fase experimental os corpos-de-prova foram submetidos a uma temperatura próxima ao valor de 10 Graus Célsius, a qual pode ocorrer em algumas localidades do Nordeste.

#### **d) Ensaio de Módulo de Resiliência**

O ensaio de MR de misturas asfálticas é realizado aplicando-se uma carga repetida no plano diametral vertical de um corpo-de-prova cilíndrico regular. Essa carga gera uma tensão de tração transversal ao plano de aplicação da carga. Mede-se então o deslocamento diametral recuperável na direção horizontal correspondente à tensão gerada, numa dada temperatura. O ensaio de Módulo de Resiliência foi realizado de acordo com as normas E 468-90 da ASTM e ME 133/94 (DNIT, 1994). A Figura 3.11 apresenta o equipamento utilizado nesta fase experimental.

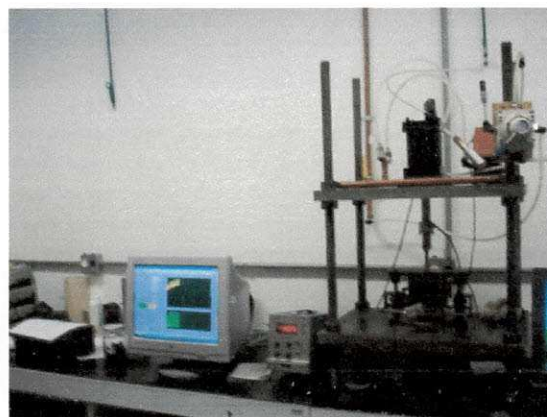
Nesta fase experimental foram rompidos oito (08) corpos-de-prova com o auxílio do equipamento de Módulo de Resiliência da USP moldados, segundo procedimento Marshall, com o teor fixo de filer Cal de 3%, e variação do percentual de material fresado de 10%, 30%, 50% e 75% (Quadro 3.4).

Para a execução do ensaio e do processamento de dados foram utilizados dois programas de computador desenvolvidos na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) pelo professor Glaucio Túlio Pessa Fabbri. A Figura 3.12 e a Figura 3.13 apresentam as janelas de trabalho do programas de computador utilizados nesta fase experimental.



**Quadro 3.4 - Descrição e quantitativos dos corpos-de-prova utilizados para realização dos ensaios de MR**

Ensaio de Modulo de Resiliência	
Quantidade de Material Fresado (%)	Quantidades de Corpo de provas (Unidade)
	Com adição de filer
0	2
10	2
30	2
50	2
75	2



**Figura 3.11 - Equipamento utilizado para realização do ensaio de módulo de resiliência**

Na fase inicial de realização do ensaio os primeiros 30 a 40 ciclos de carregamento foram considerados períodos de condicionamento e os ciclos de 60 a 70 foram considerados para o cálculo do MR.

A adoção de 30 a 40 ciclos de carregamento foi descrita e justificada por Furlan (2006) por entender que durante o período das primeiras aplicações de carga podem resultar em valores do MR incorretos devido a acomodações do corpo-de-prova, ou seja, a fase visco-elástica pode não ser "alcançada". Deste modo, a autora sugere que os primeiros ciclos de carregamento devam ser eliminados para uma melhor homogeneidade e qualidade dos resultados.

Foi fixada uma deformação inicial para os ensaios da ordem de 2,5 a 3,0 milésimos de milímetro. Este procedimento foi adotado para preservar a integridade do material sem propiciar o aparecimento de sinais de fadiga.

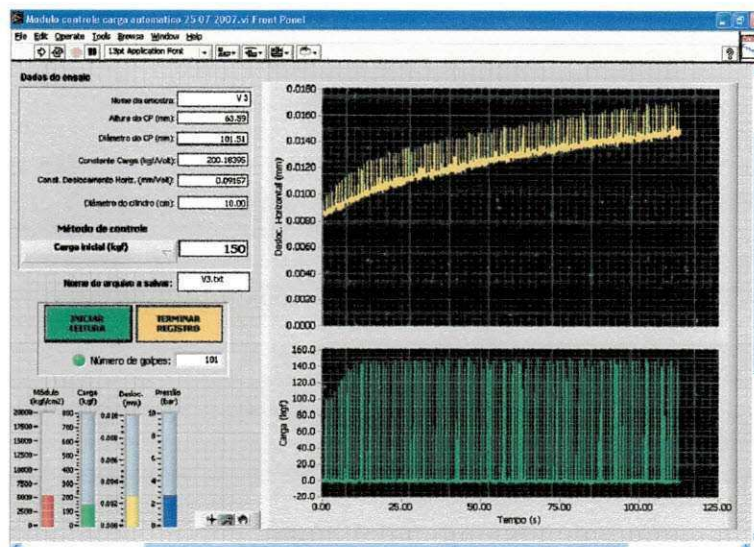


Figura 3.12 – Programa utilizado para realização do ensaio de módulo de resiliência

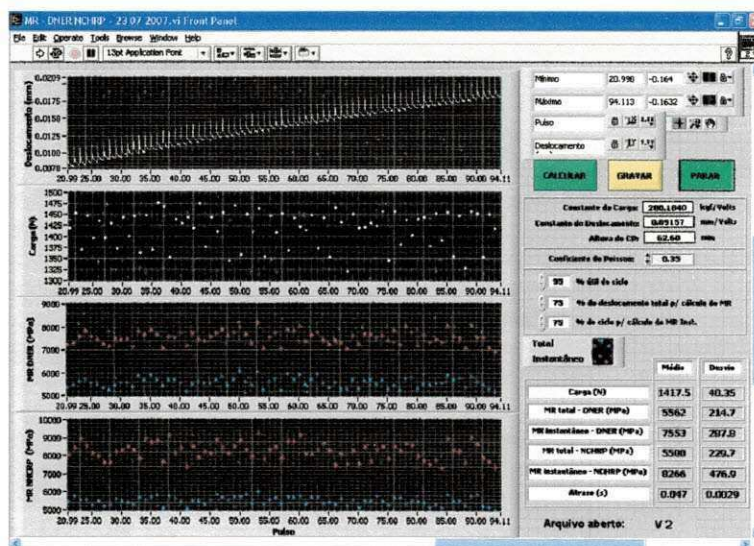


Figura 3.13 – Programa utilizado para o processamento dos dados e cálculo do MR

### e) Método teórico para estimativa de teor de CAP para misturas recicladas (Asphalt Institute)

A utilização do Método Asphalt Institute para a estimativa teórica do teor de CAP para as misturas recicladas teve por objetivo a análise comparativa entre este e os valores obtidos de forma empírica nesse estudo.

A metodologia seguida pelo Asphalt Institute para misturas asfálticas recicladas é baseada na consistência do asfalto existente na mistura fresada, para a determinação do teor de CAP novo e/ou agente rejuvenescedor, de acordo com a norma D 4887 da ASTM.

As etapas para a estimativa do teor de CAP (Asphalt Institute) estão descritas abaixo:

- coleta do material para amostragem (material fresado, agregados novos);
- extração do CAP da mistura fresada e estimativa do teor de CAP;
- distribuição dos tamanhos das partículas do material fresado com asfalto;
- distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados novos;
- realização de ensaios de propriedades físicas do CAP novo e dos agregados novos.

Para o cálculo da demanda de asfalto, calcula-se a quantidade de asfalto necessária pelo uso da seguinte fórmula empírica:

$$P_b = 0,35a + 0,045b + K.C + F \quad [02]$$

Onde:

$P_b$ : demanda aproximada de asfalto total para a mistura reciclada em porcentagem de peso da mistura;

a: percentual do agregado mineral retido na peneira de diâmetro 2,36mm (nº 8);

b: percentual de agregado mineral passando na peneira de diâmetro 2,36mm (nº 8) e retido na peneira de diâmetro 0,075mm (nº 200);

C: percentual de agregado mineral passando na peneira diâmetro 0,075mm (nº 200);

K: constante, função da quantidade de material que passa na peneira diâmetro 0,075mm (nº 200), poderá assumir os seguintes valores:

•K= 0,15 para 11-15% passando na peneira nº 200

•K = 0,18 para 6-10% passando na peneira nº 200

•K = 0,20 para 5% ou menos passando na peneira nº 200

F: fator de absorção dos agregados com valores entre 0 e 2%. Na falta de outros dados utilizar 0,7%.

A quantidade de asfalto novo que deverá ser adicionado à mistura reciclada é demonstrada em porcentagem do peso total da mistura e determinada pela seguinte fórmula:

$$P_{nb} = \frac{(100^2 - r.P_{sb})P_b}{100.(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r).P_{sb}}{(100 - P_{sb})} \quad [03]$$

Onde:

P<sub>nb</sub>: percentual de asfalto novo na mistura reciclada;

r: percentual em peso de agregado novo na mistura reciclada;

P<sub>b</sub>: demanda aproximada de asfalto total para a mistura reciclada em porcentagem de peso da mistura;

P<sub>sb</sub>: teor de asfalto do material fresado em porcentagem.

**CAPÍTULO 4****4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo são apresentados os resultados e realizadas as inferências relacionadas ao objetivo do trabalho. A seqüência do relato foi estabelecida conforme a ordem abaixo:

- Estudo das Propriedades Físicas dos Materiais;
- Estudo das Propriedades mecânicas das misturas asfálticas;
- Ensaio Marshall;
- Ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral;
- Ensaio de Lottman Modificado;
- Ensaio de Módulo de Resiliência;
- Método teórico para estimativa de teor de CAP de misturas recicladas (Asphalt Institute).

**4.1 - ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS****4.1.1 - Extração do CAP**

Na Tabela 4.1 estão inseridos os valores do teor de CAP extraído das misturas asfálticas fresadas. Observa-se, que os percentuais estão próximos ao teor ótimo de CAP obtido para Mistura Padrão (4,5%). Entretanto, estes valores não necessariamente, implicam em CAP ativo, pois para a mistura fresada e antiga as propriedades físicas e químicas do ligante não permanecem as mesmas, devido a oxidação ou o envelhecimento.

Tabela 4.1 – teor de CAP extraído do material reciclado

	Teor de Ligante (%)	Média (%)
Amostra 01	3,95	
Amostra 02	3,55	<b>4,09</b>
Amostra 03	4,76	

#### 4.1.2 - Determinação da massa específica dos agregados

#### 4.1.3 - Massa específica real e aparente dos agregados

Na Tabela 4.2 estão inseridas as massas específicas dos agregados utilizados na pesquisa.

Tabela 4.2 – Massa específica dos agregados utilizados na pesquisa

Agregado	Massa Específica Real (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Material Freado	2,623	2,595
Brita 19	2,665	2,648
Pedrisco	2,655	2,337
Pó de Pedra	2,646	-
Cal	2,536	-

#### 4.1.4 - Distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados das misturas asfálticas

##### a) Mistura asfáltica Padrão

Na Figura 4.1 estão inseridas as distribuições dos tamanhos das partículas dos agregados denominados “novos” para a Mistura Padrão a qual foi enquadrada na Faixa “C” do DNIT. Observa-se que, além disto, a mistura, também, se enquadrou dentro dos limites preconizados pelo SUPERPAVE, acima da zona de restrição, dentro dos pontos de controle lançados em gráficos, curva de Fuller e Thompson em 1907, com diâmetro máximo nominal de 19,00mm.

No Quadro 4.1 estão inseridos os resultados médios finais para os teores de CAP, o volume de vazios, a relação betume/vazios e estabilidade para a fase experimental de Dosagem Marshall da mistura Padrão. O teor de CAP escolhido para compor a Mistura Padrão foi de 4,5%. O critério para esta escolha foi baseado nos parâmetros volume de vazios e estabilidade, bem como no objetivo de adicionar uma proporção mínima de CAP na mistura reciclada, visto que, o material freado a ser incorporado continha proporções de CAP relativamente altas.

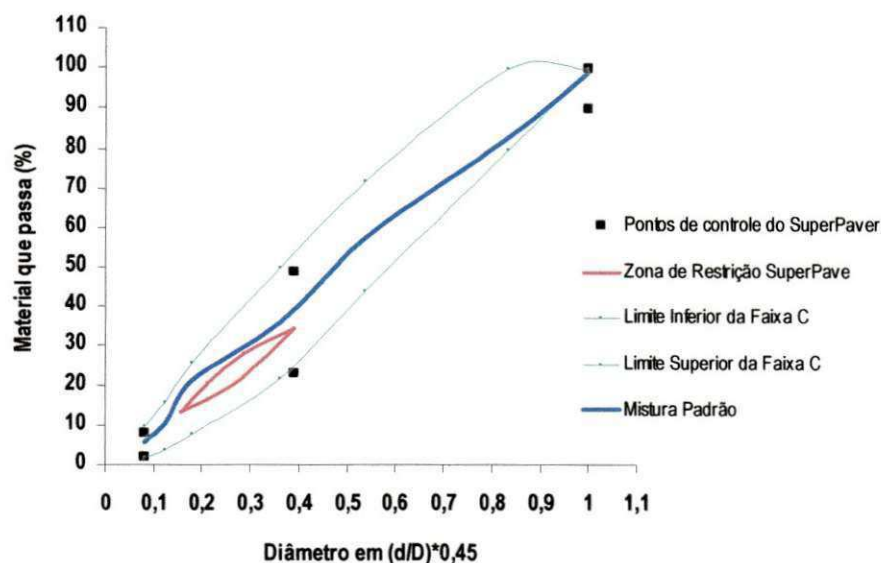


Figura 4.1 – Distribuição dos tamanhos das partículas para Mistura Padrão

Quadro 4.1 – Resultados da dosagem Marshall para Mistura Padrão

Teor de asfalto (%)	Vazios (%)	Relação betume/vazios	Estabilidade (kgf)
3,5	9,58	44,82	1596
4,0	7,36	55,11	1553
4,5	4,42	70,18	1602
5,0	2,89	80,28	1594
5,5	1,53	89,42	1491

## b) Mistura asfáltica reciclada

Da Figura 4.2 a Figura 4.10 estão inseridas as distribuições dos tamanhos das partículas dos agregados, lançadas em gráficos com a Curva proposta por Fuller e Thompson em 1907, os quais foram utilizados na Mistura asfáltica denominada "Reciclada" com e sem filer (Cal), enquadrada na Faixa "C" do DNIT e obedecendo o que preconiza o SUPERPAVE para o diâmetro máximo do agregado de 19,00mm.

Com exceção das curvas para mistura reciclada, com 100% de material fresado (sem filer) e 75% de material fresado (com filer), todas as outras atenderam as especificações do DNIT e do SUPERPAVE. Para a mistura supracitada a porcentagem que não se enquadrou está relacionada ao material fino. Segundo literatura consultada valores significativo de agregados miúdos e filer podem gerar misturas quebradiças, de alta rigidez e sujeitas ao fenômeno da fadiga precoce.

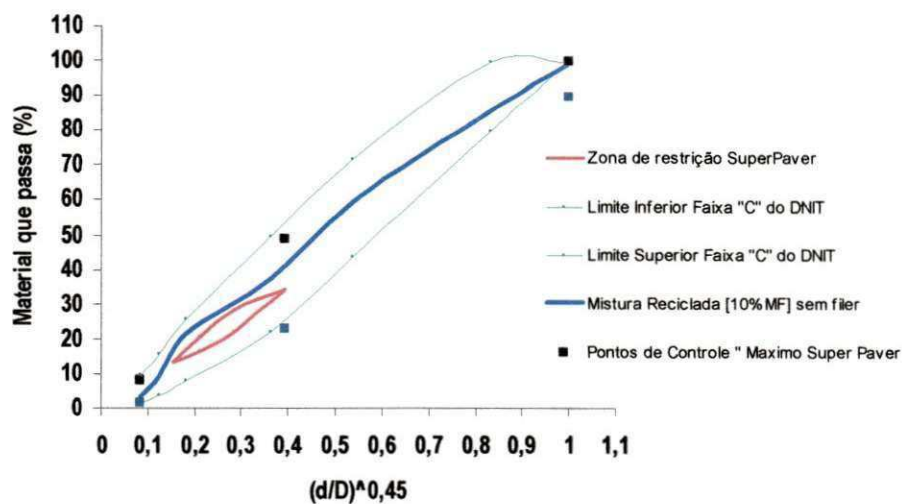


Figura 4.2 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada sem filer [10% de Material fresado]

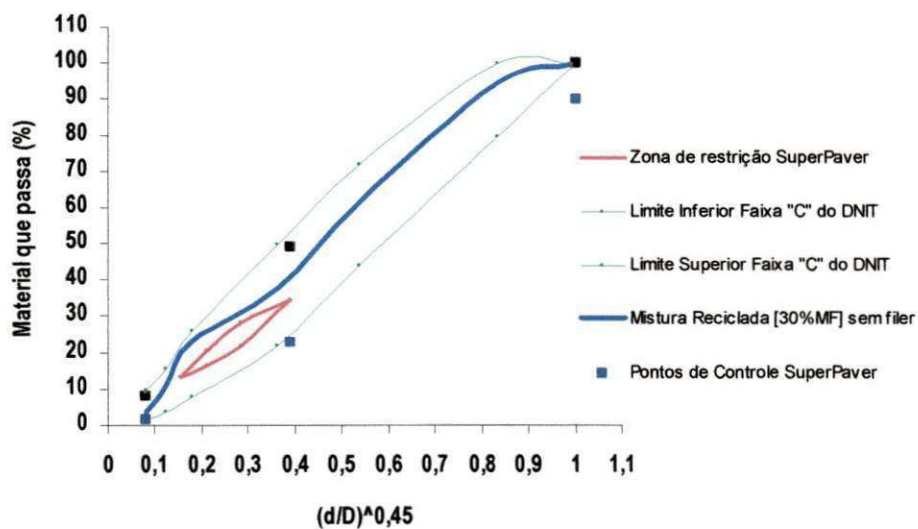


Figura 4.3 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada sem filer [30% de Material fresado]



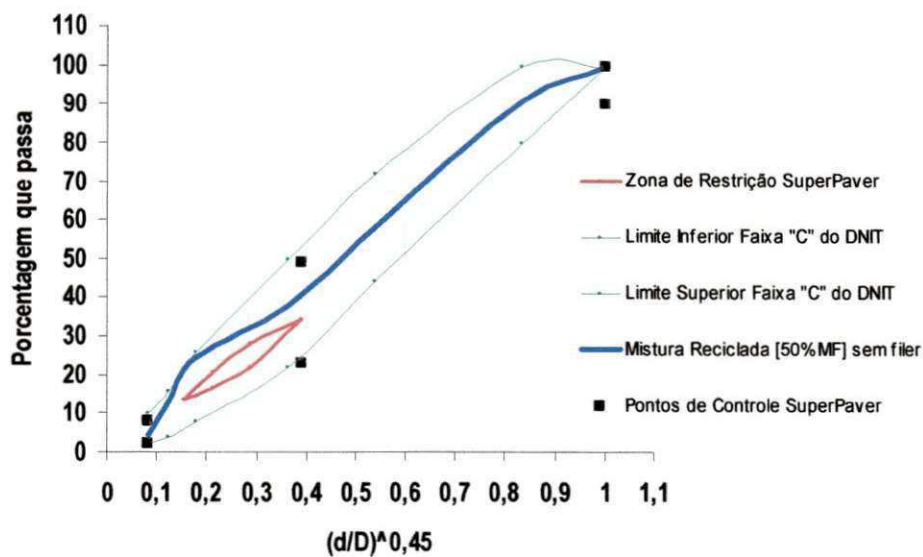


Figura 4.4 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada sem filer [50% de Material fresado]

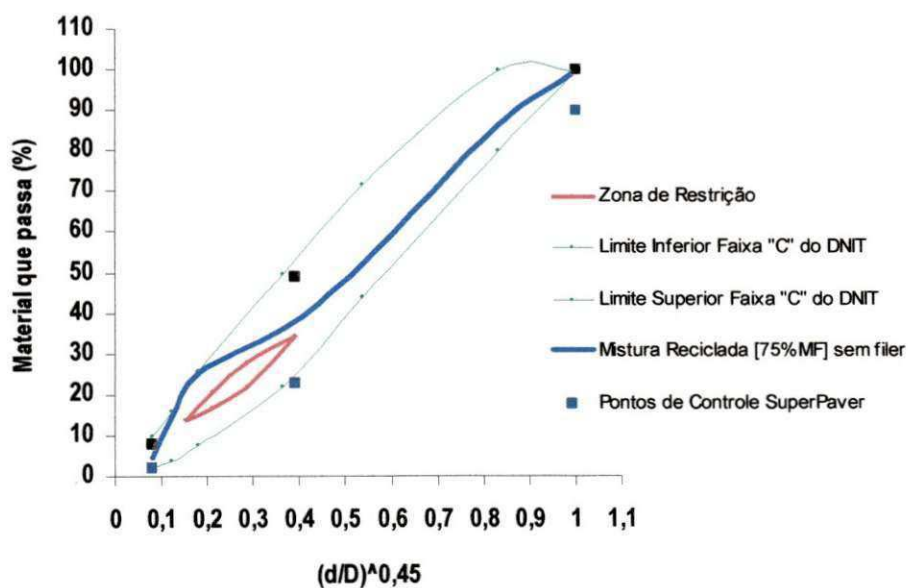


Figura 4.5 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada sem filer [75% de Material fresado]

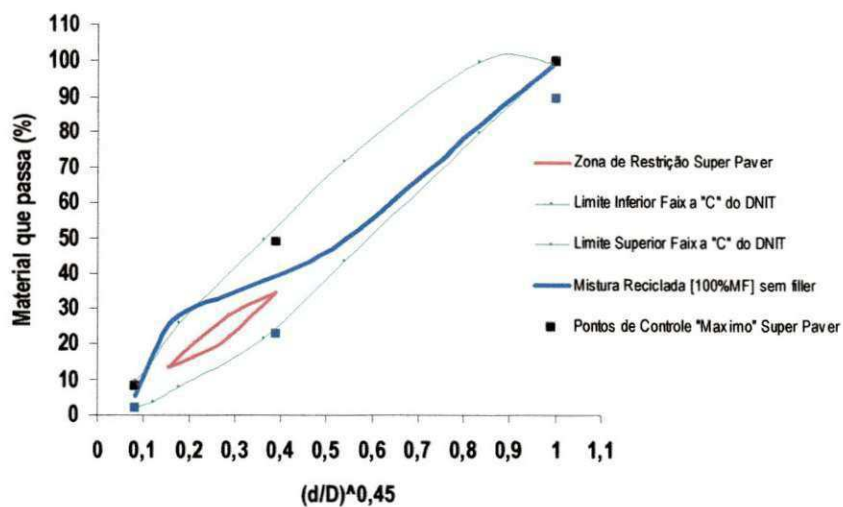


Figura 4.6 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada sem filler [100% de Material fresado]

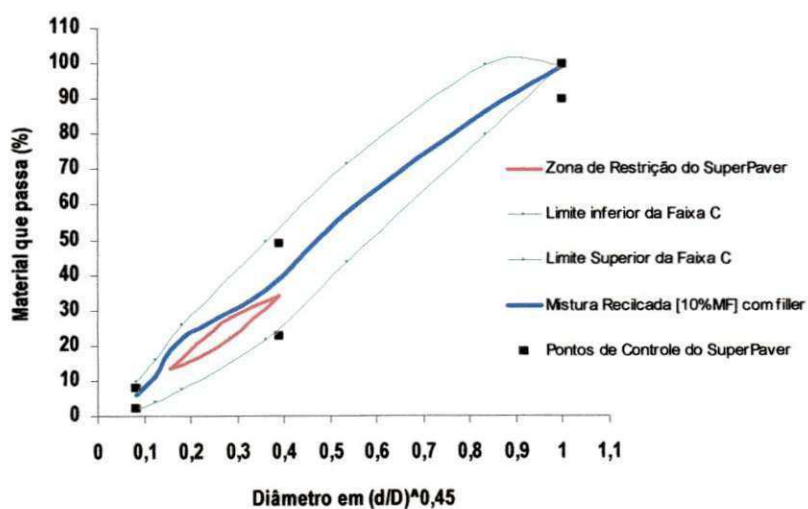


Figura 4.7 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada com filler [10% de Material fresado]

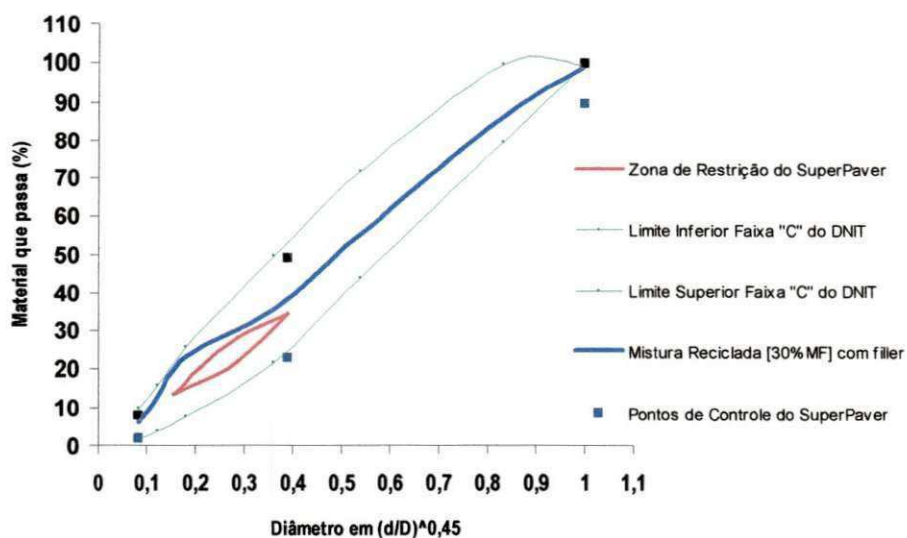


Figura 4.8 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada com filler [30% de Material fresado]

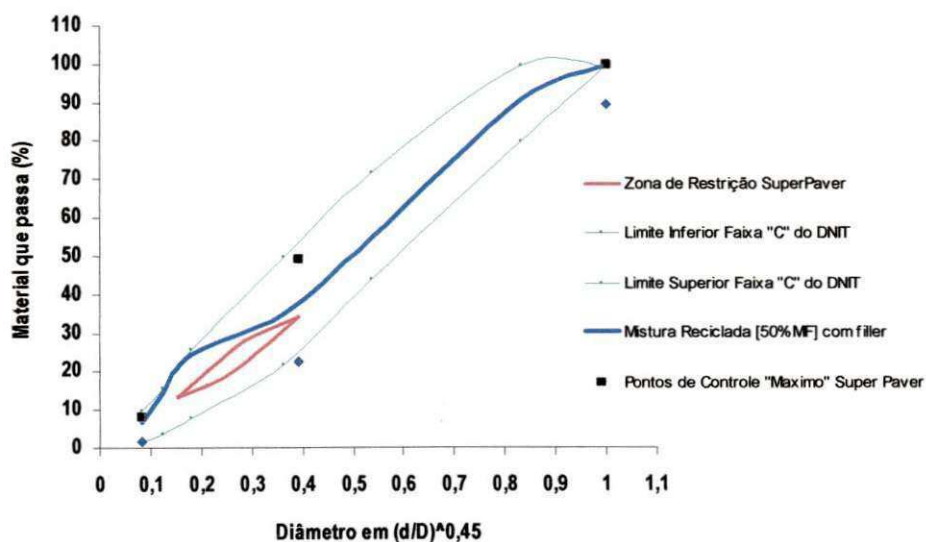


Figura 4.9 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada com filler [50% de Material fresado]

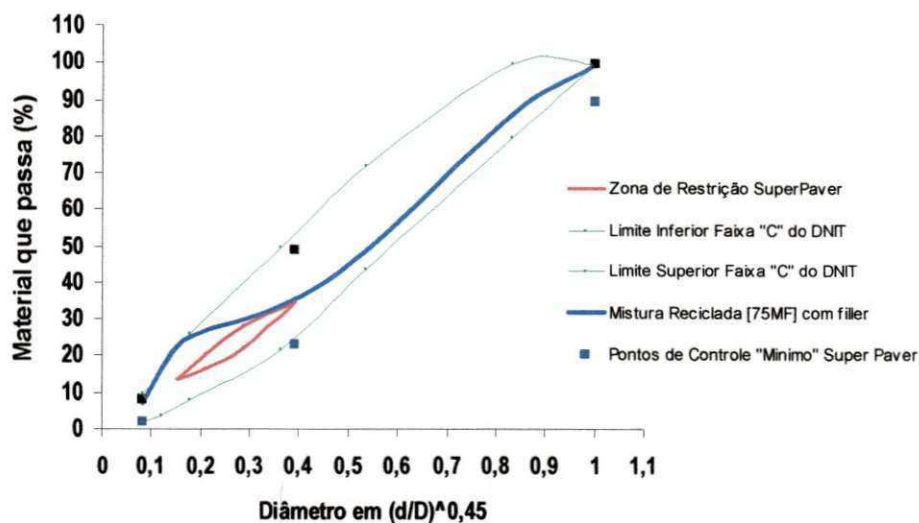


Figura 4.10 – Distribuição dos tamanhos das partículas para agregados para Mistura Padrão e Mistura Reciclada com filler [75% de Material fresado]

## 4.2 - ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

### 4.3 - ENSAIO MARSHALL

No Quadro 4.2 estão inseridos os valores dos parâmetros obtidos com o auxílio do Ensaio Marshall para os corpos-de-prova, da Mistura Padrão e das Misturas Recicladas, moldados com o incremento de 0%, 10%, 30%, 50%, 75% e 100% de material fresado com e sem filler (Cal), respectivamente.

Com o auxílio do Quadro 4.2, da Figura 4.11, da Figura 4.12 e da Figura 4.13, onde são apresentados os dados e lançados em gráficos os vazios das misturas, a relação betume/vazios e a estabilidade em função do incremento de material fresado, é possível observar que para a camada de rolamento as misturas que atenderam a especificação foram: as misturas com 10% e 100% de material fresado sem filler. Já para a camada de binder, as misturas que atenderam as especificações compreendem as misturas restantes, se contrapondo as que se enquadraram nas especificações para a camada de rolamento.

Os resultados indicam que é possível utilizar várias proporções de material fresado estudado, em camadas de rolamento ou em camadas de binder. Entretanto, só essas informações não são suficientes para a escolha do melhor percentual de material fresado a ser adicionado a mistura reciclada.

Em função dos altos valores da Estabilidade Marshall, torna-se necessário que ensaios complementares sejam realizados para a definição do percentual de material fresado ideal a ser incorporado a mistura asfáltica, tais como, Tração Indireta por Compressão Diametral, Lottman Modificado e Módulo de Resiliência.

Quadro 4.2 – Parâmetros obtidos com o auxílio do Ensaio Marshall - Mistura Padrão e Misturas Recicladas

Quantidade de Material Fresado (%)	Teor de CAP de Projeto (%)		Vazios (%)		Releção Betume/vazios (%)		Estabilidade (Kgf)	
	Com filler	Sem filler	Camada de Rolamento de 4 a 6 (%)		Camada de Rolamento de 65 a 72 (%)		Camada de Rolamento mínimo, 500 Kgf	
			Com filler	Sem Filler	Com filler	Sem Filler	Com filler	Sem Filler
0	4,50	-	4,42	-	70,18	-	1602	-
10	5,00	4,50	3,12	5,71	78,86	64,44	1669	1322
30	4,5	4,50	4,28	6,46	70,86	61,15	1879	1583
50	4,00	4,50	4,99	5,76	64,89	64,21	2176	2057
75	4,00	4,00	5,33	4,13	63,29	69,23	2036	1665
100	-	4,00	-	3,16	-	74,61	-	2463

OBS.: ES 034/2005 DNIT

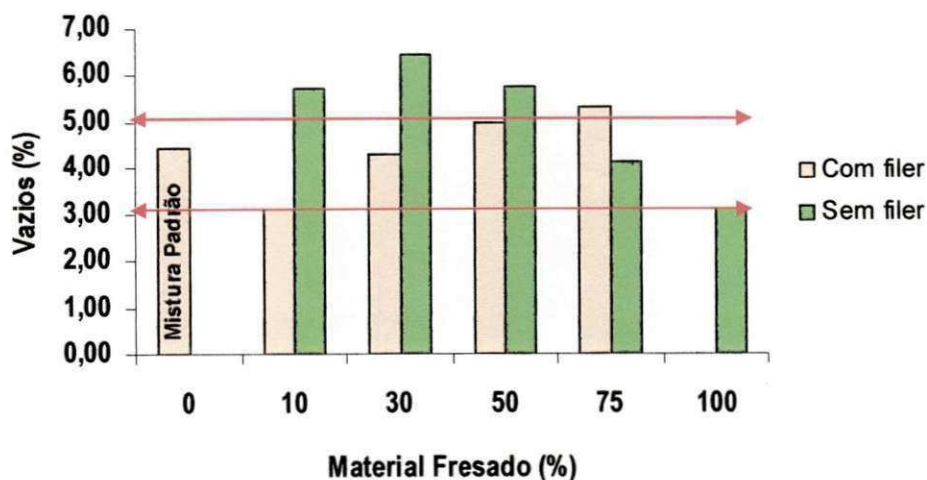


Figura 4.11 – Volume de vazios em função do incremento percentual de material fresado

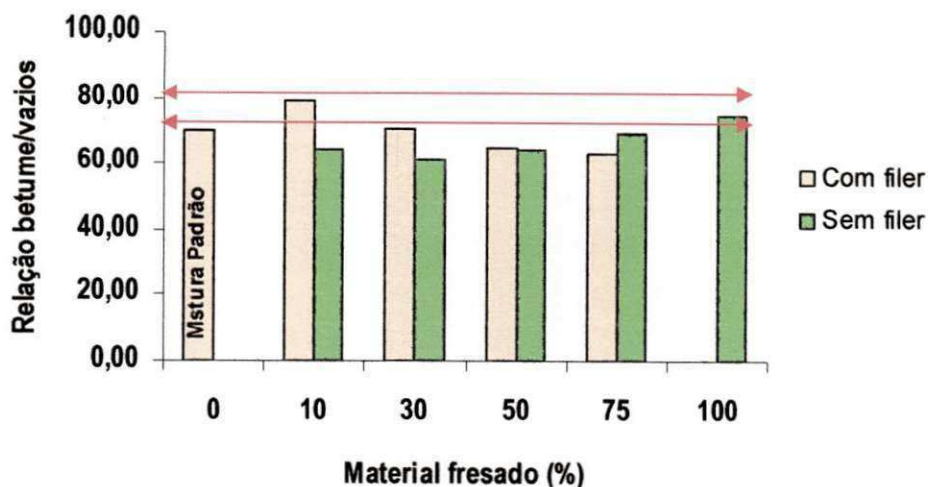


Figura 4.12 – Relação betume/vazios em função incremento do percentual de material fresado

Os resultados da relação betume/vazios indicam que os teores de asfalto, inclusive para Mistura Padrão, estão abaixo do especificado.

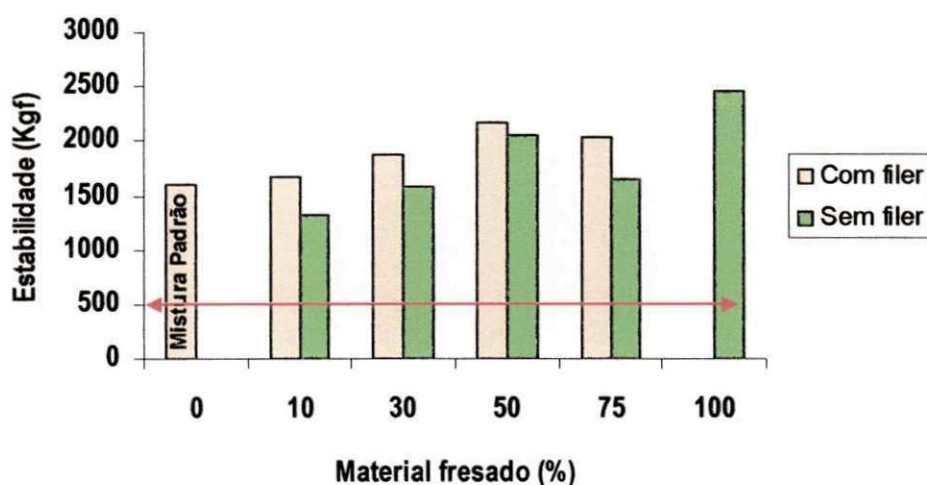


Figura 4.13 – Estabilidade Marshall em função do incremento percentual de material fresado

#### 4.4 - ENSAIO DE TRAÇÃO INDIRETA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Na Tabela 4.3 estão inseridos os valores dos resultados obtidos com o auxílio do Ensaio de Resistência a Tração Indireta por Compressão Diametral para os corpos-de-prova, da Mistura Padrão e das Misturas Recicladas, moldados com o incremento de 0%, 10%, 30%, 50%, 75% e 100% de material fresado com e sem filer (Cal), respectivamente.

Com o auxílio da Tabela 4.3 e da Figura 4.14, onde são apresentados os dados e lançados em gráficos da Resistência a Tração, RT, em função do incremento de material fresado na mistura

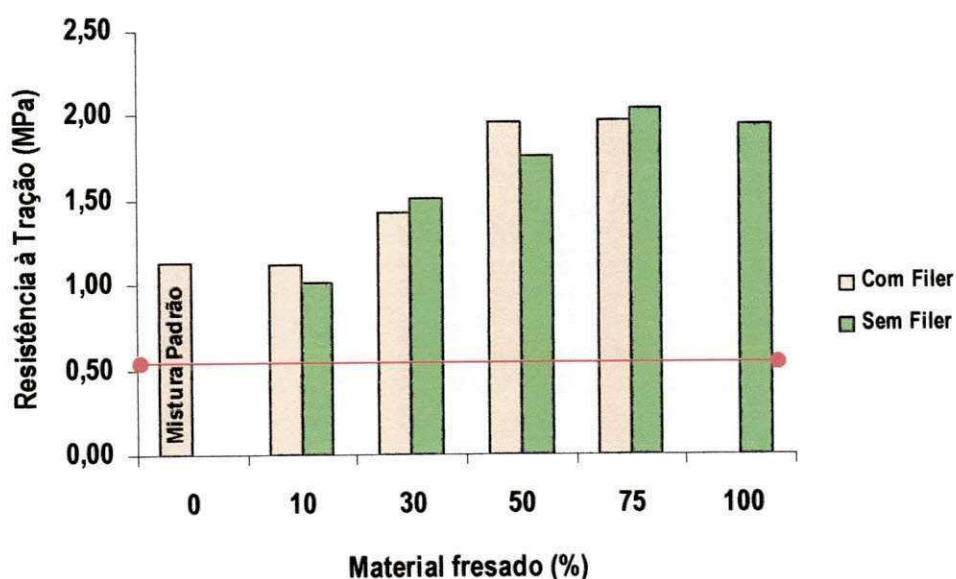
reciclada, é possível observar que, para a camada de rolamento, todas as misturas submetidas aos ensaios atenderam a especificações contidas na Norma ES 034/2005 do DNIT. Entretanto, os valores encontrados sugerem alta Resistência a Tração o que indica rigidez elevada. Lima (2003), também encontrou valores altos para RT em estudos similar (1,2 a 1,6 MPa).

Dependendo da rigidez das camadas inferiores da estrutura do pavimento, é possível que misturas asfálticas de alta rigidez possam ser utilizadas, porém para camadas de base de solos estabilizados mecanicamente e não cimentados, bem como de Britas Graduadas Simples (BGS), a adoção de valores altos de Estabilidade Marshall e de Resistência a Tração para este tipo de revestimento podem gerar sua fadiga prematura.

**Tabela 4.3 – Resultados dos ensaios de Resistência a Tração Indireta por Compressão Diametral**

Quantidade de Material Fresado (%)	Resistência à Tração (MPa)	
	Com Filer	Sem Filer
0	1,13	-
10	1,12	1,02
30	1,43	1,51
50	1,96	1,76
75	1,97	2,04
100	-	1,94

OBS.: Valor mínimo para RT = 0,65 MPa, camada de rolamento, ES 034/2005, DNIT.



**Figura 4.14 – Resistência a Tração Indireta por Compressão Diametral**

#### 4.5 - ENSAIO DE LOTTMAN MODIFICADO

Na Tabela 4.4 estão inseridos os valores dos resultados de RRT obtidos com o auxílio do Ensaio de Lottman Modificado para os corpos-de-prova, da Mistura Padrão e das Misturas Recicladas, moldados com o incremento de 0%, 10%, 30%, 50%, 75% e 100% de material fresado com e sem filler (Cal), respectivamente.

Com o auxílio da Tabela 4.4 e da Figura 4.15, onde são apresentados os dados e lançados em gráficos da Relação da Resistência a Tração, RRT, em função do incremento de material fresado na mistura reciclada, é possível observar que, as misturas submetidas aos ensaios que atenderam a especificações contidas nas Normas do DNIT e da AASHTO (T 283-02) foram as que em sua composição tinham os percentuais de 10%, 30% e 50% com adição de filler (Cal). Para as misturas que em sua composição não foi adicionado o filler (Cal), os valores de RRT foram adequados apenas para os percentuais de 50%, 75% e 100%.

As misturas recicladas que não tinham em sua composição o filler (Cal), para os teores de 10%, 30% e 50%, não apresentaram um comportamento mecânico satisfatório, em termos de RRT, devido ao volume de vazios alto (Figura 4.11), bem como a ausência de filler que comprovadamente diminui a susceptibilidade das mistura asfáltica à presença de água (Figura 4.15).

Considerando que para os percentuais de material fresado, acima de 50% com e sem filler, foram obtidas Misturas Recicladas com o alto valor de rigidez, em termos de Estabilidade Marshall e Resistência a Tração, e observando os resultados dos ensaios de Lottman Modificado é possível inferir que as misturas mais adequadas para revestimentos asfálticos, capa de rolamento e/ou binder, são as que em sua composição contém valores de até 50% de material fresado. Esta inferência é corroborada com estudos realizados pela ASTM [D4887- 99(2003) - Standard Practice for Preparation of Viscosity Blends for Hot Recycled Bituminous Materials], pelo o Asphalt Institute (1986), entre 10 a 70%, e por Robert et al., (1996) que sugere valores de 30% a 50% para misturas recicladas "in situ" e usinadas, respectivamente. Quando comparados às misturas asfálticas recicladas com e sem filler, por virtude de obter menor índice de vazios as misturas asfálticas recicladas obtiveram valores, mas elevados.

**Tabela 4.4 – Relação da Resistência a Tração – Lottman Modificado**

Quantidade de Material Fresado (%)	Relação de Resistência à Tração (%)	
	Com filler	Sem Filler
0	98,08%	-
<b>10</b>	80,55%	47,59%
<b>30</b>	92,45%	43,24%
<b>50</b>	99,96%	72,26%
<b>75</b>	70,39%	90,91%
100	-	102,59%



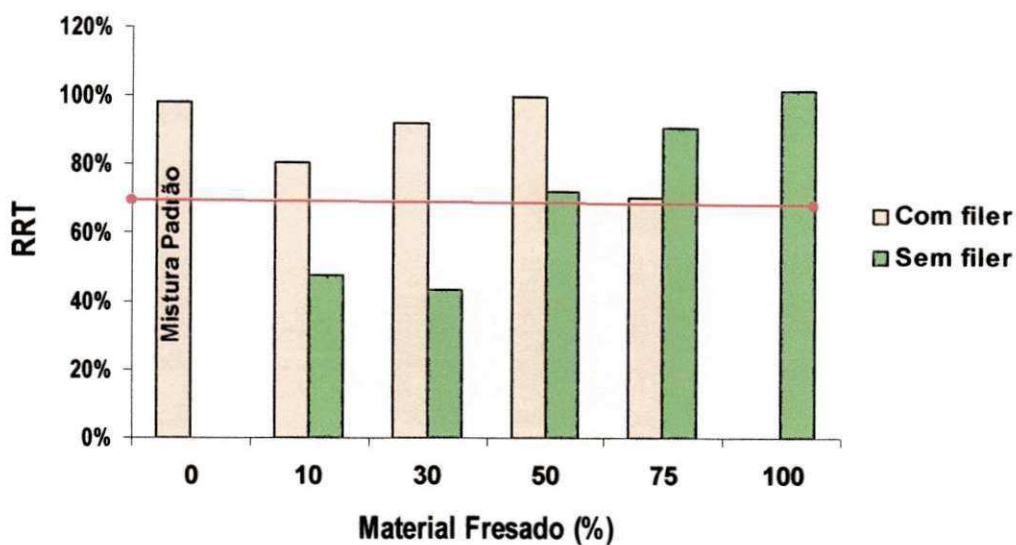


Figura 4.15 - Relação da Resistência a Tração - Lottman Modificado

#### 4.6 - ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA

Na Tabela 4.5 estão inseridos os valores dos Módulos de Resiliência obtidos para os corpos-de-prova, da Mistura Padrão e das Misturas Recicladas, moldados com o incremento de 0%, 10%, 30%, 50% e 75% de material fresado com filer (Cal).

Com o auxílio da Tabela 4.5 e da Figura 4.16, onde são apresentados os dados e lançados em gráficos de Módulo de Resiliência é possível observar que as misturas, Padrão e Recicladas, apresentaram valores médios crescentes de Módulo de Resiliência em função do incremento de material fresado na composição. Foram feitas duas determinações para cada tipo de mistura e calculada a média.

Tabela 4.5 – Módulos de Resiliência – Mistura Padrão e Misturas Recicladas

Quantidade de Material Fresado com Filer (%)	Módulo Total DNER (MPa)	Média do Módulo Total (MPa)
	5012	
0	8026	6519
	8358	
10	7593	7975
	9793	
30	10167	9980
	12000	
50	14144	13072
	11308	
75	16052	13680

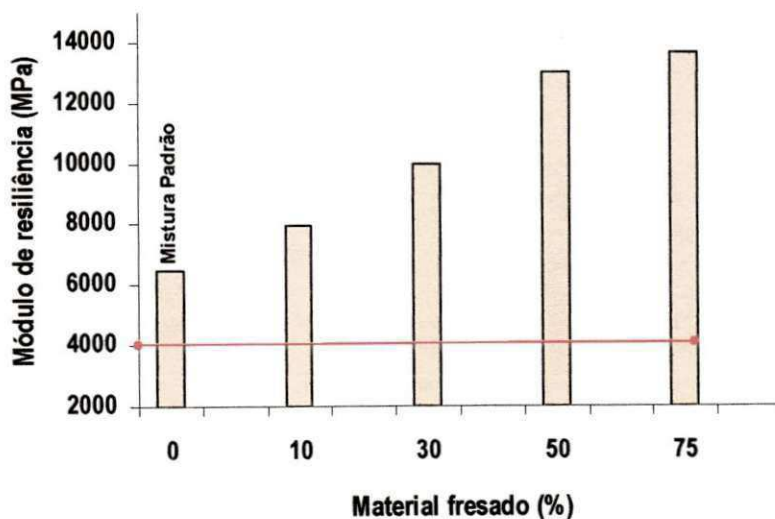


Figura 4.16 – Módulos de Resiliência – Mistura Padrão e Misturas Recicladas

De acordo com Marques (2004) o procedimento PRO 269/94 do DNIT para projetos de pavimentos flexíveis permite a estimativa do Módulo de Resiliência da mistura em função da Resistência à Tração por meio do modelo [04].

$$MR = 5000.RT$$

[04]

Enquanto Motta & Pinto (1994) recomendam aos laboratórios que não dispõem de aparelhagem necessária para execução do ensaio de Módulo de Resiliência, o uso do ensaio de Compressão Diametral estático (ME 138/94, DNIT) como parâmetro de estimativa indireta do Módulo de Resiliência. Eles obtiveram um Modelo [05], a partir de resultados em diferentes misturas asfálticas moldados na COPPE/UFRJ.

$$MR = -1336 + 4174RT \quad [05]$$

O Quadro 4.3 e a Figura 4.17 apresentam a relação entre os parâmetros MR/RT para as misturas asfálticas reciclada com filler e para a mistura asfáltica padrão, bem como a sua curva de ajuste, respectivamente. Existe uma relação, estatisticamente significativa,  $R^2=0,96$ , entre os valores de Resistência a Tração e os de Módulo de Resiliência. Altos valores da Resistência à Tração indicaram a existência de elevado Módulo de Resiliência. De acordo com Morilha (2004), a relação indica a compatibilidade entre a rigidez e a resistência da mistura, pois misturas com Módulos de Resiliência altos, necessitam de altos valores de resistência a tração devido a concentração de esforços no interior da mistura.

**Quadro 4.3 – Módulos de Resiliência – Mistura Padrão e Misturas Recicladas**

Quantidade de Material Fresado com Filer (%)	MR (MPa)	RT (MPa)	MR/RT	MR=- 749,91+7224,26RT
0	6519	1,13	5769	7414
10	7975	1,12	7121	7341
30	9980	1,43	6979	9581
50	13072	1,96	6669	13410
75	13680	1,97	6944	13482

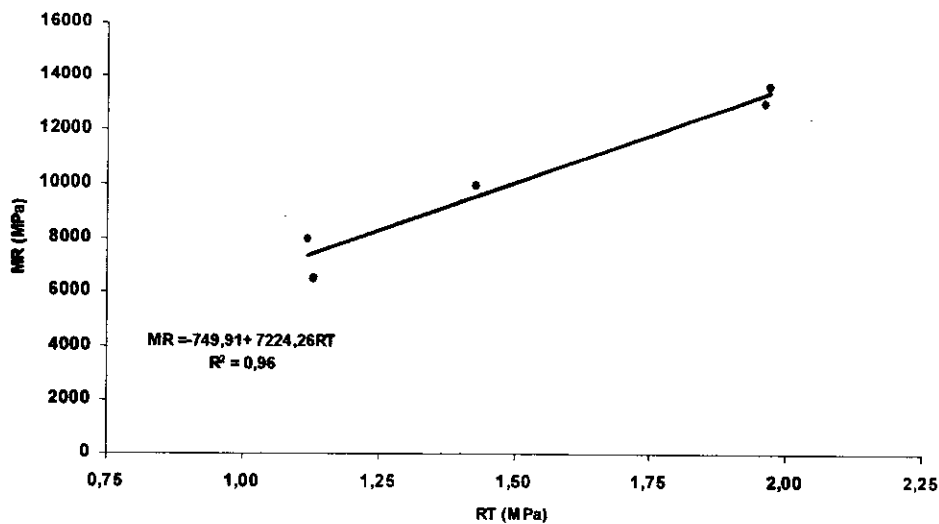


Figura 4.17 – relação a Resistência a Tração e o de Módulo de Resiliência

Ceratti et al. (1996) e Oliveira Filho (1997) citam que a relação entre o Módulo de Resiliência e a Resistência à Tração de misturas com CAPS convencionais se situa entre 4500 e 5000 MPa. Os valores da relação supracitada encontrados são superiores ao máximo citado pelo autor, o que torna a mistura muito rígida e susceptível ao aparecimento de trincas. Entretanto, a Mistura Padrão adotada apresentou valores para a relação MR/RT acima dos valores preconizados por Ceratti (1996) e Oliveira (1997), com isso, as misturas recicladas não poderiam apresentar valores dentro dos limites estabelecidos pelos autores citados.

A Figura 4.18 apresenta a relação entre o Módulo de Resiliência e o Módulo Instantâneo de acordo com o procedimento da AASHTO. O Módulo de Resiliência instantâneo, é calculado usando a deformação horizontal recuperável que ocorre durante a fase de descarregamento de um ciclo de carga/descarga. O outro, chamado Módulo de Resiliência total, é calculado usando a deformação total recuperável que inclui tanto a deformação recuperável instantânea quanto a dependente do tempo durante a fase de descarregamento ou período de repouso de um ciclo (MARQUES, 2004).

Segundo Brito (2006) apud Bernucci (2007) quanto melhor for a relação entre o Módulo de Resiliência total e o Módulo de Resiliência instantâneo, mais rápida é a recuperação elástica do material quando submetido a ação de cargas. Como a deformação elástica é um limitador no dimensionamento de pavimentos, quanto maior for o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre os dois módulos, melhor será o comportamento das misturas quando submetidas às ações cíclicas do tráfego. Portanto, o coeficiente de determinação encontrado, para a relação baseada em resultados de corpos-

de-prova moldados o material fresado e com adição do filer (Cal), indicam boa relação entre os Módulos de Resiliência.

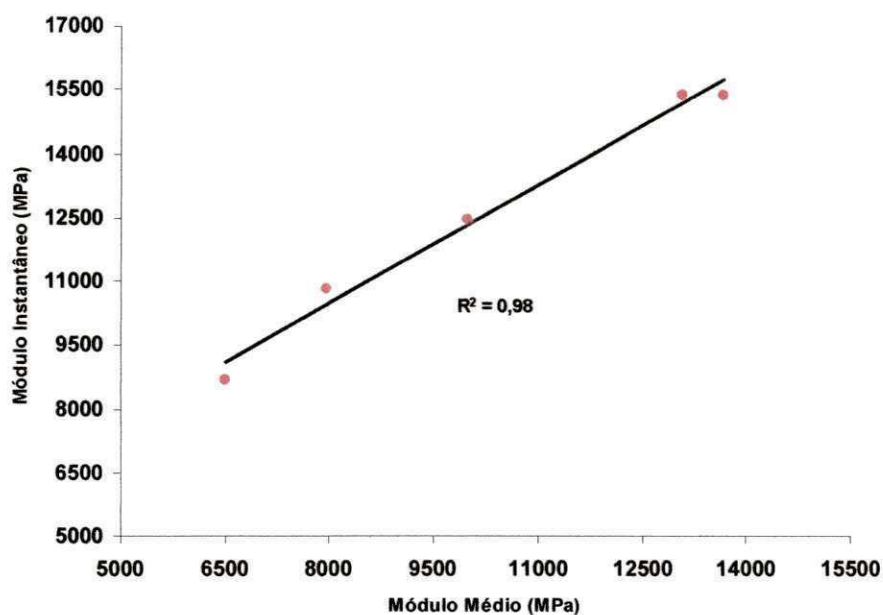


Figura 4.18 – Relação entre o Módulo de Resiliência médio e Módulo de Resiliência Instantâneo

#### 4.7 - TEOR DE CAP PARA MISTURAS RECICLADAS (MÉTODO TEÓRICO - ASPHALT INSTITUTE)

No Quadro 4.4 estão inseridos os teores de CAP obtidos pelo método D2171 da ASTM sugerido pelo Asphalt Institute e em dosagens empíricas realizadas neste trabalho. Observa-se que as dosagens empíricas realizadas neste trabalho proporcionaram misturas recicladas que em sua composição apresentaram uma quantidade menor de teor de CAP quando comparado com as obtidas com auxílio do cálculo pelo método da ASTM.

Quadro 4.4 – Método de dosagem de mistura asfáltica reciclada do *Asphalt Institute* e dosagem empírica

Quantidade de Material Fresado (%)	CAP Total p/ a Mistura Reciclada (%)	CAP Novo p/ a Mistura Reciclada (%)	Quantidade de Asfalto Total na Mistura Reciclada (%)		Quantidade de Asfalto Novo (%)	
	Calculado segundo a ASTM D2171		Calculo Experimental			
			Com filer	Sem filer	Com filer	Sem filer
10	8,25	8,21	9,09	8,59	5,00	4,50
30	8,33	7,99	8,59	8,59	4,50	4,50
50	8,40	7,45	8,09	8,59	4,00	4,50
75	8,51	6,32	8,09	8,09	4,00	4,00

## 5 - CONCLUSÕES

Neste estudo das propriedades das misturas asfálticas reciclado, foram estudados 3 tipos de misturas:

- Sem a presença de material fresado (Mistura padrão) que serviu como parâmetro de comparação para as demais misturas;
- Mistura reciclada com adição de filer (cal) com os teores de material fresado de 10%, 30%, 50% e 75%;
- Mistura reciclada sem adição de filer (cal) com os teores de material fresado de 10%, 30%, 50%, 75% e 100%.

### Quanto à granulometria dos materiais reciclados

As composições dos agregados para as misturas recicladas, com uma única exceção, se enquadraram nas normas do DNIT para Faixa "C", bem como dentro dos pontos de controles e fora da zona de restrição do Programa SUPERPAVE (d=19,00mm) como sugere o Programa SUPERPAVE.

### Quanto aos Parâmetros Marshall

As misturas recicladas que apresentaram os melhores resultados foram as que tinha em sua composição filer (cal) e proporção de material fresado de 10%, 30% e 50%.

### Quanto a resistência a Tração

Todas as misturas recicladas, com e sem o filer (cal), apresentaram valores de Resistência à Tração acima do preconizado pelo DNIT (RT=0,65 MPa). Entretanto, com os parâmetros isolados de RT e de Estabilidade, não são suficientes para definirmos de maneira racional a melhor proporção material fresado a ser adicionado a mistura reciclada. Ocorrendo uma tendência de crescimento dos valores da Resistência à Tração com o acréscimo do material fresado, tanto para as misturas com filler como para as misturas sem filler.

### **Quanto a Relação da Resistência a Tração**

Devido aos volumes de vazios e da influência do filler (cal) e, segundo os resultados de RRT, as melhores proporções de material fresado a ser incorporado a mistura reciclada foram: 10%, 30% e 50%, considerando ainda na mistura a adição de filler (cal). Por melhor ocupar os vazios, os valores de RRT foram sempre melhores na presença de filler.

### **Quanto ao Módulo de Resiliência**

As misturas recicladas, inclusive a Mistura Padrão, apresentaram valores de módulos de resiliência altos quando comparados a valores preconizados pela literatura. Entretanto, as relações entre os módulos de resiliência médios (MR) e a resistência a tração (RT), MR/RT, apresentaram valores compatíveis com os sugeridos pela literatura. Estes resultados indicaram que a relação indica a compatibilidade entre a rigidez e a resistência da mistura. Ou seja “mesmo com altos valores de módulos de resiliência, o que implica em misturas excessivamente rígidas, a resistência à tração das mesmas são compatíveis com a rigidez obtida. Obteve-se também uma tendência de crescimento do MR, com o aumento de material fresado.

As relações entre o Módulo de Resiliência total e o Módulo de Resiliência instantâneo foram significativas, se considerarmos o coeficiente de determinação,  $R^2$ . Portanto, os resultados indicam que as misturas recicladas estudadas podem vir a apresentar uma rápida recuperação elástica quando submetidas a ação de cargas repetidas.

### **Considerações finais**

Considerando as limitações deste estudo de caso, específico para os materiais e proporções adotadas, podemos inferir que: “as misturas recicladas mais adequadas para serem usadas como camada de rolamento de pavimento flexíveis foram as que tinham em sua composição 10% e 30% de material fresado, e 3% de filler (cal).” Estas apresentaram propriedades físicas e mecânicas compatíveis com as exigências preconizadas pelo DNIT e pela AASHTO.

## **6 - SUGESTÕES**

Uma investigação mais apurada das misturas asfálticas recicladas das propriedades mecânicas, para que se tenha um melhor resultados em relação a dosagem e desempenho da mistura asfáltica reciclada.

Algumas sugestões para que melhore este desempenho seria:

- a adição de agente rejuvenescedor;
- estudos para a dosagem de reciclados utilizando a metodologia SUPERPAVE;
- o tipo de filer a ser adicionado na mistura asfáltica reciclada;
- ensaio de fadiga para as misturas recicladas com e sem adição de filer;
- ensaio de módulo para a mistura reciclada que não continha filer;
- análise química do CAP do material fresado;
- a construção de um trecho experimental utilizando a mistura asfáltica reciclada, para assim se ter parâmetros como medições deflectométricas e monitoramento de defeitos superficiais que por ventura venha a ocorrer, estudando assim o desempenho da mistura submetida a um carregamento real de tráfego;
- estudo de verificação da vida útil da mistura asfáltica reciclada.



## 7 - REFERÊNCIAS

ASPHALT INSTITUTE - **Mixing Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-mix Types. Manual series nº 2.** Lexington, 1995.

ASPHALT INSTITUTE. Superpave Performance Graded Asphalt binder Specification and Testing. SUPERPAVE series N° 1 (SP -01). Lexington, 1997.

ASPHALT INSTITUTE - **The Asphalt Handbook. Manual series nº 4.** Lexington, 1989.

ASPHALT INSTITUTE - **Asphalt Hot-mix Recycling. Manual series nº 20.** Lexington, 1995.

ASPHALT INSTITUTE (MS-4) "**The Asphalt Handbook**". Lexington, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - NBR 6467 - **Agregados - Determinação do inchamento do agregado miúdo.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - MB 517 - **Material Betuminoso- determinação da viscosidade saybolt-furol a alta temperatura.** Rio de Janeiro, 1971.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - NBR 7220 - **Determinação de impurezas húmicas em agregado miúdo.** Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - NBR 7218 - **Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - NBR 9935 - **Ensaio para identificação da amostra de Agregados.** Rio de Janeiro, 1987.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM - E 965-87, **Test Method for Measuring Surface Macrotexure Depth Using a Sand Volumetric Technique.** USA, 1987.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM - D 4887 - **Standard Practice for Preparation of Viscosity Blends for Hot Recycled Bituminous Materials.** USA, 2003.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS AASHTO T **283-02 - Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage.** USA, 2002.

ALVIM, I.M. **Fresagem & Reciclagem de Pavimentos e Suas Aplicações na Restauração de Rodovias.** www.fresar.com.br. 1999.

BERNUCCI L. B., MOTTA L. M. G., et al.. **Pavimentação asfáltica.** Rio de Janeiro, 2008.

BONFIM, V. **Fresagem de Pavimentos Asfálticos.** Ed. Fazendo Arte, São Paulo, SP. 2001.

CASTRO, L.N. **Reciclagem a frio "in situ" com espuma de asfalto**. 171 f. Dissertação (Mestrado) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

CASTRO NETO, A. **Proposta de projeto de dosagem de concreto betuminoso reciclado a quente**. Tese de Mestrado, EPUSP, São Paulo. 2000.

CERATTI, J.A., RUWER, P.M. & OLIVEIRA, J.A.. **Estudo do comportamento mecânico de concreto asfáltico com ligante modificado por polímero**. 13º Encontro de Asfalto, IBP Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Rio de Janeiro, 1996.

CASTRO NETO, A.M. e BERNUCCI, L.B.. **Proposta de Dosagem de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente**. Anais do 15º IBP. Rio de Janeiro, 2000.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de pavimentação**. 2ª ed. Rio de Janeiro. 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 192/97 - Agregados - Determinação do inchamento do agregado miúdo**. Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 117/94 - Mistura betuminosa - determinação da densidade aparente**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 043/95 - Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall**. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 029/94 - Determinação de expansibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 049/94 - Determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não deformadas**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 079/94 - Adesividade a ligante betuminoso**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 003/99 - Material betuminoso - determinação da penetração**. Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 089/94 - Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio e magnésio**. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 400/99 - Desgaste após fervura do agregado pétreo natural.** Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **PRO 199/96 - Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório.** Rio de Janeiro, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 054/97- Equivalente de areia.** Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ES 033/2005 - Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico Reciclado a quente na usina - Especificação de Serviço.** Rio de Janeiro, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 082/94 - Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 195/97 - Agregados - determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo.** Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 194/98 - Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.** Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 122/94 - Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 266/97 - Determinação do teor de materiais pulverulentos.** Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 138/94 - Misturas betuminosas - determinação da resistência à tração por compressão diametral.** Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 055/95 - determinação de impurezas orgânicas.** Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ES 032/2005 - Areia Asfalto a quente.** Rio de Janeiro, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 133/94 - Misturas betuminosas - determinação do módulo de resiliência.** Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 138/94 - Misturas betuminosas - determinação da resistência à tração por compressão diametral.** Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 083/98 - Análise Granulométrica.** Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ES 390/99 - Pré misturado a frio.** Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ES-031/2004 - Pavimentos flexíveis - concretos asfálticos.** Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ES 034/2005 - Concreto Asfáltico Reciclado a quente no local.** Rio de Janeiro, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **PRO 269/94 - Projeto de restauração de pavimentos flexíveis.** Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 107/97 - Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica.** Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 148/94. Material betuminoso - determinação dos pontos de fulgor e de combustão (vaso aberto Cleveland) (ABNT-NBR 11341).** Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - **ME 107/97 - Agregados - análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 1997.

FERNANDES, M. W. Q.. **Utilização de resíduos sólidos no estudo da susceptibilidade do concreto asfáltico à presença d'água.** Campina Grande, 2007.

FONSECA P. **A reciclagem de pavimentos rodoviários.** Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Bragança, 6ª Semana das Engenharias. Portugal, 2002.

FURLAN, A.P. et al., **Algumas Considerações Acerca de Ensaio para Avaliação do Dano por Umidade em Mistura Asfáltica Densa,** in: 35ª Reunião Anual de Pavimentação. Rio de Janeiro, 2004.

FURLAN, A.P, **Considerações acerca da adesão e da suscetibilidade à umidade de misturas asfálticas densas à luz de algumas propriedades mecânicas.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2006.

FRASCÁ, M. H. B. O. e SARTORI, P. L. P. **Geologia de Engenharia.** Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo-SP, 1998.

GUIMARÃES, A. C. R. e MOTTA, L. M. G. **Execução de revestimentos asfáltico com agregado de laterita lavada no Acre**. IBP, 13o Encontro de Asfalto. Rio de Janeiro, 2000.

HOSSAIN M., METCALF D.G. e SCOFIELD L.A. **Performance of Recycled Asphalt Concrete Overlays in Southwestern Arizona**. Transportation Research Record 1427, p. 30-37, TRB, National Research Council. Washington, D.C 1993.

KANDHAL P. S., PARKER Jr, F. e MALLICK R. B. **Aggregate Tests for Hot Mix Asphalt: State of the Practice**. NCAT Report nº97-6. 1997.

KANDHAL P.S., FOO K.Y.. **Designing recycled hot mix asphalt mixtures using Superpave technology, progress of Superpave – evaluation and implementation**. ASTM STP 1322. USA, 1997.

KANDHAL, P. **Recycling of Asphalt Pavements-an Overview**. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists-AAPT. Vol. 66, USA 1997.

KANDHAL, P.S. e COOLEY JR., L.A.. **The Restricted Zone in the SUPERPAVE Aggregate Gradation Specification**. National Cooperative Highway Research Program-NCHRP, Report 464. USA, 2001.

KANDHAL P.S., RAO, S.S., WATSON, D.E. e YOUNG B. **Performance of Recycled Hot-Mix Asphalt Mixture in Georgia**. Transportation Research Record 1507, TRB, National Research Council. Washington, D.C, 1995.

KEARNEY, E. **Cold Mix Recycling State-of-the-Practice**. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists-AAPT, Vol. 66. USA, 1997.

LEE, T., TERREL, R.L. e MAHONEY, J. P. **Test for Efficiency of Mixing of Recycled Asphalt Paving Mixture**. Transportation Research Record 911, TRB, National Research Council. Washington. D.C 1983.

LEE K.W., SOUPHARATH N., SHUKLA, A., FRANCO C.A. e MANNING F. J.,. **Rheological and Mechanical Properties of Blended Asphalt Containing Recycled Asphalt Pavements Binders**. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists-AAPT. Vol. 68. USA, 1999.

LEITE, L.F.M. **Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímeros**. 266 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) – Instituto de Macromoléculas Professora Eloísa Mano, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

LEITE, M.F.L. e MOTTA, L.M.G. **O Efeito do Filer nas Características do Ligante Asfáltico**. XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Natal-RN, 2002.

LIMA, A. T. **Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 99 fls, 2003.

**Manual de Restauração de pavimentos asfálticos**, 2º ed. 310p. (IPR. Pub. 720,). Rio de Janeiro, 2005.

MARQUES et al. Graldo Luciano de Oliveira. **Procedimentos de avaliação e caracterização de agregados minerais usados na pavimentação asfáltica**. São Paulo, 2001.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. Ed. UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.

MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G.; PINTO, S. e LEITE, L.M., **Um Estudo de Fadiga de Misturas Asfálticas com Seis Cimentos Asfálticos da Petrobrás**. Anais do 10º IBP, Rio de Janeiro, 1990.

MOTTA, L.M.G.. **Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis; Critério de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas**. Tese de doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 1991.

MORILHA JUNIOR, A., **Estudo sobre a Ação de Modificadores no Envelhecimento dos Ligantes Asfálticos e nas suas Propriedades Mecânicas e de Fadiga das Misturas Asfálticas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

NOURELDIN, A.S. e WOOD, L.E. **Use of Nondestructive Tests to Evaluate Hot Mix Recycled Asphalt Pavements**. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists-AAPT, vol 58, USA, 1989.

OLIVEIRA FILHO, C. M. S., **Estudo do Efeito de Diferentes Granulometrias no Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas Densas Descontínuas Tipo Stone Matrix Asphalt (SMA)**. Dissertação de Mestrado, UFCE, Fortaleza, 2007.

PINTO, I.E. **Estudo das características físicas e mecânicas de misturas recicladas com espuma de asfalto**. 209 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

PREUSSLER, E. S. **Estudo de Deformação Resiliente de Pavimentos Flexíveis e Aplicação ao Projeto de Camadas de Reforço**. Tese de Doutorado em engenharia civil, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1983.

PAUL, H.R. **Evaluation of Recycled Projects for Performance**. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists-AAPT, vol.65. USA, 1996.

QUINTANS A.L.L, **Estudos das principais mineralógicas, físicas e mecânicas de um solo arenoso fino laterítico (SAFL) utilizado na pavimentação do complexo aeroportuário de grande Natal-RN/NE**. Campina Grande, 2008.

ROBERTS, F. L.; Kandhal, P. S. e Brown, E. R.; Lee D. Y. e Kennedy T. W. **Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction**. NAPA Research and Education Foundation, Lanham, Maryland, 2ª edição. NCAT. USA, 1996.

SANTANA, H. Adesividade. Rio de Janeiro.

SOTO J.A., J.A. CARDOSO, et al., Estrada. V Congresso Rodoviário Português. **Reciclagem semiquente em central**. EN 244 – entre ponte de sôr e o entroncamento com a en118. Portugal, 2008.

SILVEIRA M. A.. **Estudo de dosagem de misturas asfálticas recicladas a frio no Ceará**. Ceará, 2004.

SOUTO H. M. & SOARES J. B.. 11ª REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA PORTO ALEGRE -RS 2002.

SOLAIMANIAN, M. e TAHMORESSI M. **Variability Analysis of Hot-Mix Asphalt Concrete Containing High Percentage of Reclaimed Asphalt Pavement**. Transportation Research Record 1543, TRB. National Research Council. Washington, D.C. 1995.

Tais Sachet & Fernando Pugliero. **Reciclagem in situ de bases granulares de pavimentos asfálticos**. Gonçalves Universidade de Passo Fundo – UPF. Passo Fundo, RS, 2008.

TERREL, R. L.; EPPS, J.A. e SORENSON, J.B. **Hot-in-Place Recycling State of the Practice**. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists-AAPT, Vol. 66, USA, 1997.

TERREL,R.L. e FRITCHEN, D.R. **Laboratory Performance of Recycled Asphalt Concrete**. ASTM STP 662 L.E. Wood, Ed. American Society for Testing and Materials. USA, 1978.

TONIAL A. I., **Influência do envelhecimento do revestimento asfáltico na vida de fadiga de pavimentos**. [Rio de Janeiro] 2001. X, 248 p., 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2001.

USACE U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Hot-Mix Asphalt Paving Handbook**. USA, 2000.

WU, Y., Parker, F. e Kandhal K. **Aggregate Toughnes/Abrasion resistance and durability/soundness tests related to Asphalt concrete performance in pavements**. NCAT Report.n° 98-4. USA, 1998.

## **8 - ANEXOS**

### **Anexos A**

Constam gráficos resultantes dos ensaios de granulometria e planilha de calculo da extração do asfalto.

### **Anexo B**

Constam as planilhas de cálculo das misturas recicladas e mistura padrão, enquadrada na faixa "C" do DNIT.

### **Anexo C**

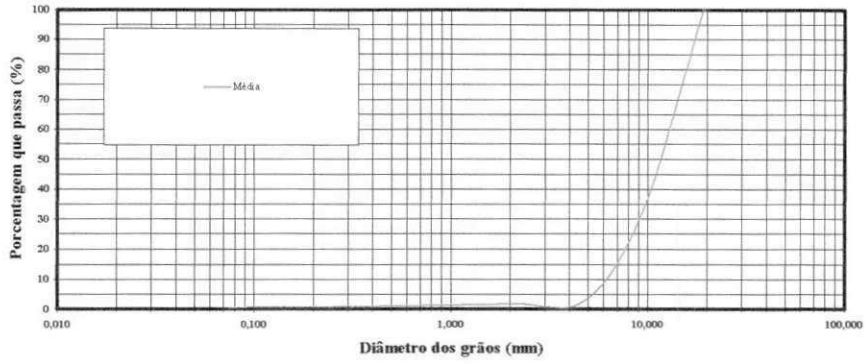
Constam as planilhas de cálculo dos ensaios: Marshall, de Resistência à Tração, do Lottman Modificado e do Módulo de Resiliência.



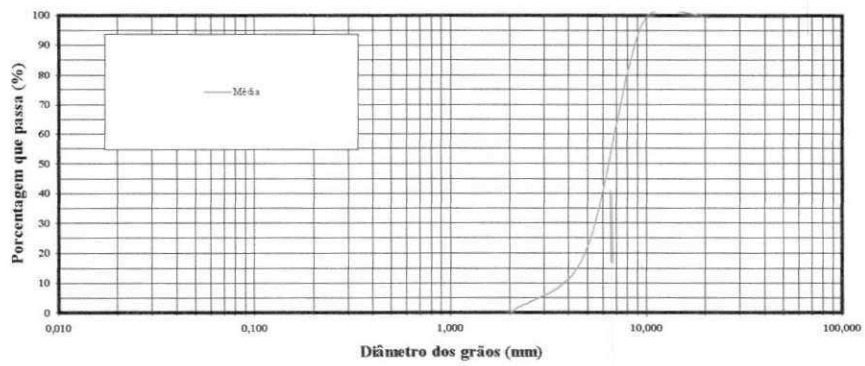
# Anexos A

Constam gráficos resultantes dos ensaios de granulometria e planilha de calculo da extração do asfalto.

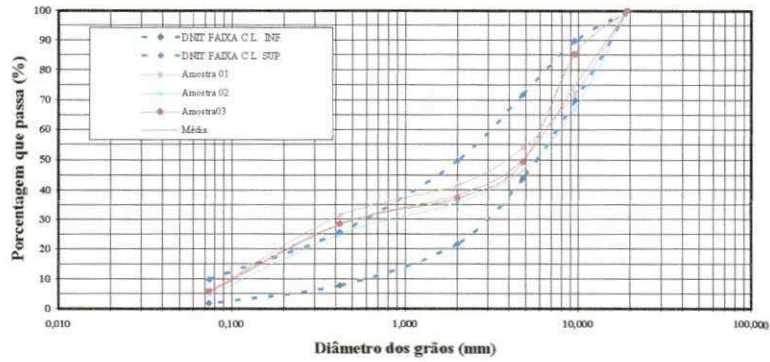
## Analise Granulométrica Pedrisco Média das Amsotras 01, 02 e 03



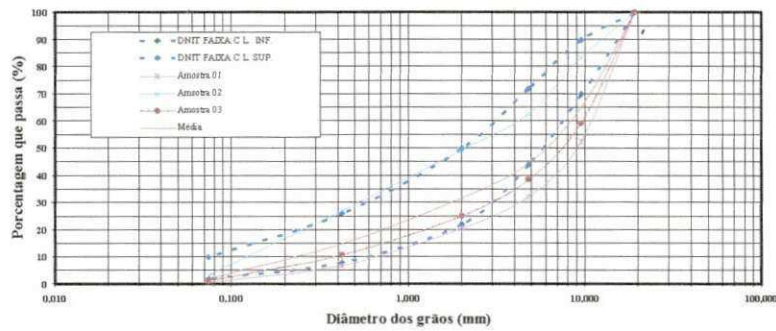
## Analise Granulométrica Brita 19 Média das Amsotras 01, 02 e 03



**Análise Granulométrica  
Após Extração do Ligante  
Amostra 01, 02 e 03  
Média**



**Análise Granulométrica  
Antes da Extração do Ligante  
Amostra 01, 02 e 03  
Média**



Extração de Ligante	
Amostra 01	
Peso antes da extração (g)	1276
Peso seco depois da extração (g)	1225,6
Peso do ligante (g)	50,4
Teor de Ligante (%)	3,95
Amostra 02	
Peso antes da extração (g)	1041,8
Peso seco depois da extração (g)	1004,8
Peso do ligante (g)	37
Teor de Ligante (%)	3,55
Amostra 03	
Peso antes da extração (g)	1082,9
Peso seco depois da extração (g)	1031,4
Peso do ligante (g)	51,5
Teor de Ligante (%)	4,76
Teor de ligante Médio (%)	4,09

## **Anexo B**

Constam as planilhas de cálculo das misturas recicladas e mistura padrão, enquadrada na faixa "C" do DNIT.

Peneira			Materiais										Resultado	Faixa "C" DNIT	
Pol	(mm)	Fresado		Brita19		Pedrisco	3/8"	Pó de Pedra		Cal		100	Mínimo	Máximo	
		Total (%)	0	Total (%)	21	Total (%)	32	Total (%)	44	Total (%)	3				
1,5	38,10	100	0,00							0,00	0,00				
1"	25,40	100	0,00	100,0	21,00	100	32,00	100,00	44,00	100,00	3,00	100,00	100,00	100,00	
3/4"	1	19,10	0,00	97,3	20,43	100	32,00	100,00	44,00	100,00	3,00	99,43	100,00	100,00	
1/2"	0,83224	12,70	0,00	19,3	4,05	100	32,00	100,00	44,00	100,00	3,00	83,05	80,00	100,00	
nº 4	0,53715	4,80	0,00	0,0	0,00	33,33	10,67	99,80	43,91	100,00	3,00	57,58	44,00	72,00	
nº 10	0,36224	2,00	0,00	0,0	0,00	3	0,96	72,70	31,99	100,00	3,00	35,95	22,00	50,00	
nº 40	0,17947	0,42	0,00	0,0	0,00	1,9	0,61	40,70	17,91	100,00	3,00	21,52	8,00	26,00	
nº 80	0,12258	0,18	0,00	0,0	0,00	1,2	0,38	16,30	7,17	100,00	3,00	10,56	4,00	16,00	
nº 200	0,08236	0,074	0,00	0,0	0,00	0,7	0,22	6,00	2,64	100,00	3,00	5,86	2,00	10,00	

Peneira			Materiais										Resultado	Faixa "C" DNIT	
Pol	(mm)	Fresado		Brita19		Pedrisco	3/8"	Pó de Pedra		Cal		100	Mínimo	Máximo	
		Total (%)	10	Total (%)	14	Total (%)	34	Total (%)	39	Total (%)	3				
1,5	38,10	100	10,00							0,00	0,00				
1"	25,40	100	10,00	100,0	14,00	100	34,00	100,00	39,00	100,00	3,00	100,00	100,00	100,00	
3/4"	1	19,10	10,00	97,3	13,62	100	34,00	100,00	39,00	100,00	3,00	99,62	100,00	100,00	
1/2"	0,83224	12,70	8,20	19,3	2,70	100	34,00	100,00	39,00	100,00	3,00	86,90	80,00	100,00	
nº 4	0,53715	4,80	5,00	0,0	0,00	33,33	11,33	99,80	38,92	100,00	3,00	58,26	44,00	72,00	
nº 10	0,36224	2,00	3,83	0,0	0,00	3	1,02	72,70	28,35	100,00	3,00	36,20	22,00	50,00	
nº 40	0,17947	0,42	2,84	0,0	0,00	1,9	0,65	40,70	15,87	100,00	3,00	22,36	8,00	26,00	
nº 80	0,12258	0,18	1,75	0,0	0,00	1,2	0,41	16,30	6,36	100,00	3,00	11,52	4,00	16,00	
nº 200	0,08236	0,074	0,55	0,0	0,00	0,7	0,24	6,00	2,34	100,00	3,00	6,12	2,00	10,00	

Peneira			Materiais										Resultado	Faixa "C" DNIT	
Pol		(mm)	Fresado		Brita19		Pedrisco	3/8"	Pó de Pedra		Cal		100	Mínimo	Máximo
			Total (%)	30	Total (%)	10	Total (%)	29	Total (%)	28	Total (%)	3			
1,5		38,10	100	30,00						0,00		0,00			
1"		25,40	100	30,00	100,0	10,00	100	29,00	100,00	28,00	100,00	3,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	1	19,10	100	30,00	97,3	9,73	100	29,00	100,00	28,00	100,00	3,00	99,73	100,00	100,00
1/2"	0,83224	12,70	82,00	24,60	19,3	1,93	100	29,00	100,00	28,00	100,00	3,00	86,53	80,00	100,00
nº 4	0,53715	4,80	50,01	15,00	0,0	0,00	33,33	9,67	99,80	27,94	100,00	3,00	55,61	44,00	72,00
nº 10	0,36224	2,00	38,25	11,48	0,0	0,00	3	0,87	72,70	20,36	100,00	3,00	35,70	22,00	50,00
nº 40	0,17947	0,42	28,42	8,53	0,0	0,00	1,9	0,55	40,70	11,40	100,00	3,00	23,47	8,00	26,00
nº 80	0,12258	0,18	17,5	5,25	0,0	0,00	1,2	0,35	16,30	4,56	100,00	3,00	13,16	4,00	16,00
nº 200	0,08236	0,074	5,45	1,64	0,0	0,00	0,7	0,20	6,00	1,68	100,00	3,00	6,52	2,00	10,00

Peneira			Materiais										Resultado	Faixa "C" DNIT	
Pol		(mm)	Fresado		Brita19		Pedrisco	3/8"	Pó de Pedra		Cal		100	Mínimo	Máximo
			Total (%)	50	Total (%)	0	Total (%)	30	Total (%)	17	Total (%)	3			
1,5		38,10	100	50,00						0,00		0,00			
1"		25,40	100	50,00	100,0	0,00	100	30,00	100,00	17,00	100,00	3,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	1	19,10	100	50,00	97,3	0,00	100	30,00	100,00	17,00	100,00	3,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	0,83224	12,70	82,00	41,00	19,3	0,00	100	30,00	100,00	17,00	100,00	3,00	91,00	80,00	100,00
nº 4	0,53715	4,80	50,01	25,01	0,0	0,00	33,33	10,00	99,80	16,97	100,00	3,00	54,97	44,00	72,00
nº 10	0,36224	2,00	38,25	19,13	0,0	0,00	3	0,90	72,70	12,36	100,00	3,00	35,38	22,00	50,00
nº 40	0,17947	0,42	28,42	14,21	0,0	0,00	1,9	0,57	40,70	6,92	100,00	3,00	24,70	8,00	26,00
nº 80	0,12258	0,18	17,5	8,75	0,0	0,00	1,2	0,36	16,30	2,77	100,00	3,00	14,88	4,00	16,00
nº 200	0,08236	0,074	5,45	2,73	0,0	0,00	0,7	0,21	6,00	1,02	100,00	3,00	6,96	2,00	10,00

Peneira			Materiais										Resultado	Faixa "C" DNIT	
Pol		(mm)	Fresado		Brita19		Pedrisco	3/8"	Pó de Pedra		Cal		100	Mínimo	Máximo
			Total (%)	75	Total (%)	0	Total (%)	20	Total (%)	2	Total (%)	3			
1,5		38,10	100	75,00						0,00		0,00			
1"		25,40	100	75,00	100,0	0,00	100	20,00	100,00	2,00	100,00	3,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	1	19,10	100	75,00	97,3	0,00	100	20,00	100,00	2,00	100,00	3,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	0,83224	12,70	82,00	61,50	19,3	0,00	100	20,00	100,00	2,00	100,00	3,00	86,50	80,00	100,00
nº 4	0,53715	4,80	50,01	37,51	0,0	0,00	33,33	6,67	99,80	2,00	100,00	3,00	49,17	44,00	72,00
nº 10	0,36224	2,00	38,25	28,69	0,0	0,00	3	0,60	72,70	1,45	100,00	3,00	33,74	22,00	50,00
nº 40	0,17947	0,42	28,42	21,32	0,0	0,00	1,9	0,38	40,70	0,81	100,00	3,00	25,51	8,00	26,00
nº 80	0,12258	0,18	17,5	13,13	0,0	0,00	1,2	0,24	16,30	0,33	100,00	3,00	16,69	4,00	16,00
nº 200	0,08236	0,074	5,45	4,09	0,0	0,00	0,7	0,14	6,00	0,12	100,00	3,00	7,35	2,00	10,00

Peneira			Materiais										Resultado	Faixa "C" DNIT	
Pol		(mm)	Fresado		Brita19		Pedrisco	3/8"	Pó de Pedra		Cal		100	Mínimo	Máximo
			Total (%)	10	Total (%)	15	Total (%)	30	Total (%)	45	Total (%)	0			
1,5		38,10	100	10,00						0,00		0,00			
1"		25,40	100	10,00	100,0	15,00	100	30,00	100,00	45,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	1	19,10	100	10,00	97,3	14,60	100	30,00	100,00	45,00	100,00	0,00	99,60	100,00	100,00
1/2"	0,83224	12,70	82,00	8,20	19,3	2,90	100	30,00	100,00	45,00	100,00	0,00	86,10	80,00	100,00
nº 4	0,53715	4,80	50,01	5,00	0,0	0,00	33,33	10,00	99,80	44,91	100,00	0,00	59,91	44,00	72,00
nº 10	0,36224	2,00	38,25	3,83	0,0	0,00	3	0,90	72,70	32,72	100,00	0,00	37,44	22,00	50,00
nº 40	0,17947	0,42	28,42	2,84	0,0	0,00	1,9	0,57	40,70	18,32	100,00	0,00	21,73	8,00	26,00
nº 80	0,12258	0,18	17,5	1,75	0,0	0,00	1,2	0,36	16,30	7,34	100,00	0,00	9,45	4,00	16,00
nº 200	0,08236	0,074	5,45	0,55	0,0	0,00	0,7	0,21	6,00	2,70	100,00	0,00	3,46	2,00	10,00

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Peneira			Materiais										Resultado	Faixa "C" DNIT	
Pol		(mm)	Fresado		Brita19		Pedrisco	3/8"	Pó de Pedra		Cal		100	Mínimo	Máximo
			Total (%)	30	Total (%)	0	Total (%)	35	Total (%)	35	Total (%)	0			
1,5		38,10	100	30,00							0,00	0,00			
1"		25,40	100	30,00	100,0	0,00	100	35,00	100,00	35,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	1	19,10	100	30,00	97,3	0,00	100	35,00	100,00	35,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	0,83224	12,70	82,00	24,60	19,3	0,00	100	35,00	100,00	35,00	100,00	0,00	94,60	80,00	100,00
nº 4	0,53715	4,80	50,01	15,00	0,0	0,00	33,33	11,67	99,80	34,93	100,00	0,00	61,60	44,00	72,00
nº 10	0,36224	2,00	38,25	11,48	0,0	0,00	3	1,05	72,70	25,45	100,00	0,00	37,97	22,00	50,00
nº 40	0,17947	0,42	28,42	8,53	0,0	0,00	1,9	0,67	40,70	14,25	100,00	0,00	23,44	8,00	26,00
nº 80	0,12258	0,18	17,5	5,25	0,0	0,00	1,2	0,42	16,30	5,71	100,00	0,00	11,38	4,00	16,00
nº 200	0,08236	0,074	5,45	1,64	0,0	0,00	0,7	0,25	6,00	2,10	100,00	0,00	3,98	2,00	10,00

Peneira			Materiais										Resultado	Faixa "C" DNIT	
Pol		(mm)	Fresado		Brita19		Pedrisco	3/8"	Pó de Pedra		Cal		100	Mínimo	Máximo
			Total (%)	50	Total (%)	0	Total (%)	25	Total (%)	25	Total (%)	0			
1,5		38,10	100	50,00							0,00	0,00			
1"		25,40	100	50,00	100,0	0,00	100	25,00	100,00	25,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	1	19,10	100	50,00	97,3	0,00	100	25,00	100,00	25,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	0,83224	12,70	82,00	41,00	19,3	0,00	100	25,00	100,00	25,00	100,00	0,00	91,00	80,00	100,00
nº 4	0,53715	4,80	50,01	25,01	0,0	0,00	33,33	8,33	99,80	24,95	100,00	0,00	58,29	44,00	72,00
nº 10	0,36224	2,00	38,25	19,13	0,0	0,00	3	0,75	72,70	18,18	100,00	0,00	38,05	22,00	50,00
nº 40	0,17947	0,42	28,42	14,21	0,0	0,00	1,9	0,48	40,70	10,18	100,00	0,00	24,86	8,00	26,00
nº 80	0,12258	0,18	17,5	8,75	0,0	0,00	1,2	0,30	16,30	4,08	100,00	0,00	13,13	4,00	16,00
nº 200	0,08236	0,074	5,45	2,73	0,0	0,00	0,7	0,18	6,00	1,50	100,00	0,00	4,40	2,00	10,00



Peneira			Materiais										Resultado	Faixa "C" DNIT	
			Fresado		Brita19		Pedrisco	3/8"	Pó de Pedra		Cal			Mínimo	Máximo
Pol		(mm)	Total (%)	75	Total (%)	0	Total (%)	15	Total (%)	10	Total (%)	0	100		
1,5		38,10	100	75,00						0,00		0,00			
1"		25,40	100	75,00	100,0	0,00	100	15,00	100,00	10,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	1	19,10	100	75,00	97,3	0,00	100	15,00	100,00	10,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	0,83224	12,70	82,00	61,50	19,3	0,00	100	15,00	100,00	10,00	100,00	0,00	86,50	80,00	100,00
nº 4	0,53715	4,80	50,01	37,51	0,0	0,00	33,33	5,00	99,80	9,98	100,00	0,00	52,49	44,00	72,00
nº 10	0,36224	2,00	38,25	28,69	0,0	0,00	3	0,45	72,70	7,27	100,00	0,00	36,41	22,00	50,00
nº 40	0,17947	0,42	28,42	21,32	0,0	0,00	1,9	0,29	40,70	4,07	100,00	0,00	25,67	8,00	26,00
nº 80	0,12258	0,18	17,5	13,13	0,0	0,00	1,2	0,18	16,30	1,63	100,00	0,00	14,94	4,00	16,00
nº 200	0,08236	0,074	5,45	4,09	0,0	0,00	0,7	0,11	6,00	0,60	100,00	0,00	4,79	2,00	10,00

Peneira			Materiais										Resultado	Faixa "C" DNIT	
			Fresado		Brita19		Pedrisco	3/8"	Pó de Pedra		Cal			Mínimo	Máximo
Pol		(mm)	Total (%)	100	Total (%)	0	Total (%)	0	Total (%)	0	Total (%)	0	100		
1,5		38,10	100	100,00						0,00		0,00			
1"		25,40	100	100,00	100,0	0,00	100	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	1	19,10	100	100,00	97,3	0,00	100	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	0,83224	12,70	82,00	82,00	19,3	0,00	100	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	82,00	80,00	100,00
nº 4	0,53715	4,80	50,01	50,01	0,0	0,00	33,33	0,00	99,80	0,00	100,00	0,00	50,01	44,00	72,00
nº 10	0,36224	2,00	38,25	38,25	0,0	0,00	3	0,00	72,70	0,00	100,00	0,00	38,25	22,00	50,00
nº 40	0,17947	0,42	28,42	28,42	0,0	0,00	1,9	0,00	40,70	0,00	100,00	0,00	28,42	8,00	26,00
nº 80	0,12258	0,18	17,5	17,50	0,0	0,00	1,2	0,00	16,30	0,00	100,00	0,00	17,50	4,00	16,00
nº 200	0,08236	0,074	5,45	5,45	0,0	0,00	0,7	0,00	6,00	0,00	100,00	0,00	5,45	2,00	10,00

## **Anexo C**

Constam as planilhas de cálculo dos ensaios: Marshall, de Resistência à Tração, do Lottman Modificado e do Módulo de Resiliência.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Com filer

# ENSAIO MARSHALL

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico  
Dens. Real da Mistura de Agregados

1,021  
2,646

Serviço : Material com 10% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer Cal  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova Nº	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumens - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE				
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.	CORR.		
																	d	e
-	% peso da mistura	c	-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-	-	-	
1	3,00	67,20	1.190,7	657,3	533,4	2,232	2,525	6,559	81,834	11,6	18,2	36,11	11,61			0	0,93	0
2	3,00	66,90	1.193,6	661,3	532,3	2,242	2,525	6,589	82,202	11,2	17,8	37,02	11,21			0	0,94	0
3	3,00	67,10	1.193,6	663,4	530,2	2,251	2,525	6,615	82,528	10,9	17,5	37,86	10,86			0	0,94	
4	3,50	66,70	1.185,3	656,1	529,2	2,240	2,506	7,678	81,686	10,6	18,3	41,92	10,64	845	1725		0,95	1631
5	3,50	66,60	1.193,9	672,6	521,3	2,290	2,506	7,851	83,525	8,6	16,5	47,65	8,62	715	1460		0,95	1384
6	3,50	66,50	1.194,2	671,9	522,3	2,286	2,506	7,838	83,386	8,8	16,6	47,18	8,78	890	1817		0,95	1727
7	4,00	65,40	1.193,5	675,9	517,6	2,306	2,488	9,034	83,658	7,3	16,3	55,28	7,31	895	1828		0,98	1785
8	4,00	65,30	1.192,6	676,8	515,8	2,312	2,488	9,058	83,887	7,1	16,1	56,22	7,05	915	1868		0,98	1829
9	4,00	65,10	1.197,9	681,8	516,1	2,321	2,488	9,093	84,211	6,7	15,8	57,59	6,70	905	1848		0,98	1818
10	4,50	66,70	1.196,0	673,6	522,4	2,289	2,469	10,091	82,631	7,3	17,4	58,09	7,28	600	1225		0,95	1158
11	4,50	64,70	1.193,7	685,1	508,6	2,347	2,469	10,344	84,710	4,9	15,3	67,65	4,95	885	1807		0,99	1796
12	4,50	65,50	1.194,0	680,7	513,3	2,326	2,469	10,252	83,955	5,8	16,0	63,90	5,79	775	1583		0,97	1541
13	5,00	64,50	1.193,9	690,9	503,0	2,374	2,451	11,624	85,218	3,2	14,8	78,64	3,16	840	1715		1,00	1713
14	5,00	63,50	1.194,4	692,6	501,8	2,380	2,451	11,656	85,458	2,9	14,5	80,16	2,89	795	1623		1,02	1664
15	5,00	63,80	1.195,8	691,2	504,6	2,370	2,451	11,605	85,083	3,3	14,9	77,80	3,31	785	1603		1,02	1630

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Com cal

# ENSAIO MARSHALL

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,641

Serviço : Material 30% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer Cal  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova Nº	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumens - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.	CORR.	
																	d
-	% peso da mistura	c	-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-	-	-
1	3,50	66,80	1.193,4	667,3	526,1	2,268	2,502	7,776	82,885	9,3	17,1	45,43	9,34	1035	2113	0,94	1993
2	3,50	65,00	1.192,8	675,5	517,3	2,306	2,502	7,904	84,253	7,8	15,7	50,20	7,84	1215	2481	0,99	2447
3	3,50	64,40	1.199,1	685,0	514,1	2,332	2,502	7,996	85,225	6,8	14,8	54,12	6,78	1090	2226	1,00	
4	4,00	64,40	1.196,0	681,3	514,7	2,324	2,483	9,104	84,466	6,4	15,5	58,60	6,43	1110	2267	1,00	
5	4,00	64,80	1.187,6	678,8	508,8	2,334	2,483	9,144	84,845	6,0	15,2	60,34	6,01	945	1930	0,99	1913
6	4,00	64,50	1.206,9	699,0	507,9	2,376	2,483	9,310	86,377	4,3	13,6	68,33	4,31	1070	2185	1,00	2182
7	4,50	64,30	1.198,1	690,3	507,8	2,359	2,465	10,399	85,317	4,3	14,7	70,82	4,28	1015	2073	1,00	2081
8	4,50	64,70	1.191,0	680,5	510,5	2,333	2,465	10,283	84,363	5,4	15,6	65,76	5,35	870	1777	0,99	
9	4,50	63,90	1.198,5	690,6	507,9	2,360	2,465	10,400	85,329	4,3	14,7	70,89	4,27	810	1654	1,01	1678
10	5,00	63,90	1.194,1	686,3	507,8	2,352	2,447	11,516	84,587	3,9	15,4	74,71	3,90	935	1909	1,01	
11	5,00	63,30	1.187,4	688,4	499,0	2,380	2,447	11,653	85,596	2,8	14,4	80,90	2,75	635	1297	1,03	1336
12	5,00	63,10	1.195,0	691,2	503,8	2,372	2,447	11,616	85,323	3,1	14,7	79,14	3,06	935	1909	1,04	1977
13	5,50	64,30	1.193,1	685,7	507,4	2,351	2,429	12,667	84,138	3,2	15,9	79,85	3,20	615	1256	1,00	1261
14	5,50	64,20	1.194,9	686,5	508,4	2,350	2,429	12,661	84,099	3,2	15,9	79,62	3,24	630	1286	1,01	1295
15	5,50	63,50	1.197,5	694,1	503,4	2,379	2,429	12,814	85,119	2,1	14,9	86,11	2,07	645	1317	1,02	1350

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Com cal

# ENSAIO MARSHALL

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,634

Serviço : Material com 50% Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer Cal  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova Nº	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm <sup>3</sup>	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Max.Teo. (kg/m <sup>3</sup> )	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.	CORR.	
																	d
-	% peso da mistura	-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-	-		
1	3,00	66,50	1.195,8	673,0	522,8	2,287	2,515	6,721	84,232	9,0	15,8	42,62	9,05	820	1674	0,95	1591
2	3,00	64,60	1.199,4	683,3	516,1	2,324	2,515	6,829	85,583	7,6	14,4	47,36	7,59	850	1736	1,00	1729
3	3,00	65,00	1.194,1	674,0	520,1	2,296	2,515	6,746	84,549	8,7	15,5	43,66	8,70	1000	2042	0,99	
4	3,50	65,60	1.195,6	685,3	510,3	2,343	2,496	8,032	85,836	6,1	14,2	56,71	6,13	930	1899	0,97	
5	3,50	65,40	1.196,2	681,3	514,9	2,323	2,496	7,964	85,112	6,9	14,9	53,49	6,92	910	1858	0,98	1814
6	3,50	66,90	1.191,4	663,3	528,1	2,256	2,496	7,734	82,652	9,6	17,3	44,58	9,61	575	1174	0,94	1105
7	4,00	63,60	1.195,3	688,3	507,0	2,358	2,477	9,236	85,926	4,8	14,1	65,63	4,84	1135	2318	1,02	2369
8	4,00	63,40	1.196,4	693,8	502,6	2,380	2,477	9,326	86,758	3,9	13,2	70,43	3,92	935	1909	1,03	1962
9	4,00	63,80	1.193,3	685,5	507,8	2,350	2,477	9,206	85,647	5,1	14,4	64,14	5,15	955	1950	1,02	1983
10	4,50	63,50	1.193,9	691,6	502,3	2,377	2,459	10,476	86,177	3,3	13,8	75,79	3,35	830	1695	1,02	
11	4,50	63,00	1.193,5	687,1	506,4	2,357	2,459	10,388	85,451	4,2	14,5	71,40	4,16	1010	2062	1,04	2141
12	4,50	62,80	1.195,6	694,3	501,3	2,385	2,459	10,512	86,472	3,0	13,5	77,70	3,02	860	1756	1,04	1833
13	5,00	63,30	1.198,3	691,4	506,9	2,364	2,441	11,577	85,261	3,2	14,7	78,55	3,16	940	1919	1,03	1977
14	5,00	63,40	1.193,0	687,7	505,3	2,361	2,441	11,562	85,153	3,3	14,8	77,87	3,29	960	1960	1,03	2014
15	5,00	63,80	1.194,4	692,4	502,0	2,379	2,441	11,652	85,813	2,5	14,2	82,13	2,54	970	1981	1,02	2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Com cal

# ENSAIO MARSHALL

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,628

Serviço : Material 75% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer Cal  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova N°	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumens - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max. Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.		CORR.
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	l/l	1-g/h	-	-		-
1	2,00	69,60	1.191,1	636,1	555,0	2,146	2,548	4,204	80,031	15,8	20,0	21,05	15,77	1100	2246	0,88	1980
2	2,00	68,80	1.192,0	640,7	551,3	2,162	2,548	4,235	80,629	15,1	19,4	21,86	15,14	1200	2450	0,90	2202
3	2,00	66,10	1.194,0	661,9	532,1	2,244	2,548	4,396	83,678	11,9	16,3	26,93	11,93	1330	2716	0,96	
4	2,50	67,20	1.191,6	651,1	540,5	2,205	2,529	5,398	81,793	12,8	18,2	29,65	12,81	1325	2706	0,93	
5	2,50	66,60	1.200,6	667,4	533,2	2,252	2,529	5,513	83,539	10,9	16,5	33,49	10,95	1300	2655	0,95	2516
6	2,50	67,50	1.192,5	648,7	543,8	2,193	2,529	5,369	81,358	13,3	18,6	28,80	13,27	1235	2522	0,93	2338
7	3,00	65,30	1.193,8	669,8	524,0	2,278	2,510	6,694	84,090	9,2	15,9	42,08	9,22	1450	2961	0,98	2898
8	3,00	66,10	1.194,9	668,6	526,3	2,270	2,510	6,671	83,800	9,5	16,2	41,18	9,53	1370	2798	0,96	2684
9	3,00	67,40	1.192,7	652,2	540,5	2,207	2,510	6,484	81,448	12,1	18,6	34,95	12,07	1340	2736	0,93	2543
10	3,50	63,90	1.192,9	688,3	504,6	2,364	2,491	8,104	86,808	5,1	13,2	61,43	5,09	1155	2359	1,01	
11	3,50	64,50	1.193,9	678,6	515,3	2,317	2,491	7,942	85,077	7,0	14,9	53,22	6,98	1520	3104	1,00	3100
12	3,50	64,40	1.192,4	682,2	510,2	2,337	2,491	8,012	85,819	6,2	14,2	56,50	6,17	1470	3002	1,00	3006
13	4,00	64,60	1.193,9	681,1	512,8	2,328	2,472	9,121	85,048	5,8	15,0	61,00	5,83	900	1838	1,00	1831
14	4,00	63,70	1.189,3	643,7	545,6	2,180	2,472	8,540	79,627	11,8	20,4	41,92	11,83	1270	2593	1,02	2644
15	4,00	64,20	1.192,6	685,7	506,9	2,353	2,472	9,217	85,945	4,8	14,1	65,58	4,84	1090	2226	1,01	2240

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Com cal

# ENSAIO MARSHALL

Replica

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,646

Serviço : Material 10% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer Cal  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova N°	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.		CORR.
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-		-
13	5,00	6,27	1.198,0	696,1	501,9	2,387	2,451	11,689	85,699	2,6	14,3	81,73	2,61	700	1429	45,67	65286

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Com cal

## ENSAIO MARSHALL

Replica

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,641

Serviço : Material 30% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer Cal  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova N°	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.		CORR.
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-		-
7	4,50	63,40	1.197,0	693,0	504,0	2,375	2,465	10,468	85,881	3,7	14,1	74,14	3,65	790	1613	1,03	1657

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Com cal

## ENSAIO MARSHALL

Replica

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,634

Serviço : Material 50% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer Cal  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova N°	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.		CORR.
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-		-
7	4,00	63,30	1.197,3	694,2	503,1	2,380	2,477	9,324	86,737	3,9	13,3	70,30	3,94	1010	2062	1,03	2125



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Com cal

# ENSAIO MARSHALL

Replica

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,628

Serviço : Material 75% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer Cal  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova Nº	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.	CORR.	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	
-	% peso da mistura	-	-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-	-	
13	4,00	63,10	1.198,1	694,7	503,4	2,380	2,472	9,324	86,941	3,7	13,1	71,40	3,73	915	1868	1,04	1935

# ENSAIO MARSHALL

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico

1,021

Serviço : Material 10% de Fresado

Dens. Real da Mistura de Agregados

2,65

Faixa D.N.E.R (C)

Constante da Prensa

2,042

Corpo de prova N°	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumens - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.		CORR.
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	l/l	1-g/h	-	-		-
1	3,00	65,00	1.997,7	677,0	1.320,7	1,513	2,529	4,444	55,367	40,2	44,6	9,96	40,19	830	1695	0,99	1672
2	3,00	64,70	1.188,0	672,7	515,3	2,305	2,529	6,774	84,388	8,8	15,6	43,39	8,84	735	1501	0,99	1492
3	3,00	64,30	1.196,9	677,0	519,9	2,302	2,529	6,764	84,268	9,0	15,7	43,00	8,97	840	1715	1,00	1722
4	3,50	65,20	1.194,4	675,7	518,7	2,303	2,510	7,894	83,852	8,3	16,1	48,88	8,25	710	1450	0,98	1423
5	3,50	64,10	1.195,0	683,0	512,0	2,334	2,510	8,001	84,992	7,0	15,0	53,31	7,01	710	1450	1,01	1463
6	3,50	64,30	1.194,6	682,3	512,3	2,332	2,510	7,994	84,914	7,1	15,1	52,99	7,09	795	1623	1,00	1630
7	4,00	64,40	1.191,4	679,7	511,7	2,328	2,491	9,122	84,347	6,5	15,7	58,27	6,53	820	1674	1,00	1677
8	4,00	63,30	1.192,1	684,4	507,7	2,348	2,491	9,199	85,061	5,7	14,9	61,58	5,74	910	1858	1,03	1914
9	4,00	63,40	1.192,1	681,2	510,9	2,333	2,491	9,141	84,528	6,3	15,5	59,08	6,33	900	1838	1,03	1888
10	4,50	64,00	1.192,3	676,5	515,8	2,312	2,472	10,188	83,303	6,5	16,7	61,02	6,51	645	1317	1,01	1333
11	4,50	64,60	1.193,1	679,5	513,6	2,323	2,472	10,239	83,716	6,0	16,3	62,88	6,05	605	1235	1,00	1231
12	4,50	63,80	1.191,9	686,7	505,2	2,359	2,472	10,398	85,023	4,6	15,0	69,43	4,58	675	1378	1,02	1402
13	5,00	62,40	1.192,3	690,8	501,5	2,377	2,454	11,643	85,230	3,1	14,8	78,83	3,13	710	1450	1,05	1529
14	5,00	62,80	1.193,2	690,2	503,0	2,372	2,454	11,617	85,040	3,3	15,0	77,65	3,34	805	1644	1,04	1715
15	5,00	62,90	1.191,6	689,8	501,8	2,375	2,454	11,629	85,129	3,2	14,9	78,20	3,24	745	1521	1,04	1583

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Sem filer

## ENSAIO MARSHALL

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,643

Serviço : Material 30% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova N°	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm <sup>3</sup>	Densidade		Volumens - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Max.Teo. (kg/m <sup>3</sup> )	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.	CORR.	
																	d
-	% peso da mistura	-	-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-	-	-
1	3,50	65,00	1.194,6	667,8	526,8	2,268	2,504	7,774	82,796	9,4	17,2	45,18	9,43	900	1838	0,99	1813
2	3,50	64,95	1.192,9	672,9	520,0	2,294	2,504	7,864	83,759	8,4	16,2	48,42	8,38	1000	2042	0,99	2017
3	3,50	65,30	1.195,1	670,7	524,4	2,279	2,504	7,812	83,209	9,0	16,8	46,53	8,98	880	1797	0,98	
4	4,00	64,60	1.189,0	673,1	515,9	2,305	2,485	9,029	83,713	7,3	16,3	55,44	7,26	840	1715	1,00	
5	4,00	65,00	1.195,4	675,2	520,2	2,298	2,485	9,003	83,467	7,5	16,5	54,45	7,53	650	1327	0,99	1309
6	4,00	64,60	1.189,5	671,5	518,0	2,296	2,485	8,996	83,408	7,6	16,6	54,22	7,60	840	1715	1,00	1709
7	4,50	65,60	1.191,7	669,1	522,6	2,280	2,467	10,050	82,396	7,6	17,6	57,09	7,55	600	1225	0,97	1190
8	4,50	64,00	1.186,8	672,0	514,8	2,305	2,467	10,161	83,300	6,5	16,7	60,84	6,54	810	1654	1,01	1673
9	4,50	64,40	1.189,0	674,1	514,9	2,309	2,467	10,178	83,438	6,4	16,6	61,45	6,38	730	1491	1,00	1493
10	5,00	63,10	1.189,1	682,9	506,2	2,349	2,449	11,504	84,435	4,1	15,6	73,91	4,06	1000	2042	1,04	
11	5,00	62,90	1.194,5	693,1	501,4	2,382	2,449	11,667	85,630	2,7	14,4	81,19	2,70	900	1838	1,04	1913
12	5,00	62,50	1.193,1	690,1	503,0	2,372	2,449	11,616	85,258	3,1	14,7	78,79	3,13	955	1950	1,05	2051
13	5,50	62,00	1.187,8	692,0	495,8	2,396	2,431	12,905	85,659	1,4	14,3	89,99	1,44	840	1715	1,07	1828
14	5,50	63,00	1.196,5	692,9	503,6	2,376	2,431	12,799	84,950	2,3	15,1	85,04	2,25	705	1440	1,04	1495
15	5,50	62,10	1.197,2	696,9	500,3	2,393	2,431	12,891	85,560	1,5	14,4	89,27	1,55	795	1623	1,06	1726

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Sem filer

## ENSAIO MARSHALL

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,637

Serviço : Material 50% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer Cal  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova Nº	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumens - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.	CORR.	
																	d
-	% peso da mistura	c	-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-	-	-
1	3,00	65,90	1.196,3	668,6	527,7	2,267	2,517	6,661	83,390	9,9	16,6	40,10	9,95	1035	2113	0,96	2038
2	3,00	65,50	1.198,5	680,2	518,3	2,312	2,517	6,794	85,059	8,1	14,9	45,47	8,15	1120	2287	0,97	2228
3	3,00	65,54	1.194,7	674,6	520,1	2,297	2,517	6,749	84,496	8,8	15,5	43,53	8,76	1250	2553	0,97	
4	3,50	63,40	1.196,0	690,0	506,0	2,364	2,499	8,103	86,496	5,4	13,5	60,00	5,40	1070	2185	1,03	
5	3,50	64,00	1.191,9	681,6	510,3	2,336	2,499	8,007	85,473	6,5	14,5	55,12	6,52	1180	2410	1,01	2438
6	3,50	64,10	1.196,2	682,5	513,7	2,329	2,499	7,982	85,214	6,8	14,8	53,99	6,80	970	1981	1,01	1999
7	4,00	64,90	1.191,4	678,1	513,3	2,321	2,480	9,093	84,498	6,4	15,5	58,66	6,41	990	2022	0,99	1999
8	4,00	63,80	1.189,4	679,0	510,4	2,330	2,480	9,130	84,836	6,0	15,2	60,20	6,03	1070	2185	1,02	2222
9	4,00	63,60	1.196,4	689,0	507,4	2,358	2,480	9,238	85,839	4,9	14,2	65,24	4,92	1135	2318	1,02	2369
10	4,50	65,80	1.191,2	670,5	520,7	2,288	2,462	10,083	82,850	7,1	17,2	58,79	7,07	750	1532	0,97	
11	4,50	64,00	1.191,4	679,0	512,4	2,325	2,462	10,248	84,206	5,5	15,8	64,88	5,55	1070	2185	1,01	2211
12	4,50	63,50	1.195,1	685,9	509,2	2,347	2,462	10,344	84,998	4,7	15,0	68,95	4,66	910	1858	1,02	1904
13	5,00	63,00	1.189,6	684,4	505,2	2,355	2,444	11,531	84,830	3,6	15,2	76,02	3,64	1040	2124	1,04	2205
14	5,00	62,70	1.191,1	689,6	501,5	2,375	2,444	11,631	85,564	2,8	14,4	80,57	2,80	825	1685	1,05	1763
15	5,00	62,80	1.195,3	692,8	502,5	2,379	2,444	11,649	85,695	2,7	14,3	81,43	2,66	880	1797	1,04	1875

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Sem filer

# ENSAIO MARSHALL

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico  
Dens. Real da Mistura de Agregados

1,021  
2,63

Serviço : Material 75% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova Nº	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.		CORR.
-	% peso da mistura	-	-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-	-	-
1	2,00	67,40	1.198,4	661,6	536,8	2,232	2,550	4,373	83,188	12,4	16,8	26,01	12,44	850	1736	0,93	1613
2	2,00	66,80	1.200,0	672,4	527,6	2,274	2,550	4,455	84,751	10,8	15,2	29,22	10,79	950	1940	0,94	1830
3	2,00	66,00	1.196,9	671,0	525,9	2,276	2,550	4,458	84,806	10,7	15,2	29,34	10,74	940	1919	0,96	1846
4	2,50	64,60	1.195,0	681,2	513,8	2,326	2,530	5,695	86,223	8,1	13,8	41,34	8,08	1025	2093	1,00	2085
5	2,50	64,70	1.196,7	680,2	516,5	2,317	2,530	5,673	85,894	8,4	14,1	40,22	8,43	970	1981	0,99	1968
6	2,50	64,10	1.198,5	688,7	509,8	2,351	2,530	5,756	87,154	7,1	12,8	44,81	7,09	950	1940	1,01	1958
7	3,00	64,30	1.196,8	685,5	511,3	2,341	2,511	6,878	86,330	6,8	13,7	50,31	6,79	945	1930	1,00	1937
8	3,00	64,40	1.196,0	685,5	510,5	2,343	2,511	6,884	86,407	6,7	13,6	50,64	6,71	820	1674	1,00	1677
9	3,00	63,20	1.198,7	695,5	503,2	2,382	2,511	6,999	87,859	5,1	12,1	57,65	5,14	830	1695	1,03	1750
10	3,50	64,00	1.197,0	689,5	507,5	2,359	2,493	8,085	86,543	5,4	13,5	60,08	5,37	1050	2144	1,01	2169
11	3,50	63,40	1.193,9	692,0	501,9	2,379	2,493	8,154	87,282	4,6	12,7	64,11	4,56	965	1971	1,03	2025
12	3,50	64,10	1.196,1	686,5	509,6	2,347	2,493	8,046	86,121	5,8	13,9	57,97	5,83	855	1746	1,01	1762
13	4,00	63,80	1.196,9	692,3	504,6	2,372	2,474	9,293	86,582	4,1	13,4	69,25	4,13	700	1429	1,02	1454
14	4,00	63,60	1.195,6	688,0	507,6	2,355	2,474	9,228	85,977	4,8	14,0	65,80	4,80	755	1542	1,02	1576
15	4,00	63,20	1.194,4	690,8	503,6	2,372	2,474	9,292	86,572	4,1	13,4	69,20	4,14	890	1817	1,03	1877

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Sem filer

# ENSAIO MARSHALL

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,595

Serviço : Material 100% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova N°	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm <sup>3</sup>	Densidade		Volumens - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Max.Teo. (kg/m <sup>3</sup> )	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.		CORR.
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-		-
1	2,00	65,50	1.195,4	675,1	520,3	2,298	2,517	4,501	86,766	8,7	13,2	34,01	8,73	1510	3083	0,97	3003
2	2,00	66,20	1.200,2	677,9	522,3	2,298	2,517	4,501	86,781	8,7	13,2	34,05	8,72	1450	2961	0,96	2834
3	2,00	64,50	1.198,5	683,4	515,1	2,327	2,517	4,558	87,869	7,6	12,1	37,57	7,57	1470	3002	1,00	2998
4	2,50	64,90	1.194,8	679,2	515,6	2,317	2,499	5,674	87,066	7,3	12,9	43,87	7,26	1480	3022	0,99	2988
5	2,50	66,00	1.191,7	665,9	525,8	2,266	2,499	5,550	85,156	9,3	14,8	37,39	9,29	1450	2961	0,96	2848
6	2,50	65,00	1.194,9	679,9	515,0	2,320	2,499	5,681	87,175	7,1	12,8	44,30	7,14	1350	2757	0,99	2719
7	3,00	64,20	1.196,6	689,5	507,1	2,360	2,480	6,933	88,204	4,9	11,8	58,78	4,86	1400	2859	1,01	2877
8	3,00	63,20	1.194,3	693,0	501,3	2,382	2,480	7,000	89,053	3,9	10,9	63,95	3,95	1300	2655	1,03	2742
9	3,00	63,40	1.193,6	689,6	504,0	2,368	2,480	6,959	88,524	4,5	11,5	60,64	4,52	1300	2655	1,03	2727
10	3,50	63,30	1.194,2	688,5	505,7	2,361	2,462	8,095	87,816	4,1	12,2	66,44	4,09	1290	2634	1,03	2714
11	3,50	63,00	1.195,1	690,5	504,6	2,368	2,462	8,119	88,074	3,8	11,9	68,08	3,81	1290	2634	1,04	2735
12	3,50	63,00	1.195,8	692,1	503,7	2,374	2,462	8,138	88,283	3,6	11,7	69,46	3,58	1280	2614	1,04	2714
13	4,00	63,10	1.197,1	691,7	505,4	2,369	2,444	9,280	87,625	3,1	12,4	74,99	3,10	1160	2369	1,04	2453
14	4,00	63,20	1.194,6	689,9	504,7	2,367	2,444	9,273	87,563	3,2	12,4	74,56	3,16	1140	2328	1,03	2404
15	4,00	63,20	1.197,1	691,1	506,0	2,366	2,444	9,269	87,521	3,2	12,5	74,28	3,21	1200	2450	1,03	2531

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Sem filer

## ENSAIO MARSHALL

Replica

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,65

Serviço : Material 10% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova N°	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.		CORR.
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-		-
10	4,50	64,70	1.196,9	687,1	509,8	2,348	2,472	10,348	84,609	5,0	15,4	67,23	5,04	580	1184	0,99	1177

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Sem filer

## ENSAIO MARSHALL

Replica

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,643

Serviço : Material 30% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova N°	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.		CORR.
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-		-
8	4,50	63,90	1.196,4	686,4	510,0	2,346	2,467	10,339	84,764	4,9	15,2	67,86	4,90	950	1940	1,01	1968

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Sem filer

## ENSAIO MARSHALL

Replica

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,637

Serviço : Material 50% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer Cal  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova N°	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.		CORR.
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-		-
10	4,50	63,30	1.197,3	694,3	503,0	2,380	2,462	10,491	86,204	3,3	13,8	76,05	3,30	895	1828	1,03	

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Sem filer

## ENSAIO MARSHALL

Replica

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,63

Serviço : Material 75% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova N°	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.		CORR.
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-		-
15	4,00	63,10	1.200,7	699,4	501,3	2,395	2,474	9,384	87,428	3,2	12,6	74,64	3,19	1030	2103	1,04	2178



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Sem filer

## ENSAIO MARSHALL

Replica

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,595

Serviço : Material 100% de Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova N°	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.		CORR.
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-		-
14	4,00	63,90	1.199,5	693,0	506,5	2,368	2,444	9,278	87,610	3,1	12,4	74,88	3,11	910	1858	1,01	1885

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Sem Material Fresado

# ENSAIO MARSHALL

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,643

Serviço : Material s/ Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer Cal  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova Nº	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm <sup>3</sup>	Densidade		Volumens - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Max. Teo. (kg/m <sup>3</sup> )	Ligante i	Agregado j	vazios k	Agregado l	Rel. betume vazios (%) m	Total n	LEIT. o	CALC. p	CORR. q	
																	d
-	% peso da mistura		-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-	-	-
1	3,50	67,20	1.195,3	663,3	532,0	2,247	2,504	7,702	82,034	10,3	18,0	42,87	10,26	845	1725	0,93	1611
2	3,50	67,00	1.196,7	666,1	530,6	2,255	2,504	7,731	82,347	9,9	17,7	43,80	9,92	825	1685	0,94	1581
3	3,50	65,70	1.194,3	672,6	521,7	2,289	2,504	7,848	83,584	8,6	16,4	47,80	8,57	875	1787	0,97	
4	4,00	65,60	1.193,4	674,3	519,1	2,299	2,485	9,007	83,504	7,5	16,5	54,60	7,49	645	1317	0,97	
5	4,00	65,10	1.193,0	677,8	515,2	2,316	2,485	9,072	84,108	6,8	15,9	57,09	6,82	805	1644	0,98	1617
6	4,00	65,60	1.195,4	673,9	521,5	2,292	2,485	8,980	83,259	7,8	16,7	53,64	7,76	750	1532	0,97	1488
7	4,50	57,80	1.069,0	613,8	455,2	2,348	2,467	10,351	84,856	4,8	15,1	68,35	4,79	650	1327	1,20	1587
8	4,50	57,50	1.070,6	616,2	454,4	2,356	2,467	10,384	85,132	4,5	14,9	69,85	4,48	775	1583	1,21	
9	4,50	57,40	1.069,5	616,2	453,3	2,359	2,467	10,399	85,251	4,3	14,7	70,51	4,35	655	1338	1,21	1618
10	5,00	63,30	1.195,9	692,5	503,4	2,376	2,449	11,634	85,390	3,0	14,6	79,63	2,98	825	1685	1,03	
11	5,00	64,00	1.193,5	687,2	506,3	2,357	2,449	11,544	84,731	3,7	15,3	75,60	3,73	755	1542	1,01	1580
12	5,00	62,60	1.196,7	698,1	498,6	2,400	2,449	11,754	86,270	2,0	13,7	85,61	1,98	760	1552	1,05	1628
13	5,50	62,60	1.188,5	691,7	496,8	2,392	2,431	12,887	85,537	1,6	14,5	89,10	1,58	745	1521	1,05	1596
14	5,50	62,50	1.192,2	694,7	497,5	2,396	2,431	12,909	85,682	1,4	14,3	90,16	1,41	690	1409	1,05	1482
15	5,50	63,70	1.193,1	694,3	498,8	2,392	2,431	12,885	85,523	1,6	14,5	89,01	1,59	670	1368	1,02	1395

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Sem Material Fresado

# ENSAIO MARSHALL

Replica

Data : Maio/08

Dens. Real do Cimento Asfáltico 1,021  
Dens. Real da Mistura de Agregados 2,643

Serviço : Material s/ Fresado  
Faixa D.N.E.R (C)

Filer Cal  
Constante da Prensa 2,042

Corpo de prova N°	% CA	altura (mm)	Peso em gramas		Volume cm3	Densidade		Volumes - % Total			Vazios (%)			ESTABILIDADE			
			ar (g)	água (g)		Aparente (kg/m3)	Max.Teo. (kg/m3)	Ligante	Agregado	vazios	Agregado	Rel. betume vazios (%)	Total	LEIT.	CALC.	CORR.	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	
-	% peso da mistura	-	-	-	d-e	d/f	-	(b*g)/Dlig.	((100-b)*g)/Dag.	100-i-j	100-j	i/l	1-g/h	-	-	-	
7	4,50	63,60	1.191,4	689,2	502,2	2,372	2,467	10,456	85,721	3,8	14,3	73,23	3,82	650	1327	1,02	1357

Ensaio de Resistência à Tração						
Material com filer						
	h (cm)	d (cm)	leitura kgf	corrigida kgf	r.tração (kgf/cm <sup>2</sup> )	r.tração (Mpa)
Com 10% de Fresado	6,4	10,15	550	1123,1	11,007	1,080
5% de ligante	6,55	10,2	605	1235,41	11,772	1,155
Média	6,48	10,18		1179,26	11,395	1,118
Com 30% de Fresado	6,36	10,15	700	1429,4	14,096	1,383
4,5% de Ligante	6,34	10,15	745	1521,29	15,050	1,477
Média	6,35	10,15		1475,35	14,572	1,430
Com 50% de Fresado	6,37	10,15	990	2021,58	19,905	1,953
4,0% de Ligante	6,38	10,15	995	2031,79	19,974	1,960
Média	6,38	10,15		2026,69	19,940	1,957
Com 75% de Fresado	6,38	10,16	1020	2082,84	20,456	2,007
4,0% de Ligante	6,41	10,15	990	2021,58	19,781	1,941
Média	6,40	10,16		2052,21	20,118	1,974
Sem Material Fresado	6,46	10,15	570	1163,94	11,301	1,109
4,5% de Ligante	6,43	10,16	590	1204,78	11,740	1,152
Média	6,45	10,16		1184,36	11,520	1,131

Ensaio de Resistência à Tração						
Material sem filer						
	h (cm)	d (cm)	leitura kgf	corrigida kgf	r.tração (kgf/cm <sup>2</sup> )	r.tração (Mpa)
Com 10% de Fresado	6,47	10,15	545	1112,89	10,789	1,059
4,5% de Ligante	6,4	10,18	500	1021	9,976	0,979
Media	6,44	10,17		1066,95	10,384	1,019
Com 30% de Fresado	6,34	10,16	770	1572,34	15,540	1,525
4,5% de Ligante	6,34	10,15	755	1541,71	15,252	1,497
Media	6,34	10,16		1557,03	15,396	1,511
Com 50% de Fresado	6,36	10,18	845	1725,49	16,966	1,665
4,5% de Ligante	6,25	10,15	920	1878,64	18,853	1,850
Media	6,31	10,17		1802,07	17,900	1,757
Com 75% de Fresado	6,42	10,15	1060	2164,52	21,147	2,075
4,0% de Ligante	6,35	10,15	1010	2062,42	20,371	1,999
Media	6,39	10,15		2113,47	20,761	2,037
Com 100% de Fresado	6,48	10,14	1090	2225,78	21,565	2,116
4% de ligante	6,52	10,15	920	1878,64	18,072	1,774
Media	6,50	10,15		2052,21	19,812	1,944

Ensaio Lottman Modificado							
Sem filer							
	h (cm)	d (cm)	leitura kgf	corrigida kgf	r tração (kgf/cm <sup>2</sup> )	r tração (Mpa)	%
Com 10% de Fresado	6,51	10,15	250	510,5	4,918	0,483	
4,5% de Ligante	6,45	10,15	250	510,5	4,964	0,487	
Média	6,48	10,15		510,50	4,941	0,485	48%
Com 30% de Fresado	6,5	10,15	370	755,54	7,291	0,715	
4,5% de Ligante	6,59	10,15	310	633,02	6,025	0,591	
Média	6,545	10,15		694,28	6,658	0,653	43%
Com 50% de Fresado	6,56	10,16	550	1123,1	10,728	1,053	
4,5% de Ligante	6,47	10,15	765	1562,13	15,144	1,486	
Média	6,52	10,16		1342,62	12,936	1,269	72%
Com 75% de Fresado	10,15	6,59	960	1960,32	18,658	1,831	
4,0% de Ligante	10,15	6,44	960	1960,32	19,092	1,874	
Média	10,15	6,52		1960,32	18,875	1,852	91%
Com 100% de Fresado	10,15	6,45	1020	2082,84	20,254	1,988	
4% de ligante	10,15	6,53	1040	2123,68	20,398	2,002	
Média	10,15	6,49		2103,26	20,326	1,995	103%

Ensaio Lottman Modificado							
Com filer							
	h (cm)	d (cm)	leitura kgf	corrigida kgf	r tração (kgf/cm <sup>2</sup> )	r tração (Mpa)	%
Com 10% de Fresado	6,37	10,15	570	1163,94	11,461	1,125	
4,5% de Ligante	6,35	10,15	540	1102,68	10,892	1,069	
Média	6,36	10,15		1133,31	11,176	1,097	98%
Com 30% de Fresado	6,39	10,15	580	1184,36	11,625	1,141	
4,5% de Ligante	6,37	10,16	590	1204,78	11,851	1,163	
Média	6,38	10,16		1194,57	11,738	1,152	81%
Com 50% de Fresado	6,41	10,15	940	1919,48	18,782	1,843	
4,5% de Ligante	6,38	10,14	900	1837,8	18,085	1,775	
Média	6,40	10,15		1878,64	18,433	1,809	92%
Com 75% de Fresado	6,49	10,15	990	2021,58	19,537	1,917	
4,0% de Ligante	6,44	10,15	1040	2123,68	20,683	2,030	
Média	6,47	10,15		2072,63	20,110	1,974	100%
<b>Sem Maternal Fresado</b>	10,16	6,45	420	857,64	8,332	0,818	
4,5% de ligante	10,16	6,57	405	827,01	7,887	0,774	
Média	10,16	6,51		842,33	8,110	0,796	70%

Ensaio de Modulo de Resiliencia										
Quantidade de Material Fresado com Filer (%)	Carga Média	Desvio Padrão Carga	Ciclo de Início de Calculo	Ciclo de final de Calculo	Módulo Total DNIT	Desvio Padrão Módulo Total - DNIT	Módulo Instantaneo DNIT	Desvio Padrão		
								Módulo Instantaneo - DNIT	((MRi - MRt)/MRi) DNIT	
0	1378,1	43,89	12	92	5012,1	287,96	6949,4	399,09	0,2788	
	1443,5	32,89	10	88	8026,4	480,11	10459,5	746,83	0,2326	
10	1446,4	34,72	6	92	8358,2	507,43	11436,6	713,77	0,2692	
	1447,9	35,63	10	98	7592,6	450,48	10256	672,21	0,2597	
30	2360,8	20,1	5	94	9793,2	565,65	12471,5	748,22	0,2148	
	2395,6	23,81	10	98	10166,6	518,97	12516,7	809,03	0,1878	
50	1868,9	21,63	5	96	11999,7	1376,93	14052,7	1640,28	0,1461	
	2782,3	28,51	6	60	14144,3	796,04	16787,7	1281,27	0,1575	
75	1885,1	35,11	4	93	11308,5	854,05	13145,6	1127,61	0,1397	
	2366,7	24,4	6	90	16052,5	1223,24	17709,9	1411,14	0,0936	
Ensaio de Modulo de Resiliencia										
Quantidade de Material Fresado com Filer (%)	Módulo Total NCHRP	Desvio Padrão Módulo Total - NCHRP	Módulo Instantaneo Real - NCHRP	Desvio Padrão Médio Instantaneo - NCHRP	((MRi - MRt)/MRi) - NCHRP	Atraso Médio	Desvio Padrão do Atraso	% Util do ciclo	% do deslocamento	
									% total p/ calculo do MR Inst.	% do ciclo p/ calculo do MR Inst.
0	4966,4	276,14	8123,1	598,87	0,3886	0,052	0,0036	95	75	75
	8005,6	511,94	10253,8	847,03	0,2193	0,048	0,0042	95	75	75
10	8275,8	489,39	12715,5	997,63	0,3492	0,051	0,0039	95	75	75
	7610,1	421,03	10640,1	921,11	0,2848	0,046	0,0037	95	75	75
30	9622	534,86	12270	792,84	0,2158	0,048	0,0033	95	75	75
	10071,6	518,65	12154,7	786,99	0,1714	0,044	0,003	95	75	75
50	11822,5	1404,17	13631,2	1597,91	0,1327	0,036	0,0041	95	75	75
	14307,9	908,1	16399	1220,2	0,1275	0,041	0,0038	95	75	75
75	11223,7	849,17	12963,6	1000,53	0,1342	0,041	0,0031	95	75	75
	15857,2	1131,74	17455,3	1297,12	0,0916	0,039	0,0042	95	75	75