

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

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

ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, DE ESTADO
E MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS PARA
OS REVESTIMENTOS DE PISTAS DE AERÓDROMOS

JOSÉ DE ARIMATÉIA ALMEIDA E SILVA

Campina Grande
Data: JUNHO / 2011

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

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS, DE ESTADO E MECÂNICAS DE MISTURAS
ASFÁLTICAS PARA OS REVESTIMENTOS DE PISTAS DE AERÓDROMOS**

JOSÉ DE ARIMATÉIA ALMEIDA E SILVA

**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

Junho de 2011

JOSÉ DE ARIMATÉIA ALMEIDA E SILVA

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, Junho de 2011



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCEG

- S586e Silva, José de Arimatéia Almeida e.
Estudo das propriedades físicas, de estado e mecânicas de misturas asfálticas para os revestimentos de pistas de aeródromos / José de Arimatéia Almeida e Silva. — Campina Grande, 2011.
172 f.: il. col.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
Orientador: Profº. Drº. John Kennedy Guedes Rodrigues.
Referências.
1. Misturas Asfálticas. 2. Composições Granulométricas. 3. Aeroportos. 4. Propriedades Mecânicas. I. Título.

CDU 625.85(043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

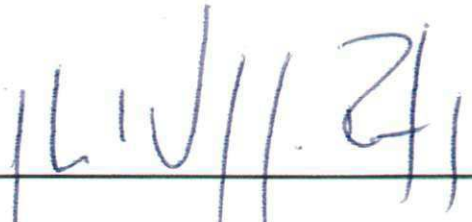
Autor: José de Arimatéia Almeida e Silva.

Título: Estudo das propriedades físicas, de estado e mecânicas de misturas asfálticas para os revestimentos de pistas de aeródromos.

Dissertação defendida e aprovada em: 20/06/2011

Banca Examinadora

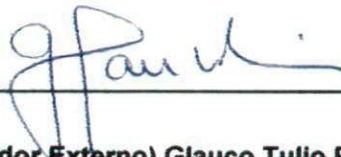
(Assinatura):



Prof. Dr. (Orientador) John Kennedy Guedes Rodrigues

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – LEP/DEC/CTRN/UFCG

(Assinatura):



Prof. Dr. (Examinador Externo) Glauco Tulio Pessa Fabbri

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS/UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO –
EESC/USP

(Assinatura):



Prof. Dr. (Examinador Interno) Adriano Elisio de Figueiredo Lopes Lucena

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – LEP/DEC/CTRN/UFCG

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação a DEUS;

Aos meus pais José de Anchieta e Maria de Lourdes, pela minha educação e formação;

Aos meus irmãos Anchieta e Priscila;

A minha namorada Simone Silva;

Ao meu orientador professor Kennedy pela sua dedicação e paciência.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, fonte de misericórdia e iluminação, força constante nos momentos difíceis;

Ao professor Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues pelos ensinamentos, orientação, apoio, atenção e incentivo durante a realização deste trabalho;

Ao professor Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena, pela orientação em todas as fases do trabalho, sempre com paciência e receptividade, tomando as tarefas mais fáceis;

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil/ Área de Geotecnia da UFCG, que com muita dedicação contribuem para a formação de profissionais de destaque;

A CAPES pela bolsa de estudos concedida.

A colega de trabalho Lêda Christiane que teve participação direta nos resultados obtidos neste trabalho;

Aos Estagiários Jonny Dantas e Vanessa Souza pela dedicação;

Ao laboratorista Jadilson pelo apoio e ajuda em determinadas etapas da pesquisa;

Aos amigos Carvalho, Rodrigo, Leonardo, Mariana, Solange, Vitória e Suelen pelo companheirismo;

Aos funcionários da UFCG e ATECEL, que colaboraram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho;

As instituições que tornaram o trabalho real devido ao apoio estrutural e financeiro (ATECEL, CAPES, CNPq, LEP).

RESUMO

Os materiais constituintes dos revestimentos asfálticos, bem como suas propriedades físicas, de estado e mecânicas sob ações do tráfego e do meio ambiente devem atender aos altos níveis de exigência, inerentes aos órgãos de controle de aeroportos nacionais e internacionais, preconizados pela *International Civil Aviation Organization (ICAO)*. Insere-se neste contexto a importância da melhoria e/ou da adequação distribuição dos tamanhos de partículas dos materiais que compõem os revestimentos asfálticos, às quais estão relacionadas diretamente à textura e ao comportamento mecânico da estrutura dos pavimentos aeroportuários. Este trabalho teve como objetivo o estudo sobre a adequação da distribuição dos tamanhos de partículas dos materiais que compõem os revestimentos asfálticos de aeródromos (Faixas 2 e 3) a partir da análise de propriedades físicas, de estado e mecânicas de misturas asfálticas utilizadas em pistas de pousos e de decolagens. Os resultados indicaram que houve um incremento significativo dos valores dos Módulos de Resiliência e de Resistência a Tração por Compressão Diametral em corpos de prova submetidos à compactação por amassamento quando comparados aos submetidos à compactação por impacto. Pode-se inferir que, para as pistas de pousos e de decolagens, as dosagens das misturas asfálticas compactadas por amassamento e com curvas granulométricas intermediárias aos limites superiores e inferiores das faixas conduzem as propriedades mecânicas mais adequadas aos revestimentos asfálticos destes pavimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Composições Granulométricas, Misturas Asfálticas, Aeroportos e Propriedades Mecânicas.

A B S T R A C T

The constituents of asphalt mixtures as well as its physical properties, state and mechanical performance under the action of traffic and the environment must attend the high levels of requirements, inherent in the control organs of national and international airports, established by the International Civil Aviation Organization (ICAO). Fits into this context The importance of the improvement and/or the adequacy of the particle size distribution of the materials is inserted in this context that compose asphalt mixture, which is related directly the texture and to the mechanical behavior of the structure of the airport pavements. This work had as objective the study on the adequacy of particle size distribution of the materials that compose asphalt mixtures of aerodromes (Zone 2 and 3) from the analysis of mechanical physical properties, state and mechanical properties of asphalt mixtures used in lanes landings and takeoffs. The results indicated that it was a significant increment of the Resilient Modulus values and the traction resistance to diametric compression values in test using gyratory compactor when compared with the tests submitted to the compacting for impact. It can be inferred that, for the tracks of landings and takeoff, the dosages asphalt mixtures compressed in gyratory compactor and with particle size distribution intermediate to upper and lower limits of the zone lead more adequate the mechanical properties to asphalt mixtures of the pavement.

KEYWORDS: Particle Size Distribution, Asphalt Mixtures, Airports and Mechanical Properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Estrutura de entrada de dados do Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide da AASHTO (2008).....	5
Figura 2.2 - Ilustração dos componentes das misturas asfálticas que definem suas proporções relativas.....	14
Figura 2.3 – Layout da forma de compactação e da estrutura do Compactador Giratório Superpave (CGS).....	17
Figura 2.4 - Granulometria de densidade máxima.....	18
Figura 2.5 – Curva de Fuller e Thompson para representação da distribuição dos tamanhos das partículas de agregados para misturas asfálticas[Tamanho Nominal 25 mm].....	20
Figura 2.6 – “Layout” do procedimento para a realização do ensaio de módulo de resiliência em corpos de prova submetidos à tração indireta por compressão diametral.....	23
Figura 2.7 – Layout do procedimento para realização do ensaio de Módulo Dinâmico (E^*) sob carregamento de tensão na compressão.....	23
Figura 2.8 – Tensão equivalente vertical versus profundidade da camada [Adaptado de MEPDG – AASHTO, (2008)].....	24
Figura 2.9 – Layout do estado de tensões gerado no ensaio de tração por compressão diametral [Fonte: Rohde (2007)].....	26
Figura 2.10 - Layout do procedimento para o ensaio de Lottman [Fonte: TANDON et al., (2003)].....	28
Figura 3.1 - Ilustração dos agregados graúdos (a) Brita 9,5 mm; (b) Brita 19,0 mm (c) Brita 25,0 mm.....	31
Figura 3.2 - Ilustração dos agregados miúdos (a) Areia de Campo; e (b) Pó-de-Pedra.....	31
Figura 3.3 - Laboratório de Engenharia de Pavimentos LEP/DEC/UFMG.....	33
Figura 3.4 - Quarteamento das amostras dos agregados.....	33
Figura 3.5 - Análise granulométrica: equipamentos provenientes LEP/DEC/UFMG.....	33
Figura 3.6– Equipamento utilizado para a realização da compactação por amassamento (SGC).....	35
Figura 3.7 - Curva de Fuller para a Mistura 1 - Faixa 2 (INFRAERO).....	37
Figura 3.8 - Curva de Fuller para a Mistura 1 - Faixa 3 (INFRAERO).....	38
Figura 3.9 - Curva Fuller da Mistura 2 para a Faixa 2.....	39
Figura 3.10 - Curva Fuller da Mistura 2 para a Faixa 3.....	40
Figura 3.11 - Curva Fuller da Mistura 3 para a Faixa 2.....	41
Figura 3.12 - Curva Fuller da Mistura 3 para a Faixa 3.....	42
Figura 3.13 - Equipamentos utilizados para realização da compactação dos corpos de prova.....	43
Figura 3.14 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio para o rompimento dos Corpos de Prova.....	43
Figura 3.15 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de Resistência a Tração (RT).....	45
Figura 3.16 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de Lottman Modificado.....	46
Figura 3.17 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de Módulo de Resiliência.....	48
Figura 3.18 - Interface de trabalho do programa utilizado para realização do ensaio de Módulo de Resiliência.....	49
Figura 3.19 – Modelo de relatório gerado pelo programa utilizado para o processamento dos dados e cálculos do M_R	50

Figura 4.1 – Curvas granulométricas dos materiais utilizados nas misturas asfálticas.	52
Figura 4.2 – Distribuição dos tamanhos das partículas da cal obtida por difração a laser.	54
Figura 4.3 – Parâmetros utilizados para fixação do teor de projeto de CAP.	55
Figura 4.4 - Estabilidade das Misturas Asfálticas para a Faixa 2 - INFRAERO.	57
Figura 4.5 - Estabilidade das Misturas Asfálticas para a Faixa 3 - INFRAERO.	57
Figura 4.6 - Gráfico VAM das misturas asfálticas para a Faixa 2 – INFRAERO.	58
Figura 4.7 - Gráfico VAM das misturas asfálticas para a Faixa 3 - INFRAERO.	59
Figura 4.8- Gráfico do Volume de Vazios das Misturas Asfálticas da Faixa 2 – INFRAERO.	60
Figura 4.9- Gráfico do Volume de Vazios das Misturas Asfálticas da Faixa 3 – INFRAERO.	60
Figura 4.10- Gráfico Da Relação Betume Vazios das Misturas da Faixa 2 – INFRAERO.	62
Figura 4.11 - Gráfico Da Relação Betume Vazios das Misturas da Faixa 3 – INFRAERO.	62
Figura 4.12 – Resultados Gráficos para o ensaio de Resistência a Tração por Compressão Diâmetral pela Compactação Marshall.	68
Figura 4.13 – Resultados Gráficos para o ensaio de <i>Lottman</i> para as Misturas Asfálticas.	69
Figura 4.14 - Módulo de resiliência em função do tipo da mistura e da forma de compactação [Por impacto: Marshall; e por amassamento: Superpave].	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Faixas granulométricas para revestimento asfáltico [INFRAERO]	7
Tabela 2.2 - Faixas granulométricas para revestimento asfáltico [FAA].....	7
Tabela 2.3 - Pontos de controle de acordo com o tamanho máximo do agregado (SUPERPAVE).	19
Tabela 2.4 – Zona de restrição de acordo com o tamanho máximo do agregado (SUPERPAVE).	19
Tabela 2.5 – Recomendação SUPERPAVE para vazios de agregado mineral (SUPERPAVE).	20
Tabela 3.1 – Propriedades físicas do CAP utilizado na Pesquisa.....	32
Tabela 3.2 - Normas utilizadas para a realização dos ensaios de caracterização do CAP.....	32
Tabela 3.3- Normas utilizadas para caracterização dos agregados e filer.....	34
Tabela 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas dos materiais granulares.....	52
Tabela 4.2 - Massa específica real dos agregados graúdos utilizados nas misturas asfálticas.....	53
Tabela 4.3 - Massa específica real dos agregados miúdos utilizados nas misturas asfálticas.	53
Tabela 4.4 - Massa específica real da Cal Hidratada tipo CH-I.....	53
Tabela 4.5 - Resultado do ensaio de Abrasão “Los Angeles”.	54
Tabela 4.6 - Resultado do ensaio de absorção.....	55
Tabela 4.7 – Valores do teor ótimo de CAP de Projeto para as misturas asfálticas.....	55
Tabela 4.8 – Resultado da Estabilidade das misturas asfálticas com o teor ótimo de CAP de projeto.	56
Tabela 4.9 – Resultado da razão VAM para as misturas asfálticas com o teor de CAP de projeto.	58
Tabela 4.10 – Resultado do Volume de Vazios para as misturas asfálticas com o teor de CAP de projeto.	59
Tabela 4.11 – Resultado da Relação Betume Vazios para as misturas asfálticas com o teor de CAP de projeto.	61
Tabela 4.12– Volume de vazios (Vv) para as misturas compactadas por amassamento e por impacto.	63
Tabela 4.13 – Volume do Agregado mineral (VAM) para as misturas compactadas por amassamento e por impacto.....	64
Tabela 4.14 – Relação Betume Vazios (RBV) para as misturas compactadas por amassamento e por impacto.....	64
Tabela 4.15 – Resultados do ensaio de Resistência a Tração (RT) para as Misturas Asfálticas.....	67
Tabela 4.16 – Resultados do ensaio Lottman para as Misturas Asfálticas.....	68
Tabela 4.17 – Resultados do ensaio de Módulo de Resiliência.....	70
Tabela 4.18 – Resultados da razão MR/RT das misturas asfálticas.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Especificação da aeronáutica para misturas asfálticas de aeródromos [(Norma NSMA 85-2)].....	10
Quadro 3.1 - Denominações de misturas asfálticas utilizadas na pesquisa.....	36
Quadro 3.2 – Distribuição Granulométrica da Mistura 1 - Faixa 2 (INFRAERO).....	36
Quadro 3.3 – Distribuição Granulométrica da Mistura 1 - Faixa 3 (INFRAERO).....	37
Quadro 3.4– Distribuição Granulométrica da Mistura 2 da Faixa 2.....	38
Quadro 3.5 – Distribuição Granulométrica da Mistura 2 para a Faixa 3.....	39
Quadro 3.6 – Distribuição Granulométrica da Mistura 3 para a Faixa 2.....	40
Quadro 3.7 – Distribuição Granulométrica da Mistura 3 para a Faixa 3.....	41

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 3.1 – Seqüência de atividades e de ensaios realizados na fase experimental da pesquisa.....	30
Fluxograma 3.2 – Seqüência da Dosagem Marshall.....	44
Fluxograma 3.3 – Seqüência dos Procedimentos do Ensaio de Resistência a Tração.....	45
Fluxograma 3.4 – Seqüência dos procedimentos do ensaio de LOTTMAN.....	47
Fluxograma 3.5 – Seqüência dos procedimentos utilizados para a realização do ensaio de Módulo de Resiliência.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO	American Association Of State Highway And Transportation Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANAC	Agencia Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional de Petróleo
ASTM	American Society for Testing and Material
ATECEL	Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBR	Índice de Suporte Califórnia
CGS	Compactador Giratório SUPERPAVE
CPA	Camada Porosa de Atrito
DEC	Departamento de Engenharia Civil
DIRENG	Diretoria De Engenharia Da Aeronáutica
DOTs	Departamentos de Transportes dos Estados Unidos
DMT	Massa Específica Teórica das Misturas Asfálticas
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transporte
FAA	Federal Aviation Administration
G_{mm}	Massa Específica Máxima Medida
G_{sb}	Massa Específica Aparente
HMA	Hot Mix Asphalt

ICAO	International Civil Aviation Organization
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária
LEP	Laboratório de Engenharia de Pavimentos
LUBNOR	Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste
MR	Módulo de Resiliência
NBR	Norma Brasileira Registrada
NSMA	Norma de Infra-Estrutura da Aeronáutica
PG	Performance Grade
RBV	Relação Betume Vazios
RRT	Relação da Resistência à Tração
RT	Resistência à Tração
SHRP	Strategic Highway Research Program
SMA	Stone Matrix Asphalt
SUPERPAVE	Superior Performance Asphalt Pavements
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
VAM	Vazios do Agregado Mineral
VV	Volume De Vazios
VTM	Vazios Na Mistura Total
ZR	Zona de Restrição

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Geral	2
1.1.2 Específicos	2
1.2 Organização do trabalho	2
CAPÍTULO 2	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 Propriedades das misturas asfálticas	4
2.2 Agregados	5
2.3 Cimento asfáltico de petróleo – CAP	8
2.3.1 Composição Química do CAP	8
2.4 Dosagens de misturas asfálticas	9
2.4.1 Compactação de misturas asfálticas	12
2.4.2 Parâmetros volumétricos de uma mistura asfáltica	13
2.4.3 Dosagem Marshall	15
2.4.4 Dosagem Superpave	16
2.5 Parâmetros de misturas asfálticas relevantes para a pavimentação	21
2.5.1 Módulo de Resiliência	21
2.5.2 Ensaio de tração indireta por compressão diametral	25
2.5.3 Ensaio de Lottman	26
2.6 Relação MR/RT	28
CAPÍTULO 3	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS	29
3.1 Primeira Etapa: Seleção dos Materiais	30
3.1.1 Materiais Granulares	30
3.1.2 Cimento Asfáltico de Petróleo	31
3.1.3 Cal Hidratada (Filer)	32
3.1.4 Laboratórios utilizados	32
3.2 Segunda Etapa: Propriedades Físicas dos Materiais	33
3.2.1 Agregados	33
3.3 Terceira Etapa: Dosagem das Misturas Asfálticas	34
3.3.1 Misturas Asfálticas	34
3.4 Quarta Etapa – Propriedades Mecânicas das Misturas Asfálticas	42

3.4.1 Ensaio Marshall.....	42
3.4.2 Ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral (RT).....	44
3.4.3 Ensaio de Lottman	45
3.4.4 Ensaio de Módulo de Resiliência.....	47
CAPÍTULO 4.....	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
4.1 Primeira etapa: sobre as propriedades físicas dos materiais.....	51
4.1.1 Distribuição dos Tamanhos das Partículas dos Materiais Granulares	51
4.2 Segunda etapa: sobre a dosagem das misturas asfálticas.....	55
4.2.1 Sobre as características mecânicas e volumétricas das misturas asfálticas.	56
4.2.2 Considerações Gerais	65
4.3 Terceira etapa: sobre as propriedades mecânicas das misturas asfálticas.....	67
CAPÍTULO 5.....	72
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA AS FUTURAS PESQUISAS	72
5.1 Conclusões.....	72
5.2 Sugestões para as futuras pesquisas	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Os pavimentos de um complexo aeroportuário, uma das suas principais estruturas, se deterioram com o tempo. Normalmente é delineada pelo aparecimento de diferentes tipos de defeitos em sua estrutura e em sua superfície, causados pela combinação das condições ambientais, da susceptibilidade mecânica dos materiais utilizados, da ação contínua do tráfego e das limitações dos procedimentos de elaboração de projetos e de construção.

É possível definir um pavimento como sendo uma estrutura de múltiplas camadas finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem sobre o subleito que tem a função de fundação, destinada, técnica e economicamente, a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos visando propiciar aos usuários, sob variações sazonais do clima inerente à sua localização geográfica, condições adequadas ou pré-estabelecidas de tráfego com conforto, economia e segurança.

Os revestimentos asfálticos são constituídos de materiais tais como: agregados de tamanhos e de proporções mantidos unidos por um "ligante" denominado Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP). Seu nível de desempenho será tanto melhor quanto maior for sua interação com seus constituintes sob diferentes condições de carregamento, de estruturas e de variações sazonais do clima.

A disponibilidade, o custo e a qualidade, bem como as propriedades físicas e mecânicas aliados ao tipo de materiais constituintes dos revestimentos asfálticos e das camadas subjacentes do pavimento são atores importantes na seleção de uma melhor composição de uma mistura asfáltica.

Nos procedimentos de execução em obras de construção e de restauração de pavimentos de aeroportos é exigida uma atenção particular no controle tecnológico em função das propriedades físicas e mecânicas dos materiais e da mistura asfáltica, que são relacionadas à aderência, à irregularidade e à drenagem de águas pluviais, as quais são indispensáveis à segurança de pousos e de decolagens das aeronaves, que por sua vez, são inerentes ao atrito (função da micro e da macro estrutura - textura do revestimento) que têm um papel de alta relevância nas respectivas operações.

Portanto, os tipos de materiais constituintes dos revestimentos asfálticos, bem como suas propriedades físicas e mecânicas sob ações do tráfego e do meio ambiente devem atender aos altos níveis de exigência, inerentes aos órgãos de controle de aeroportos nacionais e internacionais, preconizados pela International Civil Aviation Organization (ICAO). Insere-se neste contexto a importância da melhoria e/ou da adequação da distribuição dos tamanhos de partículas dos materiais que compõem os revestimentos asfálticos, as quais estão relacionadas diretamente à textura e ao comportamento mecânico da estrutura dos pavimentos aeroportuários.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo o estudo sobre a adequação da distribuição dos tamanhos de partículas dos materiais que compõem os revestimentos asfálticos de aeródromos (Faixas 2 e 3) a partir da análise de propriedades físicas e mecânicas de misturas asfálticas preconizadas pela INFRAERO (Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária).

1.1.2 Específicos

- Analisar os limites da Faixa 2 e da Faixa 3 da INFRAERO;
- Comparar o comportamento mecânico de misturas asfálticas compactadas por amassamento e por impacto;
- Estudar as variações do teor do ligante em função da distribuição granulométrica dos agregados;
- Analisar as variações no valor do módulo de resiliência das misturas em cada faixa em estudo;

1.2 Organização do trabalho

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

[Capítulo 1] Introdução – são descritos uma visão geral do trabalho com a introdução, justificativa, os objetivos a serem alcançados e a forma da organização do trabalho.

[Capítulo 2] Fundamentação Teórica – são descritos e discutidos assuntos relacionados às propriedades das misturas asfálticas, agregados, cimento asfáltico de petróleo - CAP, compactação de misturas asfálticas, dosagens de misturas asfálticas e parâmetros de misturas asfálticas relevantes para pavimentação.

[Capítulo 3] Materiais e Métodos – são apresentados os procedimentos experimentais e materiais utilizados na pesquisa inerentes à metodologia científica do trabalho.

[Capítulo 4] Resultados – são apresentados e analisados com base na fundamentação teórica e nos resultados obtidos durante a fase experimental.

[Capítulo 5] Conclusões e Sugestões – é apresentado o relatório conclusivo inerente ao objetivo do trabalho, bem como as sugestões para futuras pesquisas.

Por fim, estão incluídos as Referências Bibliográficas e os Anexos, onde foram inseridas as planilhas, os gráficos e os quadros resultantes do processamento de dados.

CAPÍTULO 2

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Propriedades das misturas asfálticas

O conhecimento adequado das propriedades de estado, físicas e mecânicas de misturas asfálticas podem refletir, de forma direta e/ou indireta, no desempenho dos revestimentos asfálticos durante a vida útil do pavimento. Este, por sua vez, pode ser dimensionado a partir de métodos que levam em conta a compatibilidade de deformações entre as sucessivas camadas do pavimento (Métodos Racionais ou Mecânicos), que aliados às medições diretas realizadas em campo, tornam-se ferramentas indispensáveis para o estudo das composições, dos constituintes e dos agentes modificadores (aditivos) de misturas asfálticas, visando estabelecer uma dosagem adequada e que atenda aos níveis e às formas de diferentes tipos de carregamento em consonância com as variações sazonais inerentes ao meio ambiente.

Segundo Medina e Motta (2005), a tendência mundial é o estabelecimento de Métodos de dimensionamento mecanísticos tanto para pavimentos flexíveis e como para os rígidos, novos e/ou restaurados. Entretanto, no dimensionamento de um pavimento por um método mecanístico devem ser considerados parâmetros de entrada que representem e/ou que estejam relacionados à rigidez dos materiais constituintes da estrutura do pavimento, à influência do meio ambiente, e ao efeito do tráfego ao longo de sua vida de projeto (vida útil). Associado a estes, como objetivo fim, devem ser inseridos diferentes modelos de desempenho de pavimentos de caráter funcional e estrutural.

A AASHTO (2008) em seu Manual de Prática - Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, traz na sua última edição um procedimento que vem sendo estudado há mais de dez (10) anos para ser utilizado no projeto de dimensionamento de novos pavimentos rígidos e flexíveis, contemplando ao mesmo tempo os projetos de restauração para estes pavimentos e que corrobora com o que foi descrito no parágrafo anterior.

Dessa forma, o estudo das propriedades supracitadas dos materiais que constituem as camadas do pavimento e, em especial, das misturas asfálticas, é indispensável para que o

revestimento de pavimentos flexíveis tenha uma serventia adequada ao longo da sua vida de serviço. Neste contexto, os ensaios com aplicação de cargas repetidas e estáticas, bem como a forma de compactação dos concretos asfálticos, os quais procuram simular as condições reais de condicionamento, de tensão e de deformação sob ação do tráfego, constituem ferramentas apropriadas para o conhecimento adequado dos *Módulos de Resiliência* (M_R), *Creep Compliance* (D_T), entre outros parâmetros que têm relação direta com a eficácia estrutural do revestimento (Figura 2.1).

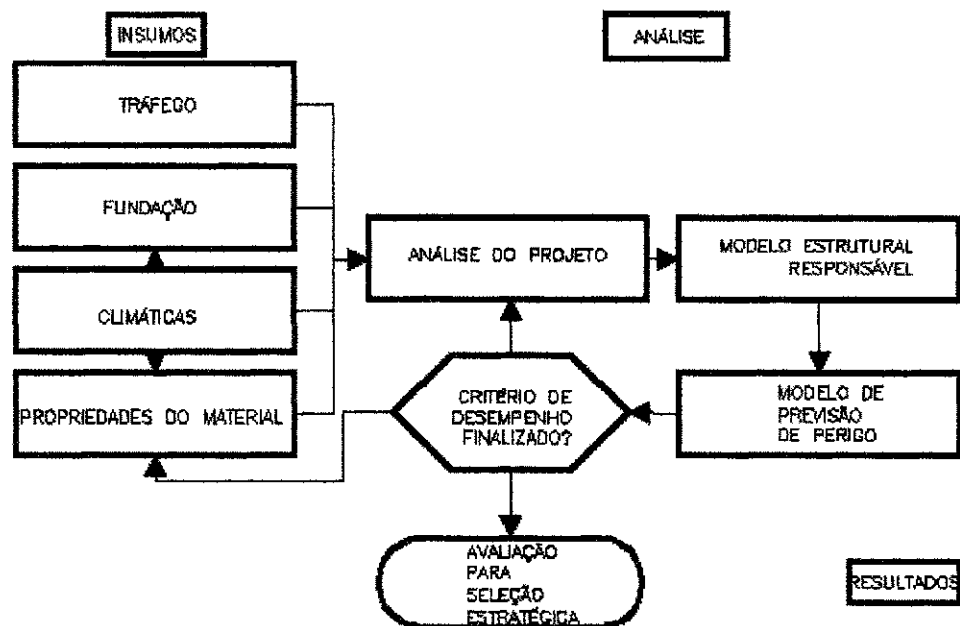


Figura 2.1 – Estrutura de entrada de dados do Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide da AASHTO (2008).

2.2 Agregados

Woods (1960) define agregado como sendo uma mistura de pedregulho, areia, pedra britada, escória ou outros materiais minerais usada em combinação com um ligante para formar um concreto, uma argamassa etc. O termo agregado é definido como material sem forma ou volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassas e de concreto (ABNT NBR 9935/2005).

Para conhecer o desempenho potencial dos agregados, é importante considerar como evoluíram durante sua formação. Antes de serem utilizados em um revestimento asfáltico, é importante lembrar que eles já existem há milhões de anos (tempo geológico). Uma vez associados com ligantes asfálticos, como parte de uma estrutura de pavimento, seu desempenho deve ser considerado em termos de tempo em engenharia, que em obras de pavimentação é medido em anos ou décadas (BERNUCCI, 2007).

O nível de desempenho mecânico em serviço de um determinado agregado depende também das propriedades geológicas. São importantes, portanto, informações sobre o tipo de rocha, sua composição mineralógica, sua composição química, sua granulação, seu grau de alteração, sua tendência à degradação, abrasão ou fratura sob sollicitação e o potencial de adesão ao ligante asfáltico em sua superfície.

A variedade de agregados passíveis de utilização em revestimentos asfálticos é muito grande. Contudo, cada utilização em particular requer agregados com características específicas e isso inviabiliza muitas fontes potenciais. Os agregados utilizados em pavimentação podem ser classificados em três grandes grupos, segundo sua natureza, tamanho e distribuição dos tamanhos das partículas.

A curva que representa a distribuição dos tamanhos das partículas (curva granulométrica) dos agregados representa uma importante análise nas graduações dos materiais a serem utilizados na composição das misturas asfálticas. O agregado de graduação densa ou bem-graduado é aquele que apresenta distribuição granulométrica contínua, próxima à de densidade máxima. O agregado de graduação aberta é aquele que apresenta distribuição granulométrica descontínua. O agregado de graduação uniforme é aquele que apresenta a maioria de suas partículas com tamanhos em uma faixa bastante estreita. A curva granulométrica é bastante íngreme.

O agregado com graduação descontínua é aquele que apresenta pequena porcentagem de agregados com tamanhos intermediários, formando um patamar na curva granulométrica correspondente às frações intermediárias. São agregados que devem ser adequadamente trabalhados quando em misturas asfálticas, pois são muito sensíveis à segregação.

Os limites das faixas granulométricas para misturas asfálticas utilizadas para construção de aeródromos são estabelecidos por órgãos nacionais e internacionais a partir do diâmetro máximo do agregado. Os limites das faixas estabelecidos pela INFRAERO e pela FAA (Federal Aviation Administration) estão inseridos na Tabela 2.1 e na Tabela 2.2, respectivamente.

Tabela 2.1 - Faixas granulométricas para revestimento asfáltico [INFRAERO]

PENEIRAS		PORCENTAGEM EM MASSA PASSANTE				
mm	nº	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4	Faixa 5
38,1	1 1/2	100	-	-	-	-
25,4	1	79 - 89	100	-	-	-
19,1	3/4	0	80 - 98	100	-	-
12,7	1/2	61 - 84	68 - 93	80 - 98	100	-
9,5	3/8	-	-	-	79 - 96	100
4,8	nº 4	42 - 66	45 - 75	55 - 80	59 - 85	75 - 95
2	nº 10	31 - 55	32 - 62	40 - 65	43 - 70	56 - 84
0,42	nº 40	16 - 34	16 - 37	22 - 40	23 - 42	26 - 50
0,18	nº 80	10 - 22	10 - 24	10 - 26	13 - 26	14 - 32
0,074	nº 200	3 - 7	3 - 8	3 - 8	4 - 8	5 - 11

Tabela 2.2 - Faixas granulométricas para revestimento asfáltico [FAA].

PENEIRAS		PORCENTAGEM EM MASSA PASSANTE			
mm	nº	1 - 1/2"	1" Máx.	3/4" Máx.	1/2" Máx.
37,5	1 1/2	100	-	-	-
24	1	86 - 98	100	-	-
19,1	3/4	68 - 93	76 - 98	100	-
12,5	1/2	57 - 81	66 - 86	79 - 99	100
9,5	3/8	49 - 69	57 - 77	68 - 88	79 - 99
4,75	nº 4	34 - 54	40 - 60	48 - 68	58 - 78
2,36	nº 8	22 - 42	26 - 46	33 - 53	39 - 59
1,18	nº 16	13 - 33	17 - 37	20 - 40	26 - 46
0,6	nº 30	8 - 24	11 - 27	14 - 30	19 - 35
0,3	nº 50	6 - 18	7 - 19	10 - 21	12 - 24
0,15	nº 100	4 - 12	6 - 16	6 - 16	7 - 17
0,075	nº 200	3 - 6	3 - 6	3 - 6	3 - 6
% de Ligante		4,5 - 7	4,5 - 7	5,0 - 7,5	5,5 - 8,0

2.3 Cimento asfáltico de petróleo – CAP

O cimento asfáltico de petróleo (CAP) corresponde a um dos principais materiais empregados para fins de pavimentação. Seu uso deve apresentar características adequadas de resistência, de compatibilidade, de estabilidade e de trabalhabilidade durante as etapas de armazenamento e aplicação com viabilidade econômica.

O Instituto do Asfáltico (1989) define o cimento asfáltico de petróleo como um material que quando em temperatura ambiente se caracteriza como sendo escuro, pegajoso, semi-sólido e com viscosidade variável conforme a temperatura. Segundo DNIT (1995), o cimento asfáltico de petróleo é o material obtido especialmente para apresentar as qualidades e consistências adequadas para o uso direto em obras de pavimentação.

O CAP é obtido pelo processo de destilação de Petróleo, viscoso, semi-sólido ou sólido, à temperatura ambiente apresenta comportamento termoplástico, torna-se líquido se aquecido e retorna ao estado original após resfriamento, tem propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, possui características de flexibilidade, durabilidade e alta resistência à ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis.

2.3.1 Composição Química do CAP

Os petróleos ou óleos crus diferem em suas propriedades físicas e químicas, variando de líquidos negros viscosos até líquidos castanhos bastante fluidos, com composição química predominantemente parafínica, naftênica ou aromática. Existem perto de 1.500 tipos de petróleo explorados no mundo, porém somente uma pequena porção deles é considerada apropriada para produzir asfalto (SHELL, 2003). Como os óleos crus têm composições distintas dependendo de sua origem, os asfaltos resultantes de cada tipo também terão composições químicas distintas.

Os CAPs são constituídos de 90 a 95% de hidrocarbonetos e de 5 a 10% de heteroátomos (oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais – vanádio, níquel, ferro, magnésio e cálcio) unidos por ligações covalentes. Os cimentos asfálticos de petróleos brasileiros têm baixo teor de enxofre e de metais, e alto teor de nitrogênio, enquanto os procedentes de petróleos árabes e venezuelanos têm alto teor de enxofre (LEITE, 1999).

A composição química é bastante complexa, apresentando influência no desempenho físico e mecânico das misturas asfálticas, mas sua maior influência está presente nos processos de incorporação de agentes modificadores, tais como os polímeros.

Quimicamente o asfalto é definido como um sistema coloidal constituído por micelas de asfaltenos dispersadas em um meio intermicelar oleoso, formado pela mistura de óleos aromáticos e saturados, chamados maltenos. DNIT (1998). Os métodos de separação do asfalto em frações têm um ponto comum que é a separação da parte sólida do asfalto (os asfaltenos) pela adição de um

solvente que dissolva os maltenos e não dissolva os asfaltenos. Utiliza-se de uma propriedade fundamental dos sistemas coloidais, que é a destruição de sua estabilidade pela eliminação da camada de proteção das micelas, que faz com que elas se associem e precipitem pela ação da gravidade. É importante relatar que as proporções de asfaltenos e maltenos nos CAPs variam de acordo com sua exposição ao oxigênio, temperaturas ambientes e ao contato com óleos, graxas e combustíveis (BALBO, 2007).

A química do asfalto do petróleo é estudada em níveis molecular e intermoleculares, os quais apresentam uma relativa complexidade. Em geral, as propriedades mecânicas do asfalto, em termos de reologia, estão relacionadas com a estruturação intermolecular entre os componentes polares. Estas interações podem surgir a partir do envolvimento de qualquer uma dos seus diferentes constituintes químicos. Portanto, existem diferenças significativas entre asfaltos, e esta, por sua vez, é função do tipo de petróleo usado para produzi-los.

O desenvolvimento de novas especificações para descrever e alcançar um comportamento reológico consistente, e, portanto, um desempenho mecânico da mistura asfáltica satisfatório, é prioritário para os usuários quando se considera a valoração econômica. A relação de custo-benefício aliado ao fornecimento (de petróleo) implica em uma grande variedade de materiais e há pouca chance de limitar as diferentes fontes de suprimento. Em outras palavras, a seleção de um conjunto limitado de óleos brutos para a produção de asfaltos é inviável técnica e economicamente. Por conseguinte, é óbvio que a obtenção de um desempenho consistente de uma mistura asfáltica exige uma modificação da estrutura dos materiais que são produzidos atualmente.

Portanto, importância de estudos sobre a composição química de cimentos asfálticos está diretamente relacionada ao desenvolvimento da compreensão de quais de suas características são essenciais para a produção de misturas asfálticas com as propriedades de estado, físicas e mecânicas mais adequadas à pavimentação levando-se em consideração o custo de produção. Com isso, estas informações podem ser usadas para a seleção e/ou modificações de CAPs que atendam as exigências crescentes do desempenho mecânico sob ação do tráfego e meio ambiente.

2.4 Dosagens de misturas asfálticas

Conforme o Manual de Asfalto (1989) o Concreto Asfáltico (CA) é um tipo de mistura asfáltica deve satisfazer aos requisitos relacionados à densidade aparente e a homogeneidade, que por sua vez, são inerentes às propriedades físicas e mecânicas dos materiais e da composição encontrada.

Para que a mistura asfáltica esteja inserida nas especificações normatizadas com o objetivo de prevenir desagregação prematura da mistura por carência de CAP e/ou superfícies escorregadias e deformáveis, a aplicação de revestimentos asfálticos deve ser precedida por ensaios que permitam a obtenção do teor ideal (ou quantidade) de asfalto a ser utilizado.

Alguns fatores influenciam, de forma significativa, no procedimento de dosagem de misturas asfálticas, entre eles estão a temperatura e viscosidade do CAP, a quantidade em que o asfalto é usado e a forma e energia de compactação. Nos aeroportos assim como em rodovias os revestimentos dos pavimentos assumem uma papel fundamental no que se refere a segurança e conforto ao rolamento, o revestimento nos aeroportos buscam proporcionar os maiores índices de aderência possíveis em situações de pista seca ou molhada.

Segundo as especificações adotadas pela aeronáutica, as misturas asfálticas projetadas para aeródromos têm que atender os critérios dosagem apresentados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Especificação da aeronáutica para misturas asfálticas de aeródromos
[(Norma NSMA 85-2)].

CARACTERÍSTICAS	CAMADA SUPERFICIAL			BINDER		
	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO A	TIPO B	TIPO C
ESTABILIDADE MÍNIMA (Newton)	8000	4450	2225	8000	4450	2225
FLUÊNCIA MÁXIMA (mm)	10-14	10-18	10-18	10-14	10-18	10-18
VAZIOS DA MISTURA (Vv%)	3-5	3-5	4-6	5-7	5-7	4-6
RELAÇÃO BETUME VAZIOS	70-80	75-82	65-75	50-70	65-72	65-75
MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA (Golpes em cada face)	75	75	50	75	75	50

Uma grande variabilidade de agregados é utilizada na produção de concreto asfáltico para pavimentação. Os principais mecanismos de deterioração apresentados pelos pavimentos flexíveis são inerentes a sua compatibilidade de deformações entre as camadas de sua estrutura e as fissuras por fadiga do revestimento. Estudos relacionados à dosagem das misturas asfálticas estabelecem um aumento da rigidez do revestimento asfáltico para impedir o acúmulo de deformação permanente em detrimento do aumento da vida de fadiga. A alternativa do problema depende da utilização de materiais capazes de suportar as tensões impostas pelo tráfego sob diferentes tipos de carregamento com uma compatibilidade de deformações da estrutura do pavimento composta de diferentes materiais.

O aumento da deformação permanente nesses pavimentos deve-se, entre outros fatores, ao

aumento do volume de tráfego e da evolução tecnológica da modalidade rodoviária, que não foram computados aos métodos de dimensionamento atuais, o que possibilita que caminhões trafeguem com maiores cargas por eixo e, principalmente, com pressões de enchimento dos pneus muito acima dos 550 kPa (75 psi), valor de referência do AASHO Road Test.

Com o objetivo de obter a qualidade e propriedades adequadas para o projeto de engenharia de misturas asfálticas sugere-se escolher os materiais de forma proporcional, encontrando uma combinação e graduação de agregados econômica (dentro dos limites especificados) com um teor de asfalto correspondente, de forma que a mistura atenda as seguintes características:

- ✓ quantidade de asfalto suficiente para assegurar um pavimento com vida útil adequada;
- ✓ estabilidade mecânica que satisfaça a demanda do tráfego sem distorções ou deslocamentos plásticos acima dos limites projetados;
- ✓ vazios em quantidade suficiente na mistura compactada de modo a permitir a expansão térmica do asfalto e dos agregados com a variação da temperatura;
- ✓ trabalhabilidade da mistura que permita a aplicação adequada da mistura sem segregação dos componentes;
- ✓ Compatibilidade mecânica, em termos de deformações permanentes e reversíveis, entre as sucessivas camadas da estrutura do pavimento.

A insuficiência de CAP pode ocasionar a desagregação prematura da mistura e o seu excesso poderá acarretar em superfícies escorregadias e deformáveis. A fim de evitar proporções inadequadas de CAP na mistura, a aplicação de revestimentos asfálticos deve ser precedida por ensaios que permitam o controle na obtenção e execução do teor de CAP de projeto.

Segundo Bernucci (2007) a dosagem de uma mistura asfáltica tem consistido até hoje na escolha, com auxílio de procedimentos experimentais, de um teor dito "ótimo de ligante", a partir de uma faixa granulométrica predefinida. Este, por sua vez, tem uma definição complexa. Acredita-se que esse termo tenha sido escolhido por analogia ao teor ótimo de umidade de um solo, pelo qual para uma determinada energia de compactação, é função somente da massa específica. O teor ótimo de CAP varia conforme critério de avaliação nas misturas asfálticas.

Como forma de ressaltar sua definição convencional o teor ótimo de CAP encontrado no processo de dosagem é denominado como teor de projeto. No método de dosagem é determinado com o auxílio de compactação, para um tipo de mistura com uma granulometria de agregados pré-estabelecida, uma temperatura de mistura e de compactação as quais serão utilizadas durante a execução no processo construtivo da camada de revestimento.

Segundo Medeiros (2009) dosar uma mistura asfáltica significa estabelecer proporções de agregados e de "CAP ou ligante", que quando misturadas satisfaçam aos requisitos estabelecidos

pelas especificações. Assim como em rodovias, os pavimentos dos aeroportos podem ser projetados de acordo com dosagens que utilizam as mesmas metodologias das misturas rodoviárias, respeitando-se as especificidades relacionadas ao tráfego e conseqüentemente ao carregamento.

O método de Hubbard-Field foi o primeiro estudo de dosagem documentado para misturas asfálticas, inicialmente elaborado para dosagem de misturas de areia-asfalto, posteriormente sofreu alterações para aplicação em misturas com agregados graúdos. Entre os métodos criteriosos em que objetivam o estabelecimento de relações entre ensaios realizados em laboratório e os resultados obtidos no campo, encontramos o método Hveem, o método Marshall, o método Triaxial de Smith e o método SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement) resultado de um programa de estudos, conhecido como Strategic Highway Research Program (SHRP) desenvolvido durante os anos de 1987 a 1993.

A primeira versão do método de misturas betuminosas "Marshall" foi desenvolvida em 1939 por Bruce Marshall do Mississippi Highway Department (EUA). O desenvolvimento e a evolução do método Marshall foi baseada em duas variáveis, as quais foram consideradas mais significativas para o bom desempenho da mistura asfáltica, são elas: o teor de asfalto e a densidade da mistura. Segundo White (1985), em campo o desempenho da mistura estaria relacionado ao teor ótimo de cimento de asfalto e a densidade da mistura. Porém, em laboratório a característica mais importante a selecionar seria a forma de compactação que reproduzisse a densidade induzida pelo tráfego, e, a escolha adequada das propriedades a serem "mensuradas" para estimativa do teor de cimento de asfalto que viesse a produzir um desempenho satisfatório em campo.

No método SUPERPAVE foram apresentadas mudanças nos procedimentos de ensaios para avaliação das propriedades reológicas do CAP, das propriedades físicas e mecânicas dos agregados graúdos e miúdos, da execução de compactação por amassamento (SGC) e de ensaios para avaliar o comportamento mecânico de misturas asfálticas (módulo de resiliência, dano por umidade induzida, etc.).

Uma das propostas do procedimento de dosagem de misturas asfálticas desenvolvido no programa SHRP é que o CAP passe a ser avaliado em uma ampla faixa de temperaturas, que cubra todas as etapas do processo de mistura, espalhamento e compactação, bem como esteja associada às temperaturas do pavimento ao longo da vida útil do trecho onde o pavimento será construído.

2.4.1 Compactação de misturas asfálticas

A compactação das misturas asfálticas pela metodologia Marshall durante vários anos vem sendo utilizada no Brasil, apesar de sofrer algumas críticas e proposições de mudanças durante anos seguidos. Um dos principais focos de discussão é a forma "por impacto", que difere da forma realizada em campo.

Aldigueri et al., (2001) afirmam que a simples modificação de uma compactação por impacto manual, a mais comumente utilizada no Brasil, por uma automática pode apresentar variação de teor ótimo de ligante em 0,6%. Entre as principais críticas do método de compactação por impacto esta a pouca representatividade em relação ao campo, porém se adicionam também as variações obtidas na preparação dos corpos de provas (MOTTA, 1998).

A variação da energia de compactação influencia nos parâmetros mecânicos diretamente a ponto de gerar distorções de quatro pontos percentuais (4%) no valor do volume de vazios (ALBUQUERQUE et al., 2004). Um dos princípios fundamentais para a dosagem a partir de parâmetros volumétricos é a energia de compactação. A escolha deve se aproximar tanto quanto possível do volume de vazios obtidos em campo. A adaptação da compactação por amassamento para misturas asfálticas é sugerida em vários trabalhos com a utilização de 50 giros para equivalência de energia (CROSS, 1999; LEE et al., 2001).

Segundo Motta et al., (1996) os pesquisadores do programa SHRP (Strategic Highway Research Program) desejavam um dispositivo que compactasse a amostra de mistura asfáltica mais próxima da compactação em campo, de forma que as densidades finais fossem aquelas obtidas no pavimento sob condições reais de temperatura e carregamento. Para os autores a principal diferença entre procedimentos SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement) e Marshall está no processo de compactação dos corpos de prova e que influencia, de forma significativa, as propriedades volumétricas e mecânicas das misturas asfálticas compactadas, tornando-as menos susceptíveis ao desgaste e as patologias prematuras do revestimento Asfáltico.

Para Brian J. C. e Kera Vanderhorst (1998) o procedimento de dosagem SUPERPAVE, e que envolve a compactação de misturas, foi estabelecido para simular, de forma mais realística possível, as condições de densidades obtidas sob condições de carregamento e temperatura que ocorrem em campo.

2.4.2 Parâmetros volumétricos de uma mistura asfáltica

Os principais componentes das misturas asfálticas definem a partir das proporções relativas de suas propriedades o desempenho dos pavimentos (Figura 2.2). Os agregados que constituem a mistura asfáltica precisam apresentar intertravamentos pelo quais são obtidos através dos agregados angulares ou os de textura superficial rugosa. Os agregados arredondados ou de superfície lisas deverão ser evitados por possuírem a tendência de deslizar uns sobre os outros, resultando em misturas com menor estabilidade.

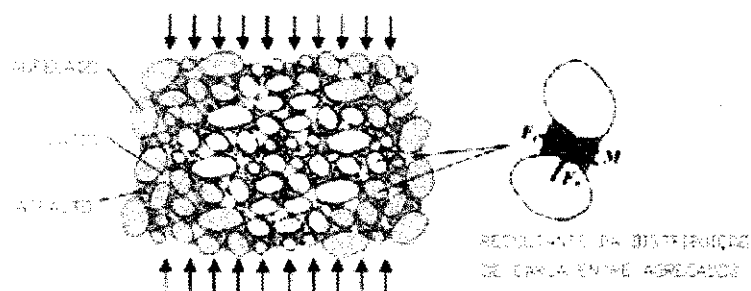


Figura 2.2 - Ilustração dos componentes das misturas asfálticas que definem suas proporções relativas.

O bom desempenho de um Concreto Asfáltico está relacionado, também, à resistência ao cisalhamento do agregado. Quando aplicada uma carga sobre uma massa de agregados, ela poderá começar a deslizar uma em relação à outra, o que resulta em uma deformação permanente da mistura.

Nos projetos de misturas, para que os parâmetros utilizados como critério de projeto sejam calculados adequadamente, devemos analisar a densidade do agregado e a absorção de asfalto que exercem grande efeito nos parâmetros volumétricos e influenciam a determinação do teor de asfalto efetivo da mistura.

Segundo Roberts et al., (1996) os procedimentos *Marshall* e *Hveem* predominaram entre os anos de 1940 a meados de 1990, observando que um determinado método de dosagem porém, não se aplica a todos os tipos de mistura. Segundo o Manual de Asfalto (1989), os procedimentos citados não se adequam, por exemplo, para misturas com diâmetro máximo do agregado maior que 25 mm.

A densidade máxima teórica (DMT) pode ser influenciada pelos diferentes procedimentos na sua determinação que podem levar a resultados distintos, acarretando em uma variação de teor de projeto de asfalto. As características volumétricas de uma mistura asfáltica são determinadas a partir da densidade aparente dos agregados, da densidade aparente do corpo de prova compactado e da densidade máxima teórica.

Dentre os parâmetros mais utilizados destacamos o volume de vazios (VV), a "densidade" máxima teórica da mistura (DMT) e a "densidade" aparente do corpo de prova compactado. A "densidade" máxima teórica da mistura (DMT) pode ser obtida em diferentes formas de cálculo, ou com resultados obtidos em laboratório. No Brasil, ela é calculada com auxílio de uma ponderação das "densidades" reais dos materiais constituintes da mistura.

A Densidade Máxima Teórica (DMT) das Misturas Asfálticas e a massa específica máxima medida (G_{mm}) são usadas no cálculo do percentual de vazios de misturas asfálticas compactadas, absorção de ligante pelos agregados, massa específica efetiva do agregado, teor de asfalto efetivo da mistura asfáltica e ainda para fornecer valores alvo para a compactação de misturas asfálticas com auxílio da compactação por amassamento (Giratória).

O valor da DMT é também utilizado na determinação da massa específica de misturas asfálticas já compactadas em campo. Enfatizada também no cálculo da absorção de ligante pelos agregados, da densidade efetiva do agregado, no cálculo do percentual de vazios de misturas asfálticas compactadas, do teor de asfalto efetivo da mistura asfáltica e para fornecer valores alvo para a compactação de misturas asfálticas através do compactador giratório (ASTM D 2041).

Segundo Roberts et al. (1996) muitos estados americanos especificam a massa específica de misturas asfálticas obtida em campo como um percentual da DMT para os diferentes percentuais de CAP. Juntamente com a espessura do pavimento, a DMT é necessária para a estimativa da massa específica da mistura, sem extração de corpos de prova, com o auxílio do método nuclear (SCHMITT et al., 1997).

Segundo Roberts et al. (1996), uma compreensão básica da relação massa-volume de misturas asfálticas compactadas é importante tanto do ponto de vista de um projeto de mistura quanto do ponto de vista da construção em campo. O projeto de mistura é um processo cujo propósito é determinar o volume de asfalto e agregado para compor uma mistura com as propriedades físicas e mecânicas adequadas a sua utilização.

2.4.3 Dosagem Marshall

O método de dosagem mais utilizado em nível mundial faz uso de compactação da mistura asfáltica por impacto (golpes), sendo denominado de Método Marshall, em referência ao engenheiro Bruce Marshall, que deu origem ao desenvolvimento desse procedimento na década de 1940. Utilizando o compactador Marshall os corpos de prova são submetidos à impacto, podendo ser manual ou automático.

Segundo Motta (2005) devido a grande variabilidade nos valores dos parâmetros volumétricos dos corpos de prova, para garantir maior uniformidade entre os resultados de dosagem Marshall, deve-se estipular o tempo de compactação quando da utilização de compactação manual, e utilizar, sempre que possível, a compactação automática para eliminar a possível interferência ocasionada pelo ritmo de compactação imposto pelo operador.

A variabilidade nos valores dos parâmetros físicos dos corpos de prova (massa específica, volume de vazios e relação betume vazios), inerente ao ensaio Marshall, é relativamente baixa nas misturas para concreto asfáltico. Por outro lado, as dispersões geralmente encontradas nos

parâmetros de resistência mecânica da mistura, avaliados através da estabilidade e da fluência Marshall são mais significativas.

O desempenho do método Marshall é influenciado pelos seguintes fatores:

- tempo de mistura dos diversos materiais envolvidos, insuficiente para obtenção de misturas realmente homogêneas;
- compactação ineficiente e em desigualdade de condições; e
- controle ineficiente de temperatura dos materiais envolvidos.

2.4.4 Dosagem Superpave

Segundo Roberts et al. (1996), o ideal ao compactar a mistura asfáltica em laboratório seria "simular", o mais próximo possível da realidade, as solicitações impostas por diferentes tipos de carregamentos nas etapas de construção e de vida útil do pavimento. O teor de cimento de asfalto na mistura seria estimado a partir de três variáveis: porcentagem de vazios, tráfego, e a vida útil da mistura. Com isso, os corpos de prova, obtidos em laboratório, representariam melhor as condições "in situ" possibilitando a análise do comportamento mecânico da mistura e a estimativa do teor ótimo de "asfalto" em laboratório, relacionado ao desempenho do pavimento em campo.

A partir de outubro de 1987 a março de 1993, nos Estados Unidos, foi desenvolvido o Programa SHRP (*Strategic Highway Research Program*) que teve como objetivo geral a elaboração de especificações e a concepção de novos equipamentos para ensaios em cimentos asfálticos e em misturas betuminosas a quente (HMA – Hot Mix Asphalt). Foi então desenvolvido, entre outros, o conjunto de normas e equipamentos denominados "SUPERPAVE" (*Superior Performing asphalt Pavements*).

O programa SRHP, atualmente bastante difundido nos Estados Unidos e no Canadá, constitui um dos avanços tecnológicos na área de projeto e de controle do desempenho de revestimentos constituídos de cimentos asfálticos, no qual estão relacionados os experimentos com os fundamentos racionais aplicados a situações inerentes de cada região desses países.

O estudo e o desenvolvimento a partir de técnicas e equipamentos do programa SRHP baseado no controle de qualidade e do desempenho dos cimentos asfálticos em misturas com agregados, utilizados na pavimentação de estradas de rodagens, é de importância consensual entre os que atuam na área, sejam executores ou estudiosos do assunto, corroborando assim, para produzir novos conhecimentos acerca de um mesmo objeto.

Um das metas principais do Programa SHRP, com respeito ao projeto de misturas asfálticas, foi desenvolver e/ou aprimorar um novo método de compactação em laboratório. Projetado para compactar amostras de "misturas asfálticas" (Hot Mix Asphalt- HMA), com uma densidade semelhante à obtida em campo sob tráfego, foi desenvolvido o Superpave Gyrotory Compactor

(SGC). Em princípio, considera-se que no processo de compactação, utilizado pelo SGC, ocorre uma redistribuição das partículas de agregados semelhante ao que ocorre em campo. O método preconiza para o revestimento em concreto de cimento de asfalto: resistência a deformação permanente, resistência a fadiga.

O SGC é um dispositivo mecânico onde os componentes principais que compõem seu sistema têm como base a estrutura de reação, base rotativa e motor, o medidor de altura e sistema de registro de dados e de carregamento, cabeça de carga, medidor de pressão e o molde e placa base (Figura 2.3).

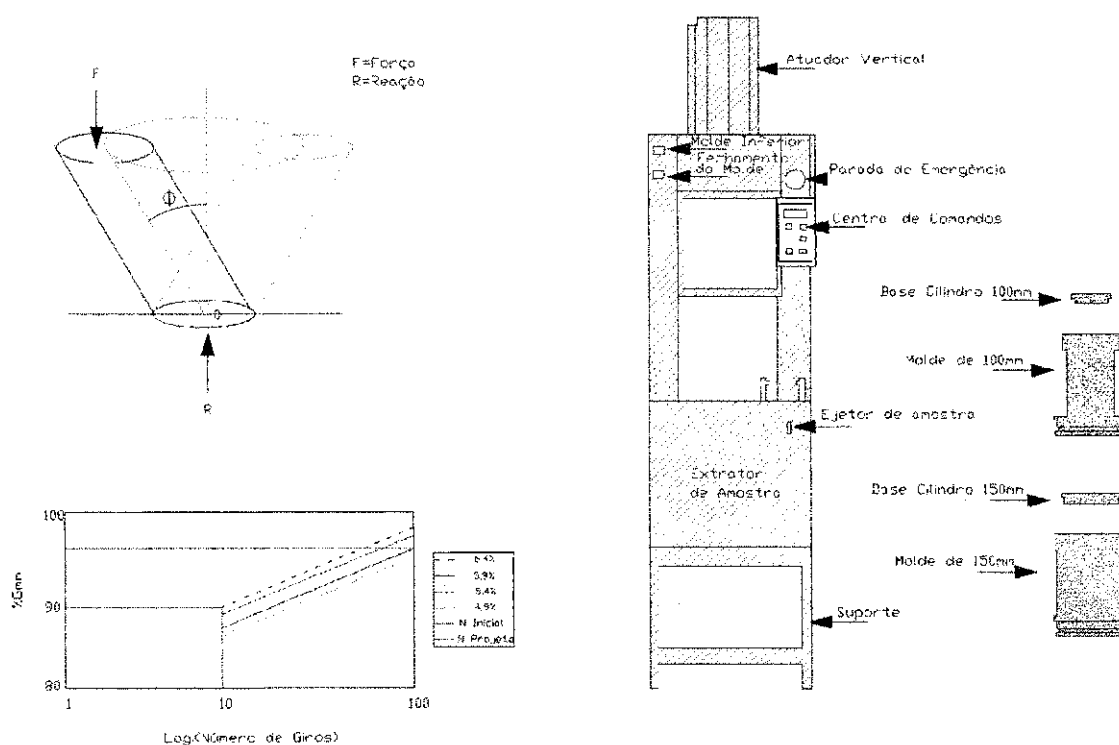


Figura 2.3 – Layout da forma de compactação e da estrutura do Compactador Giratório Superpave (CGS).

2.4.4.1 Seleção dos agregados

O procedimento de dosagem Superpave utiliza um conjunto de testes, especificações e seleção de agregados. Embora nenhum novo ensaio de agregados tenha sido desenvolvido, métodos atuais de seleção e especificação de agregados foram aperfeiçoados e incorporados ao método. Estes, por sua vez, incluem os conceitos de ponto de controle e zona de restrição. O consenso do

grupo de especialistas é que a forma e a angularidade dos agregados graúdo e miúdo, são críticas e devem ser avaliadas com o objetivo de verificar a adequação dos agregados quanto a sua influência no comportamento mecânico da mistura. A composição de agregados a ser utilizada deve está dentro dos pontos de controle, abaixo ou acima da zona de restrição e não coincidir com a curva de densidade máxima na "Curva de Fuller". (Figura 2.4).

Para especificar a granulometria, no procedimento Superpave são utilizados modificações com relação à abordagem tradicional. Uma importante característica desse gráfico é a curva de densidade máxima. Essa curva é composta por uma linha reta que parte da origem e vai até o ponto de agregado de tamanho máximo. O Superpave usa o conjunto de peneiras ASTM e segue as seguintes definições de tamanho de agregado:

- ✓ Tamanho Máximo: Um tamanho de peneira maior do que o tamanho nominal máximo.
- ✓ Tamanho nominal máximo: um tamanho de peneira maior do que a primeira peneira que retém mais que 10%.

A curva de densidade máxima representa a distribuição dos tamanhos de partículas onde os agregados se encaixam da forma mais compacta possível. Esta, por sua vez, deve ser evitada para que o espaço entre os agregados não se tome excessivamente pequeno e assim permitir a inserção de um filme resistente ao asfalto.

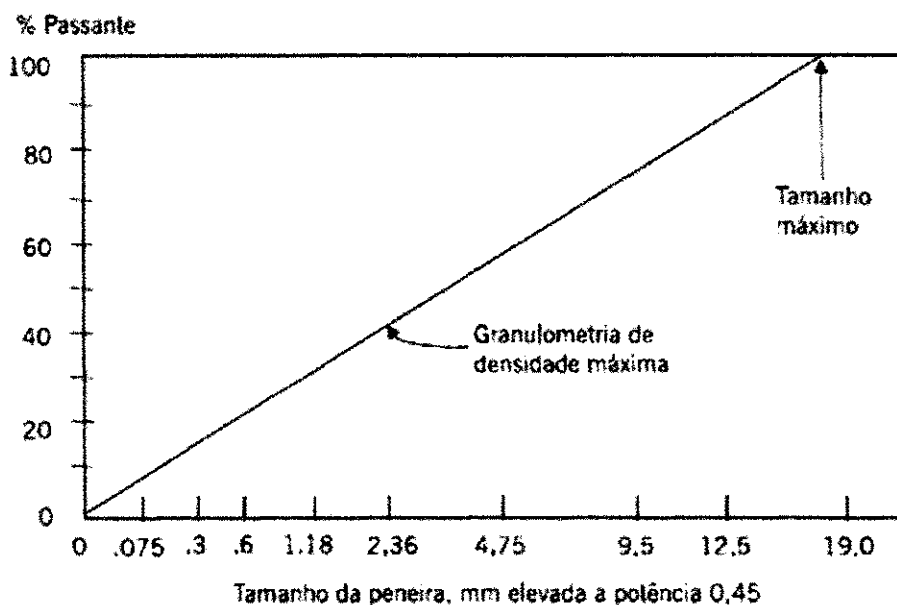


Figura 2.4 - Granulometria de densidade máxima.

Para especificação de granulometria de agregados foram adicionadas duas características extras ao gráfico de potência 0,45: pontos de controle e zona de restrição (Tabela 2.3 e Tabela 2.4). Os pontos de controle funcionam como pontos mestres onde a curva granulométrica deve passar. Eles estão no tamanho nominal máximo, um tamanho intermediário (2,36 mm) e um nos finos (0,075 mm).

Tabela 2.3 - Pontos de controle de acordo com o tamanho máximo do agregado (SUPERPAVE).

Abertura (mm)	Pontos de Controle									
	Porcentagem em massa passante									
	37,5 mm		25,0 mm		19,0 mm		12,5 mm		9,5 mm	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
50,0	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37,5	90	100	100	-	-	-	-	-	-	-
25,0	-	90	90	100	100	-	-	-	-	-
19,0	-	-	-	90	90	100	100	-	-	-
12,5	-	-	-	-	-	90	90	100	100	-
9,5	-	-	-	-	-	-	-	90	90	100
4,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90
2,36	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67
0,075	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10

Tabela 2.4 – Zona de restrição de acordo com o tamanho máximo do agregado (SUPERPAVE).

Abertura (mm)	Zona de Restrição SUPERPAVE									
	Porcentagem em massa passante									
	37,5 mm		25,0 mm		19,0 mm		12,5 mm		9,5 mm	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
4,75	34,70	34,70	39,50	39,50	-	-	-	-	-	-
2,36	23,30	27,30	26,80	30,80	34,60	34,60	39,10	39,10	47,20	47,20
1,18	15,50	21,50	18,10	24,10	22,30	28,30	25,60	31,60	31,60	37,60
0,60	11,70	15,70	13,60	17,60	16,70	20,70	19,10	23,10	23,50	37,50
0,08	10,00	10,00	11,40	13,70	13,70	13,70	15,50	15,50	18,70	18,70

A zona de restrição repousa sobre a faixa inferior da curva de densidade máxima formando uma região em que a distribuição dos tamanhos de agregados não devem tocar (Figura 2.5). As curvas que cruzam a zona de restrição são chamadas de "*granulometria corcunda*" devido à geometria característica na curva que indica a presença de excesso de areia fina. Esta, por sua vez, apresenta comportamento frágil dificultando a compactação da mistura e tornando-a susceptível de deformação permanente durante a vida útil. As curvas que tocam e/ou cortam a zona restrição possuem esqueleto pétreo frágil, que dependem muito da rigidez do "mastique" para possuírem uma resistência ao cisalhamento adequada.

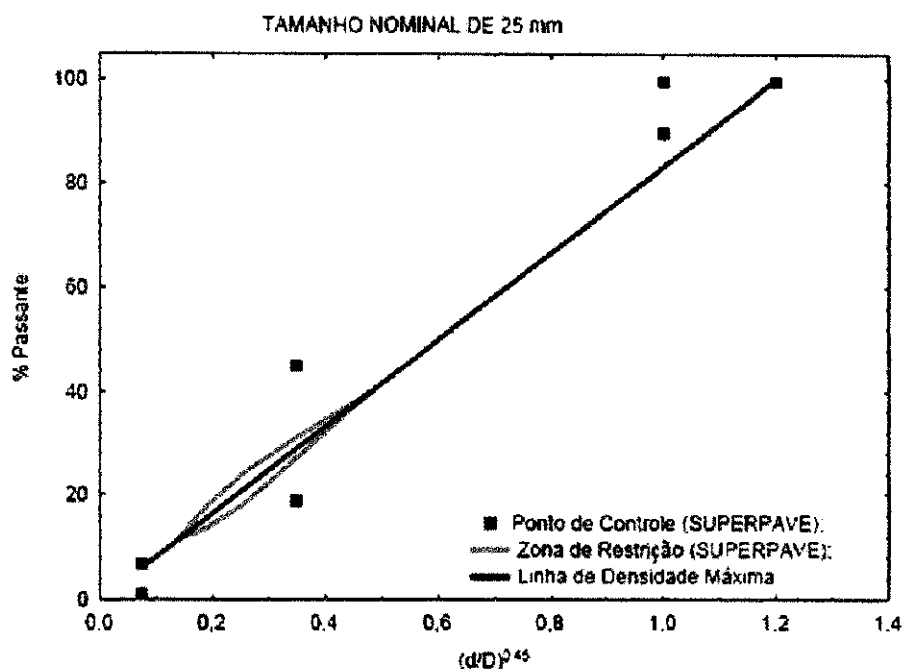


Figura 2.5 – Curva de Fuller e Thompson para representação da distribuição dos tamanhos das partículas de agregados para misturas asfálticas [Tamanho Nominal 25 mm].

2.4.4.2 Parâmetros volumétricos da misturas asfálticas

Os parâmetros volumétricos e as propriedades dos materiais constituintes da mistura asfálticas definem a estabilidade do revestimento asfáltico. O volume de vazios do agregado mineral (VAM) é a soma dos vazios preenchidos pelo ar e pelo ligante efetivo (não absorvido), na amostra compactada. Isso representa o espaço vazio entre as partículas de agregado, que é expresso em porcentagem do volume aparente da mistura compactada. O VAM é função da forma, da angularidade, da textura, da distribuição do tamanho das partículas, e do tipo e energia de compactação. A Tabela 2.5 apresenta os requisitos VAM preconizados pelo procedimento Superpave.

Tabela 2.5 – Recomendação SUPERPAVE para vazios de agregado mineral (SUPERPAVE).

Tamanho Nominal Máximo do Agregado	VAM mínimo (%)
9,5 mm	15,0
12,5 mm	14,0
19 mm	13,0
25 mm	12,0
37,5 mm	11,0

Outro importante requisito de mistura é o teor de filer. Este é calculado como a razão entre a porcentagem em peso do agregado mais fino do que a peneira de 0,075 mm pelo teor efetivo de

asfalto expresso como percentagem do peso total da mistura. O teor efetivo de asfalto é o ligante total menos o absorvido. O teor de filler é usado na fase de projeto de mistura como um critério de projeto.

2.5 Parâmetros de misturas asfálticas relevantes para a pavimentação

2.5.1 Módulo de Resiliência

O Módulo de resiliência (M_R) é um parâmetro relacionado às propriedades mecânicas inerentes ao comportamento "elástico", rigidez, dos materiais utilizados em camadas de pavimentos flexíveis. Seu cálculo é realizado a partir da relação entre as tensões e as deformações "reversíveis" obtidas em ensaios com aplicação de carregamentos repetidos sob condições de temperatura monitoradas.

Segundo Brito (2006) e Medina e Motta (2005), os estudos sobre a resiliência dos materiais usados em pavimentação foram iniciados na década de 1930 com *Francis Hveem*, que foi o primeiro a relacionar as deformações recuperáveis (resiliência) com as fissuras surgidas nos revestimentos asfálticos.

Segundo os autores, foi ele quem adotou o termo "resiliência", que é definido classicamente como "energia armazenada num corpo deformado elasticamente, a qual é devolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações". O nome Módulo de Resiliência (Resilient Modulus) foi criado para que não fosse confundido com o Módulo de Young, determinado estaticamente.

*Papazian*¹ em 1962 apud Clyne et al. (2003) foi um dos primeiros a realizar e descrever ensaios de desempenho viscoelásticos sobre misturas asfálticas. Segundo os autores em seus estudos foram aplicadas e mensuradas, sobre corpos de prova cilíndricos, as tensões e as deformações seguindo uma frequência senoidal. Estes, por sua vez, foram conduzidos em condições de temperatura e com variações de cargas de amplitudes controladas. Em seu trabalho *Papazian* concluiu que os conceitos de viscoelasticidade poderiam ser aplicados em projetos de dimensionamento e de avaliação do desempenho de pavimentos flexíveis.

Atualmente o Módulo de Resiliência de misturas asfálticas é usado com o auxílio da teoria de elasticidade como ferramenta de análise e de projeto de pavimentos flexíveis. Caso uma pequena

¹ PAPAZIAN, H.S., **The response of linear viscoelastic materials in the frequency domain with emphasis on asphaltic concrete.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE STRUCTURAL DESIGN OF ASPHALT PAVEMENTS, 1., 1962, Michigan, USA. Proceedings. p. 454-63.

carga, comparada a carga que leva a ruptura do material, for aplicada e após um relativo número de ciclos de carregamentos (100 a 200) a deformação for considerada quase ou completamente recuperável e proporcional ao valor da carga aplicada, o comportamento mecânico da mistura asfáltica, sob condições de temperatura controladas, pode ser admitido como sendo elástico.

Diferentes métodos de ensaios e equipamentos têm sido desenvolvidos e empregados para obtenção de diferentes módulos de misturas asfálticas. Podemos citar o ensaio triaxial (com aplicação de carregamento constante e cíclico), o ensaio de flexão cíclica, o ensaio de tração indireta, e o ensaio de *creep* com aplicação de carga repetida. *Baladi e Harichandran* sugerem que o Módulo de Resiliência de misturas asfálticas obtidos com o auxílio do ensaio com corpos de prova submetidos a tração indireta é mais promissor em termos de repetibilidade (BROWN et al., (1989)).

O ensaio empregado para determinação do M_R de misturas asfálticas aplicando-se os carregamentos repetidos (Ciclo e frequência pré-determinados) no plano diametral de um corpo-de-prova cilíndrico de dimensões padronizadas (Tração Indireta) é executado com a aplicação do carregamento de forma a gerar uma tensão de tração transversal ao plano de aplicação da carga, o que provoca o deslocamento diametral "recuperável" na direção horizontal, correspondente à tensão gerada, sob uma determinada temperatura (T) (Figura 2.6).

Estudos vêm indicando que existem diferenças significativas entre os valores mensurados dos Módulos Dinâmicos (Módulo de Resiliência na Compressão) sob diferentes tipos de carregamento (com confinamento e em confinamento). Estes, por sua vez, afetam especialmente o ângulo de fase e tendem a ser mais significativos sob altas temperaturas. *Witczak and Root* (1974) e *Khanal and Mamlouk* (1995) indicam que os ensaios em corpos de prova de prova cilíndricos por compressão podem ser mais representativos das condições em que as misturas asfálticas estão submetidas em campo (Figura 2.7).

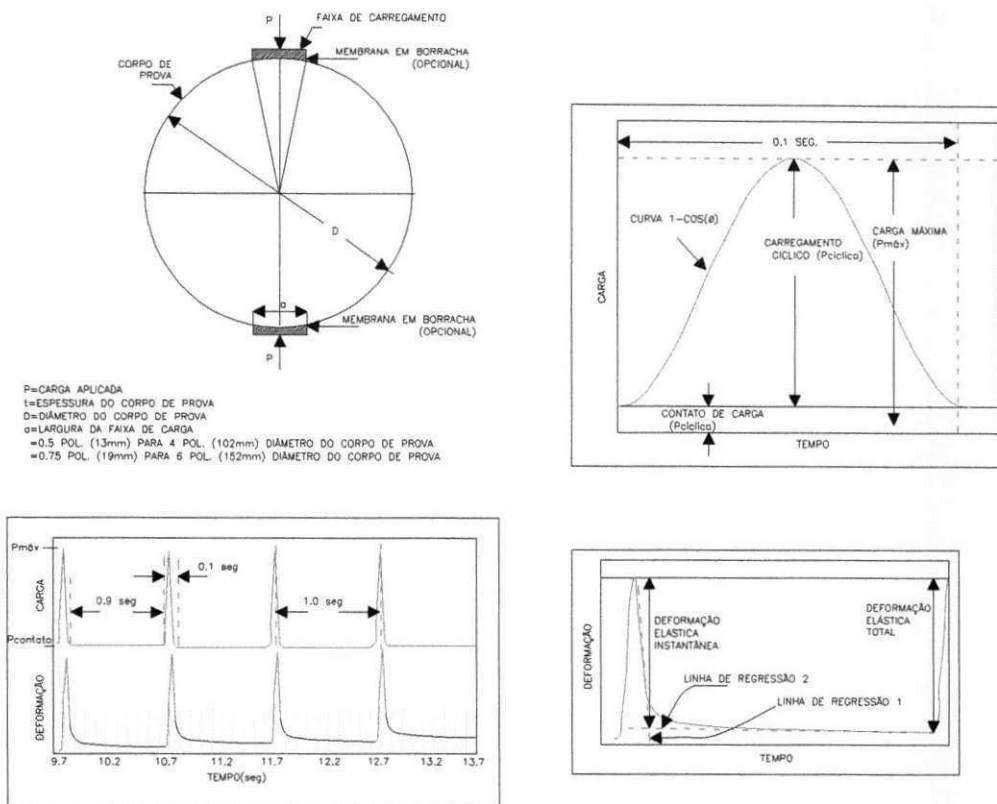


Figura 2.6 – “Layout” do procedimento para a realização do ensaio de módulo de resiliência em corpos de prova submetidos à tração indireta por compressão diametral.

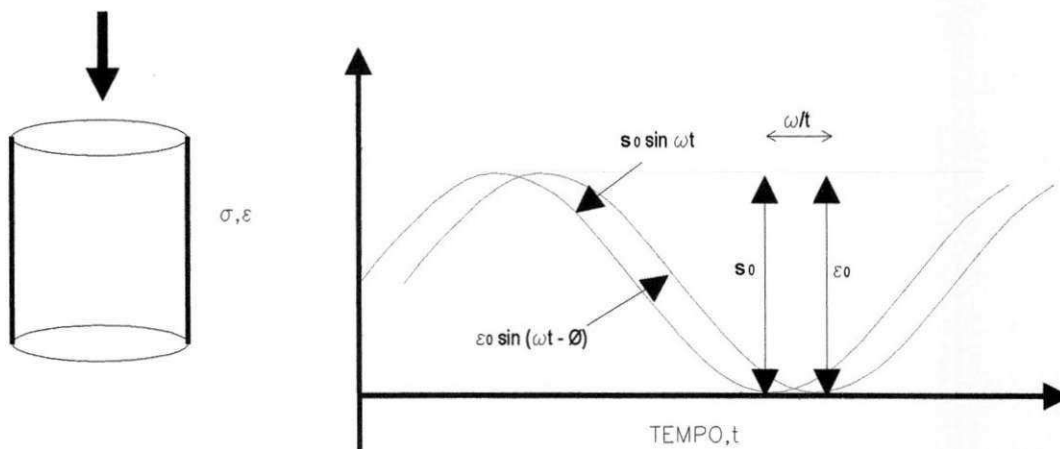


Figura 2.7 – Layout do procedimento para realização do ensaio de Módulo Dinâmico (E^*) sob carregamento de tensão na compressão.

As misturas asfálticas por herdarem a viscoelasticidade apresentada pelo CAP possuem níveis de deformações dependentes do tempo de ação de carga e da temperatura. Assim, quanto mais rápida a aplicação das cargas, menor a deformação medida e maior o Módulo de Resiliência mensurado. Este fenômeno pode ser observado a partir da análise do efeito do tipo carregamento ou velocidade do veículo, em função da tensão vertical equivalente versus profundidade da camada do pavimento (Figura 2.8).

Segundo Marques (2001), os módulos de resiliência de misturas asfálticas podem variar segundo:

- tipo de mistura asfáltica;
- tipo de asfalto;
- distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados da mistura;
- frequência do carregamento;
- energia e processo de compactação; e
- temperatura.

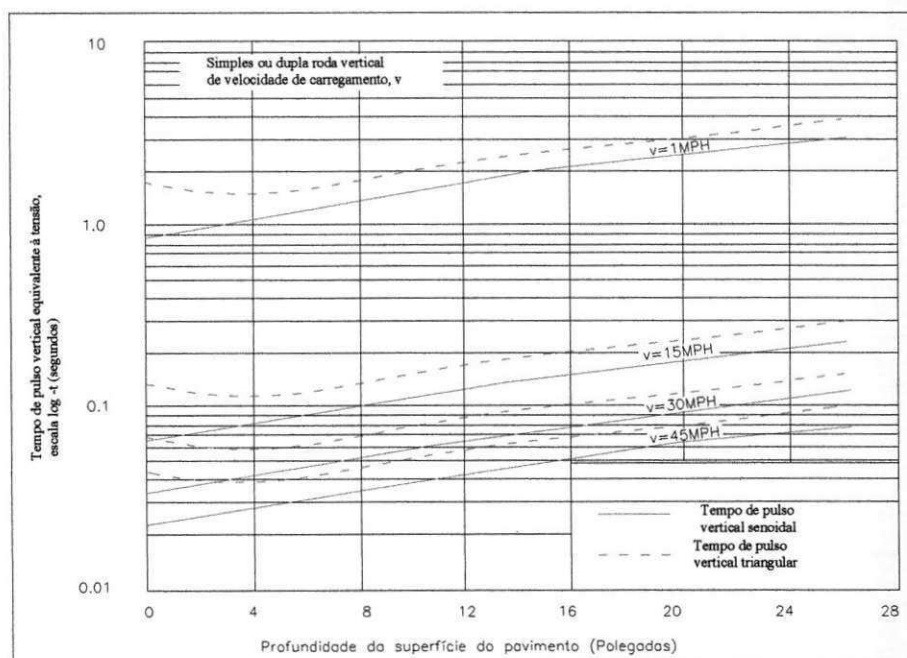


Figura 2.8 – Tensão equivalente vertical versus profundidade da camada
[Adaptado de MEPDG – AASHTO, (2008)].

O Modelo de Witczak constante abaixo constitui uma prova concreta dos principais atores que exercem influências preponderantes sobre o comportamento mecânico de misturas asfálticas mensurado pelo Módulo Dinâmico (E^*) (Equação1).

$$\log |E^*| = -0.261 + 0.008225 P_{200} - 0.00000101 (P_{200})^2 + 0.00196 P_4 - 0.03157 V_a - 0.415 \frac{V_{beff}}{(V_{beff} + V_a)} + \frac{[1.87 + 0.002808 P_4 + 0.00000404 P_{38} - 0.0001786 (P_{38})^2 + 0.0164 P_{34}]}{1 + e^{(-0.716 \log f - 0.7425 \log \eta)}}$$

Equação 1 – Modelo de previsão Witczak do Módulo Dinâmico para misturas Asfálticas
[Clyne et al., (2003)].

Onde:

$|E^*|$ = Módulo Complexo em 10^5 psi;

η = Viscosidade do asfalto em 10^6 poise;

f = Frequência de aplicação da carga em Hz;

V_v = percentual de vazios na mistura por volume;

V_{beff} = percentual efetivo de asfalto por volume;

P_{34} = percentual retida no diâmetro 3/4", por peso total de agregado acumulado;

P_{38} = percentual retida no diâmetro 3/8", por peso total de agregado acumulado;

P_4 = percentual retida na peneira de N° 4, por peso total de agregado acumulado; e

P_{200} = percentual que passa na peneira de N° 200, por peso total de agregado.

2.5.2 Ensaio de tração indireta por compressão diametral

O ensaio de tração indireta por compressão diametral, também conhecido como "ensaio brasileiro", foi desenvolvido por *Lobo Carneiro* em 1943, com a finalidade de determinar a Resistência à Tração de corpos de prova de concreto de cimento *Portland* por solicitações estáticas, tem sido usado no Brasil para o dimensionamento empírico de pavimentos.

No ensaio de resistência à tração por compressão diametral, o corpo-de-prova cilíndrico é posicionado diametralmente em relação à direção de compressão, resultando em uma tração, agindo perpendicularmente ao longo do plano diametral que promove a ruptura da amostra nesta direção. Pode ser realizado em uma prensa simples de CBR. Sendo o corpo-de-prova apoiado ao longo de

duas geratrizes por dois frisos de carga posicionados na parte superior e inferior do corpo-de-prova. Em misturas asfálticas, realiza-se o ensaio de acordo com a norma ME 138/94 do DNIT (Figura 2.9).

Falcão e Soares (2002)² apud Lima (2003) verificaram que para diferentes larguras de frisos a Resistência a Tração (RT) apresentou valores variados, e com auxílio de observações dos ensaios de RT e simulações numéricas, os autores inferiram possíveis influências das tensões de cisalhamento sobre o valor da força máxima aplicada pela prensa (P), gerando um incremento dos valores destas com a diminuição da largura dos frisos.

Bernucci et al. (2007) descrevem que com o envelhecimento das misturas asfálticas, o valor da resistência a tração aumenta, todavia, este fator pode vir a comprometer a flexibilidade do revestimento ocasionado pelo aumento do Módulo de Resiliência (M_R).

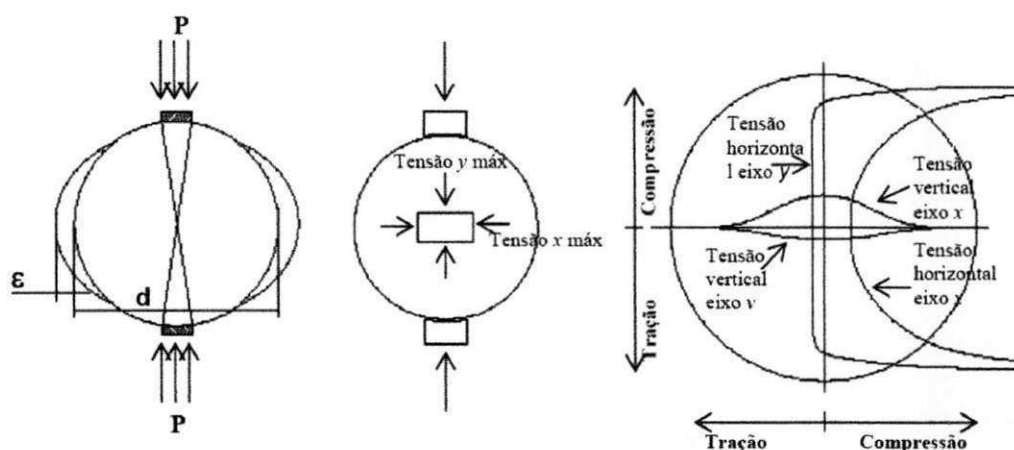


Figura 2.9 – Layout do estado de tensões gerado no ensaio de tração por compressão diametral [Fonte: Rohde (2007)].

2.5.3 Ensaio de Lottman

O ensaio de Lottman, também conhecido como ensaio de “dano por umidade induzida”, é utilizado para avaliar a capacidade mecânica da mistura asfáltica, em termos de resistência a tração (RT), sob a ação deletéria da água em ciclos de temperaturas intermediárias e baixas.

² FALCÃO, M.F.B. e SOARES, J.B., **Discussão Sobre os Modos de Ruptura Observados no Ensaio de Compressão Diametral**. In XVI Encontro de Asfalto do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás- IBP. Rio de Janeiro, 2002.

O ensaio de dano por umidade induzida, tem importância reconhecida nas especificações de alguns tipos especiais de misturas SMA (Stone Matrix Asphalt) e CPA (Camada Porosa de Atrito), para as quais o ensaio Lottman faz parte do projeto (AASHTO, (2001) e WATSON et al., (2002) apud MAGALHÃES, (2004)). O ensaio é utilizado por engenheiros e técnicos dos Departamentos de Transportes dos Estados Unidos (DOTs) e pelo meio acadêmico brasileiro.

De acordo com Furlan ET AL., (2004) o principal ensaio utilizado na avaliação dos danos por umidade das misturas asfálticas é o ensaio de Tração por Compressão Diametral. Ainda, segundo os autores, esta importância é justificável por ele refletir 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.

Para Hicks (1991)³ apud Coutinho (2004) o dano por umidade induzida nos pavimentos de concreto asfálticos pode estar associado a dois mecanismos comuns, adesão e/ou coesão. No mecanismo de adesão, geralmente, a água fica entre a película do cimento Asfáltico e o agregado, visto que a superfície do agregado tem maior afinidade pela água do que o asfalto. Desta forma, a água fica entre a película asfáltica e o agregado, rompendo o vínculo adesivo entre eles, deixando o agregado sem proteção. A perda de contato pode ser visualizada em termos de desligamento ou redução do ângulo de contato entre o asfalto e a superfície do agregado e esse mecanismo depende de fatores, como: temperatura, viscosidade e composição do asfalto, tipo de agregado e espessura da película asfáltica. No segundo mecanismo, a interação da água com o cimento Asfáltico, causa uma redução na coesão dentro deste (cimento Asfáltico), com uma séria diminuição na integridade e resistência da mistura. Ainda, segundo o autor Hicks (1991), enumera quatro fatores que influenciam o dano por umidade, a saber:

- ✓ as características do concreto Asfáltico, abrangendo o agregado (textura superficial, porosidade, composição mineralógica, composição química da superfície, umidade superficial e recobrimento), o cimento Asfáltico e o tipo de mistura;
- ✓ as condições climáticas (temperatura, vento, umidade), durante a construção;
- ✓ os efeitos ambientais (clima e carregamento do tráfego), após a construção;
- ✓ drenagem sub-superficial do pavimento.

Segundo o procedimento preconizado pela AASHTO T 283/99, o ensaio de susceptibilidade de misturas asfálticas à presença d'água ou dano por umidade induzida pode ser realizado para prever, por um período de quatro até doze anos, a susceptibilidade da mistura ao deslocamento da película asfáltica do agregado (stripping: perda de adesividade), considerando o efeito deletério da

³ HICKS, R. G., **Moisture damage in asphalt concret**. TRB – Transportation Research Board, 1991.

água, e avaliar a necessidade de usar um aditivo para melhoria da adesividade (dope). Os corpos de prova cilíndricos para esse ensaio podem ser preparados em laboratório ou serem extraídos da pista e devem ter diâmetro de 101,6 mm (4") e altura de 63,5 mm (2,5") ou 150 mm de diâmetro (6") e altura de 95 mm (3,75") com teor de vazios de $7\pm 1\%$ ou o teor esperado no campo.

De uma forma simplificada, no ensaio *Lottman*, os corpos de prova são divididos em dois grupos, onde um é rompido à tração (sem condicionamento) e o outro sofre a ruptura após ciclos de gelo e degelo (com condicionamento). A razão entre os grupos fornece a Relação da Resistência à Tração (RRT). A metodologia desenvolvida pelo projeto SUPERPAVE estabelece que este valor deve ficar acima de 80%, enquanto a ASSHTO MP 8-01 estabelece o limite mínimo para RRT de 70%. A Figura 2.10 apresenta o esquema simplificado do procedimento para realização do ensaio.

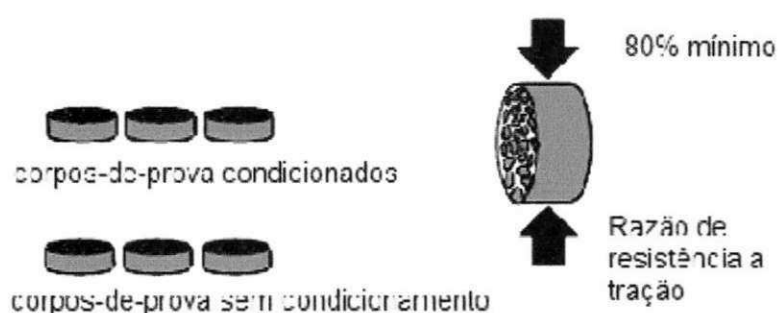


Figura 2.10 - Layout do procedimento para o ensaio de Lottman

[Fonte: TANDON et al., (2003)].

2.6 Relação M_R/RT

Existe uma relação proporcional entre os valores obtidos pelo ensaio de resistência à tração e os de Módulo de Resiliência. Altos valores da Resistência à Tração indicam a existência de elevado Módulo de Resiliência. De acordo com Morilha Jr. (2004) a relação M_R/RT indica a compatibilidade entre a rigidez e a resistência da mistura, pois misturas com Módulo de Resiliência alto, necessitam de altos valores de resistência à tração devido à concentração de esforços no interior da mistura.

Segundo Balbo (2007), esta relação tem sido empregada em projetos de dosagens de misturas asfálticas. Segundo Vasconcelos (2004), alguns pesquisadores acreditam que quanto menor esta relação maior será a vida de fadiga obtida pela mistura.

Os altos valores da relação M_R/RT podem ser aceitos desde que ocorra uma compatibilidade de deformações entre as camadas da estrutura do pavimento. É importante destacar, que o Módulo de Resiliência e a Resistência a Tração de misturas asfálticas são relevantes para o dimensionamento por procedimentos racionais, e que tem como base o efeito das tensões e das deformações "reversíveis" e os deslocamentos entre as camadas.

CAPÍTULO 3

3. MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS

Neste capítulo são descritos os procedimentos utilizados durante a fase experimental da pesquisa, relacionados aos aspectos inerentes pelos critérios adotados, materiais utilizados e as especificações utilizadas para 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 de Transportes (DNIT).

Os métodos não constantes nas normalizações são descritos em detalhes. O fluxograma 3.1 apresenta a seqüência de atividades e dos ensaios realizados. Os materiais utilizados nesta pesquisa foram disponibilizados em pedreiras locais às margens da BR 230.

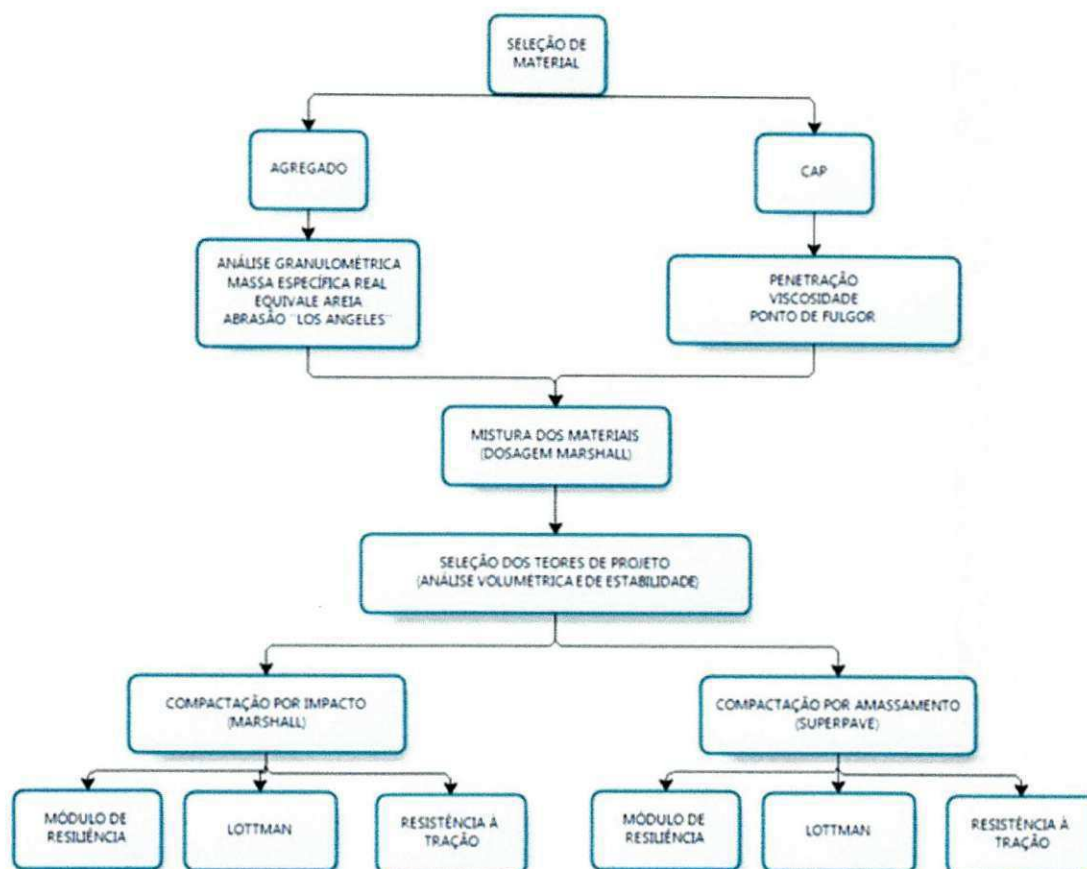
Este capítulo foi dividido basicamente em quatro etapas:

Primeira etapa – Seleção de Materiais: descrição dos materiais, critérios adotados para a escolha dos materiais e laboratórios utilizados;

Segunda etapa – Propriedades Físicas dos Materiais: realização dos ensaios para obtenção das propriedades físicas dos materiais constantes na composição das misturas asfálticas a serem estudadas;

Terceira etapa – Dosagem dos Materiais: escolha da composição granulométrica e determinação da volumetria para a obtenção do teor ótimo de projeto das misturas asfálticas inerentes as faixas de trabalho da INFRAERO;

Quarta Etapa – Propriedades Mecânicas das Misturas Asfálticas: realização dos ensaios de Resistência à Tração, Módulo de Resiliência e Lottman em corpos de prova compactados por impacto (Marshall) e por amassamento (SGC).



Fluxograma 3.1 – Seqüência de atividades e de ensaios realizados na fase experimental da pesquisa.

3.1 Primeira Etapa: Seleção dos Materiais

Neste subitem são enumerados os critérios e descritos os tipos de materiais utilizados neste trabalho. Os critérios para escolha dos materiais foram baseados nas especificações e normas do DNIT, da ABNT e da AASHTO.

3.1.1 Materiais Granulares

3.1.1.1 Agregados Graúdos

Os agregados graúdos utilizados na pesquisa (Figura 3.1) para a composição das misturas asfálticas foi o agregado britado, de origem granítica proveniente em pedra localizada próxima as margens da BR 230 apresentando diâmetro máximo de 25 mm, utilizado na região para revestimentos asfálticos.

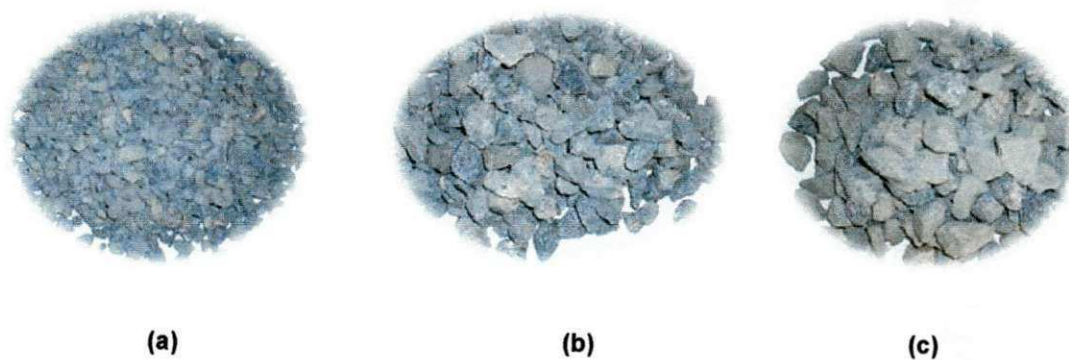


Figura 3.1 - Ilustração dos agregados graúdos (a) Brita 9,5 mm; (b) Brita 19,0 mm (c) Brita 25,0 mm.

3.1.1.2 Agregados Miúdos

Os agregados miúdos utilizados na pesquisa foram do tipo miúdo natural de origem em pedra localizada próxima as margens da BR conforme ilustrado na Figura 3.2.

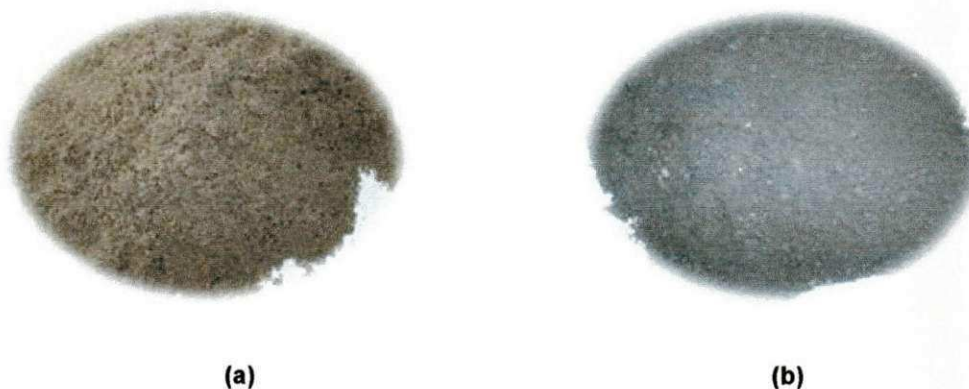


Figura 3.2 - Ilustração dos agregados miúdos (a) Areia de Campo; e (b) Pó-de-Pedra

3.1.2 Cimento Asfáltico de Petróleo

O CAP utilizado na pesquisa foi do tipo 50/70 cujas especificações estão de acordo com a Agência Nacional de Petróleo (ANP), a qual define os parâmetros de aceitação e classificação. Na Tabela 3.1 são apresentadas as informações sobre as propriedades físicas do CAP utilizado neste trabalho.

Tabela 3.1 – Propriedades físicas do CAP utilizado na Pesquisa.

Características	Valor
Penetração(100g, 5s a 25°C)	50 - 70
Ponto de fulgor(°C)	235 (mím)
Densidade (g/cm ³)	1,020
Viscosidade Saybolt Furol (135 °C/s)	320

A caracterização física do Cimento Asfáltico de Petróleo, CAP, foi obtida a partir de dados da Refinaria da Petrobrás (Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste - LUBNOR) e segundo normas que estão contidas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Normas utilizadas para a realização dos ensaios de caracterização do 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

3.1.3 Cal Hidratada (Filer)

Para proporcionar melhor desempenho as propriedades mecânicas das misturas asfálticas, de forma a obter um aumento da adesividade e uma menor susceptibilidade térmica e à presença de água foi utilizado como Filer a cal hidratada CH-I.

3.1.4 Laboratórios utilizados

Os ensaios utilizados que serão descritos a seguir em conjunto com as normas adotadas foram realizados nas dependências e com os equipamentos do Laboratório de Engenharia de Pavimentos LEP/DEC/UFCG (Figura 3.3).

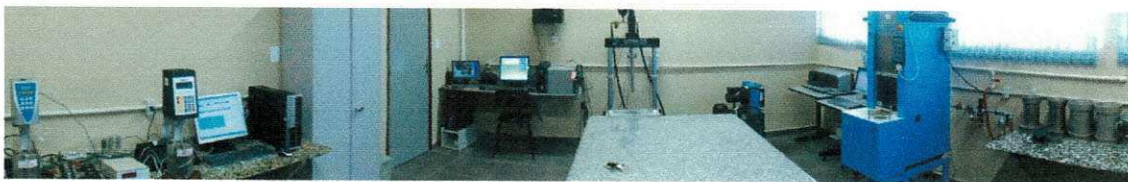


Figura 3.3 - Laboratório de Engenharia de Pavimentos LEP/DEC/UFCG.

3.2 Segunda Etapa: Propriedades Físicas dos Materiais

3.2.1 Agregados

Os ensaios para a obtenção da distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados graúdos e miúdos por peneiramento (Figura 3.5), bem como os ensaios de massa específica real, de equivalente areia e de Abrasão “Los Angeles”, foram realizados após prévio quarteamento do material (Figura 3.4). Na Tabela 3.3 estão inseridas as normas que foram adotadas para realização dos referidos ensaios.

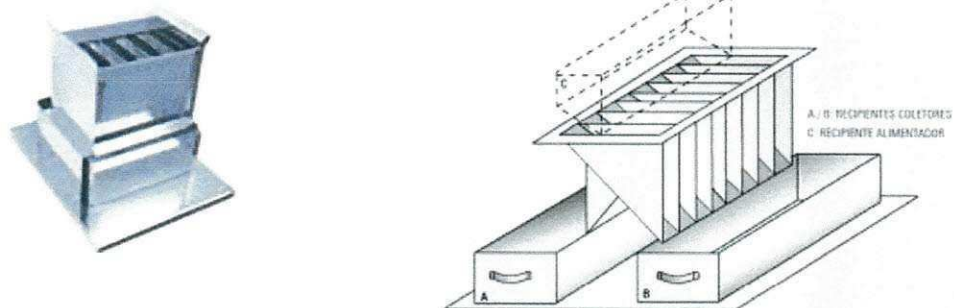


Figura 3.4 - Quarteamento das amostras dos agregados.



Figura 3.5 - Análise granulométrica: equipamentos provenientes LEP/DEC/UFCG.

Tabela 3.3- Normas utilizadas para caracterização dos agregados e filer.

ENSAIOS	METODOLOGIA
Análise granulométrica dos agregados por peneiramento	DNIT - ME 083/98
Massa específica real dos agregados Graúdos	DNIT - ME 081/98
Massa específica real dos agregados Miúdos	DNIT - ME 084/95
Massa específica real filer	DNIT - ME 093/94
Equivalente de areia	DNIT - ME 054/97
Abrasão Los Angeles	DNIT - ME 035/98

3.3 Terceira Etapa: Dosagem das Misturas Asfálticas

3.3.1 Misturas Asfálticas

Nesta pesquisa foram utilizadas seis (6) misturas asfálticas com composições granulométricas diferentes, tendo como referência a Faixa 2 e a Faixa 3 preconizadas pela INFRAERO e a Faixa 2 : P – 401 da Federal Administration Aviation (FAA). O critério adotado para escolha das faixas foi a frequência de utilização em aeroportos brasileiros. Para cada faixa da INFRAERO foram adotadas três misturas compreendendo curvas granulométricas próximas ao limite superior, inferior e intermediário. No Quadro 3.1 estão inseridas as denominações das Misturas Asfálticas utilizadas e sua inserção em cada faixa adotada.

A Faixa 2 : P – 401 da Federal Administration Aviation (FAA) foi utilizada como referência para verificação do enquadramento das Faixas da INFRAERO em relação aos limites pré-estabelecidos pelo procedimento de dosagem Superpave.

Como método de dosagem das Misturas Asfálticas foi utilizado o procedimento Marshall convencional, segundo a Norma do DNIT ME 43/95. Com o teor ótimo de CAP foram realizadas as compactações dos corpos de prova das misturas por impacto (Marshall Automática) e por amassamento (SGC, Figura 3.6).

O parâmetro de referência utilizado para a compactação por amassamento (SGC) foi estabelecido pela similitude das alturas dos corpos de prova obtidas a partir da compactação Marshall automática. Portanto, não foi utilizado o procedimento de *Dosagem Superpave*, e sim apenas o de compactação utilizado no referido Método. Este critério foi escolhido para a verificação e avaliação da influência do tipo de compactação sobre os parâmetros relacionados a susceptibilidade das misturas asfálticas à presença de água (Lottman) e a rigidez das misturas (Módulo de Resiliência).



Figura 3.6– Equipamento utilizado para a realização da compactação por amassamento (SGC).

Quadro 3.1 - Denominações de misturas asfálticas utilizadas na pesquisa.

Faixa 2	Faixa 3
Mistura 1 (F2M1)	Mistura 1 (F3M1)
Mistura 2 (F2M2)	Mistura 2 (F3M2)
Mistura 3 (F2M3)	Mistura 3 (F3M3)

As Misturas 1 contidas na Faixa 2 e na Faixa 3, respectivamente, onde foram utilizadas as proporções de agregados conforme o Quadro 3.2 e o Quadro 3.3, estão lançadas em gráfico em curva de Fuller constantes na Figura 3.7 e na Figura 3.8. Estas misturas apresentam-se intermediárias as faixas preconizadas pela INFRAERO apresentando as composições granulométricas com as quantidades de agregados graúdos entre 47% a 30% e para os agregados miúdos entre 53% a 70%, respectivamente.

Para a Mistura 1 contidas na Faixa 2, a curva de projeto encontra-se dentro das exigências preconizadas pelo procedimento Superpave de Composição Granulométrica, ou seja, dentro dos pontos de controles e fora (acima) da zona de restrição.

Quadro 3.2 – Distribuição Granulométrica da Mistura 1 - Faixa 2 (INFRAERO).

AJUSTAGEM DE GRANULOMETRIA FAIXA 2 - INFRAERO													
PENEIRAS	PORCENTAGEM PASSANDO - MISTURA 1												
	BRITA 25		BRITA 19.0		BRITA 9.5		PÓ DE PEDRA		FILLER		PROJETO	ESPECIFICAÇÃO	
	TOTAL	15%	TOTAL	17%	TOTAL	15%	TOTAL	48,0%	TOTAL	5%		PT. MED.	LIMITES
1 1/2"	100,00	15,00	100,00	17,00	100,00	15,00	100,00	48,00	100,00	5,00	100,00	-	-
1"	98,58	14,79	100,00	17,00	100,00	15,00	100,00	48,00	100,00	5,00	99,79	100	100
3/4"	43,53	6,53	83,27	14,16	100,00	15,00	100,00	48,00	100,00	5,00	88,69	89	80 - 98
1/2"	6,19	0,93	26,12	4,44	99,48	14,92	100,00	48,00	100,00	5,00	73,29	80,5	68 - 93
Nº 4	3,03	0,45	0,92	0,16	8,10	1,22	94,05	45,14	100,00	5,00	51,97	60	45 - 75
Nº 10	2,94	0,44	0,53	0,09	2,12	0,32	70,48	33,83	100,00	5,00	39,68	47	32 - 62
Nº 40	2,26	0,34	0,48	0,08	1,57	0,24	39,56	18,99	100,00	5,00	24,64	26,5	16 - 37
Nº 80	1,63	0,24	0,40	0,07	1,25	0,19	23,04	11,06	100,00	5,00	16,56	17	10 - 24
Nº 200	1,02	0,15	0,28	0,05	0,88	0,13	11,88	5,70	100,00	5,00	11,04	5,5	3 - 8

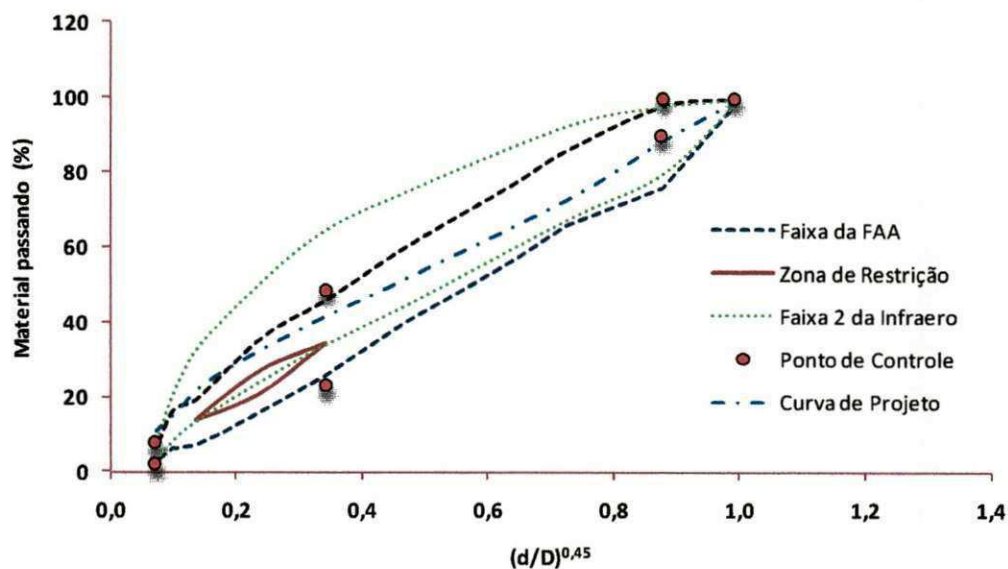


Figura 3.7 - Curva de Fuller para a Mistura 1 - Faixa 2 (INFRAERO).

Quadro 3.3 – Distribuição Granulométrica da Mistura 1 - Faixa 3 (INFRAERO).

AJUSTAGEM DE GRANULOMETRIA FAIXA 3 - INFRAERO											
PENEIRAS	PORCENTAGEM PASSANDO - MISTURA 1										
	BRITA 19.0		BRITA 9.5		PÓ DE PEDRA		FILLER		PROJETO	ESPECIFICAÇÃO	
	TOTAL	20%	TOTAL	10%	TOTAL	65,0%	TOTAL	5%		PT. MED.	LIMITES
1 1/2"	100,00	20,00	100,00	10,00	100,00	65,00	100,00	5,00	100,00	-	-
1"	100,00	20,00	100,00	10,00	100,00	65,00	100,00	5,00	100,00	-	-
3/4"	83,27	16,65	100,00	10,00	100,00	65,00	100,00	5,00	96,65	100	100
1/2"	26,12	5,22	99,48	9,95	100,00	65,00	100,00	5,00	85,17	89	80 - 98
Nº 4	0,92	0,18	8,10	0,81	94,05	61,13	100,00	5,00	67,13	67,5	55 - 80
Nº 10	0,53	0,11	2,12	0,21	70,48	45,81	100,00	5,00	51,13	53	40 - 66
Nº 40	0,48	0,10	1,57	0,16	39,56	25,71	100,00	5,00	30,97	31	22 - 40
Nº 80	0,40	0,08	1,25	0,13	23,04	14,98	100,00	5,00	20,18	19	12 - 26
Nº 200	0,28	0,06	0,88	0,09	11,88	7,72	100,00	5,00	12,87	5,5	3 - 8

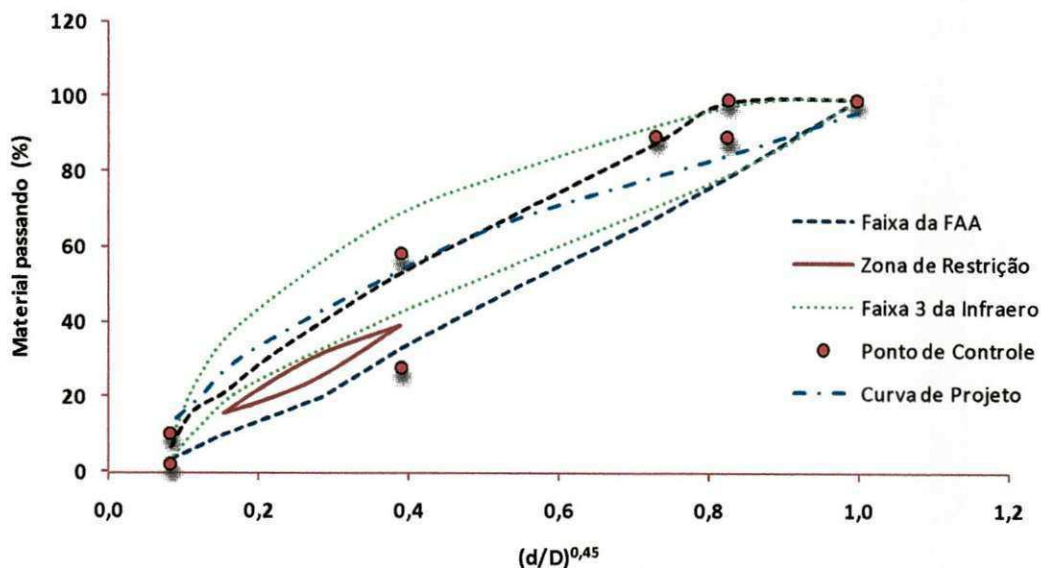


Figura 3.8 - Curva de Fuller para a Mistura 1 - Faixa 3 (INFRAERO).

As Misturas 2 contidas na Faixa 2 e na Faixa 3, respectivamente, onde foram utilizadas as proporções de agregados conforme o Quadro 3.4 e o Quadro 3.5, estão lançadas em gráfico em *curva de Fuller constantes* na Figura 3.9 e na Figura 3.10. Estas misturas apresentam-se próximo a faixa superior preconizadas pela INFRAERO.

Para a Mistura 2 contidas na Faixa 2, a curva de projeto encontra-se dentro das exigências preconizadas pelo procedimento Superpave de Composição Granulométrica, ou seja, dentro dos pontos de controles e fora (acima) da zona de restrição. Já a Mistura 2 contida na Faixa 3 não se enquadra no requisito pontos de controles relativa a proporção de finos.

Quadro 3.4– Distribuição Granulométrica da Mistura 2 da Faixa 2.

AJUSTAGEM DE GRANULOMETRIA FAIXA 2 - INFRAERO													
PENEIRAS	PORCENTAGEM PASSANDO - MISTURA 2												
	BRITA 19.0		BRITA 9.5		AREIA		PÓ DE PEDRA		FILLER		PROJETO	ESPECIFICAÇÃO	
	TOTAL	10%	TOTAL	18%	TOTAL	32%	TOTAL	35,0%	TOTAL	5%		PT. MED.	LIMITES
1 1/2"	100,00	10,00	100,00	18,00	100,00	32,00	100,00	35,00	100,00	5,00	100,00	-	-
1"	100,00	10,00	100,00	18,00	100,00	32,00	100,00	35,00	100,00	5,00	100,00	100	100
3/4"	83,27	8,33	100,00	18,00	100,00	32,00	100,00	35,00	100,00	5,00	98,33	89	80 - 98
1/2"	26,12	2,61	99,48	17,91	100,00	32,00	100,00	35,00	100,00	5,00	92,52	80,5	68 - 93
N ^o 4	0,92	0,09	8,10	1,46	99,41	31,81	94,05	32,92	100,00	5,00	71,28	60	45 - 75
N ^o 10	0,53	0,05	2,12	0,38	96,72	30,95	70,48	24,67	100,00	5,00	61,05	47	32 - 62
N ^o 40	0,48	0,05	1,57	0,28	58,83	18,83	39,56	13,85	100,00	5,00	38,00	26,5	16 - 37
N ^o 80	0,40	0,04	1,25	0,23	5,69	1,82	23,04	8,06	100,00	5,00	15,15	17	10 - 24
N ^o 200	0,28	0,03	0,88	0,16	0,37	0,12	11,88	4,16	100,00	5,00	9,46	5,5	3 - 8

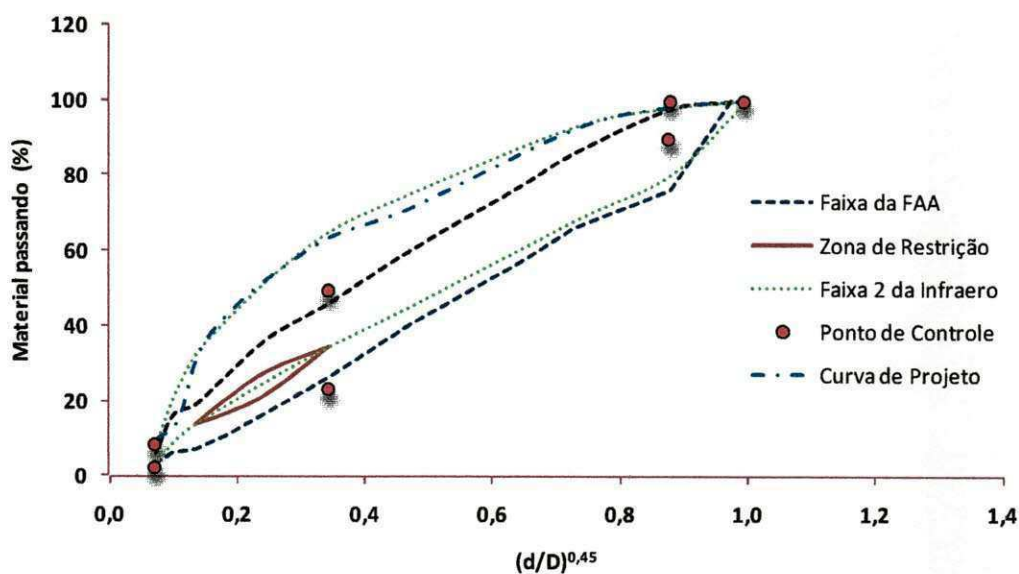


Figura 3.9 - Curva Fuller da Mistura 2 para a Faixa 2.

Quadro 3.5 – Distribuição Granulométrica da Mistura 2 para a Faixa 3.

AJUSTAGEM DE GRANULOMETRIA FAIXA 3 - INFRAERO													
PENEIRAS	PORCENTAGEM PASSANDO - MISTURA 2												
	BRITA 19		BRITA 9.5		AREIA		PÓ DE PEDRA		FILLER		PROJETO	ESPECIFICAÇÃO	
	TOTAL	11%	TOTAL	15%	TOTAL	25%	TOTAL	42,0%	TOTAL	7%		PT. MED.	LIMITES
1 1/2"	100,00	11,00	100,00	15,00	100,00	25,00	100,00	42,00	100,00	7,00	100,00	-	-
1"	100,00	11,00	100,00	15,00	100,00	25,00	100,00	42,00	100,00	7,00	100,00	-	-
3/4"	83,27	9,16	100,00	15,00	100,00	25,00	100,00	42,00	100,00	7,00	98,16	100	100
1/2"	26,12	2,87	99,48	14,92	100,00	25,00	100,00	42,00	100,00	7,00	91,80	89	80 - 98
Nº 4	0,92	0,10	8,10	1,22	99,41	24,85	94,05	39,50	100,00	7,00	72,67	67,5	55 - 80
Nº 10	0,53	0,06	2,12	0,32	96,72	24,18	70,48	29,60	100,00	7,00	61,16	53	40 - 66
Nº 40	0,48	0,05	1,57	0,24	58,83	14,71	39,56	16,62	100,00	7,00	38,61	31	22 - 40
Nº 80	0,40	0,04	1,25	0,19	5,69	1,42	23,04	9,68	100,00	7,00	18,33	19	12 - 26
Nº 200	0,28	0,03	0,88	0,13	0,37	0,09	11,88	4,99	100,00	7,00	12,24	5,5	3 - 8

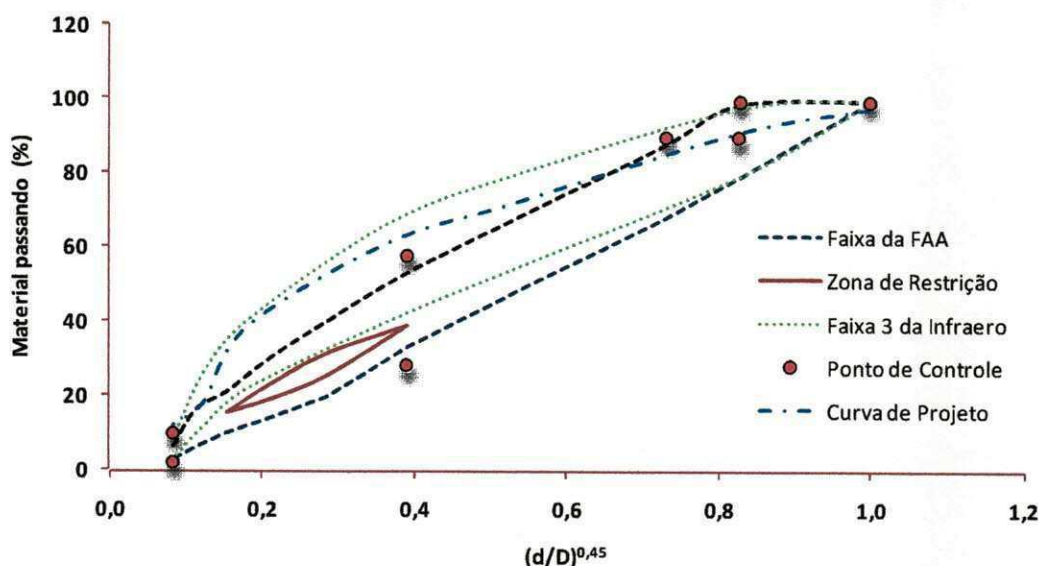


Figura 3.10 - Curva Fuller da Mistura 2 para a Faixa 3.

As Misturas 3 contidas na Faixa 2 e na Faixa 3, respectivamente, onde foram utilizadas as proporções de agregados contidas no Quadro 3.6 e no Quadro 3.7, estão lançadas em gráfico em *curva de Fuller constantes* na Figura 3.11 e na Figura 3.12. Estas misturas apresentam-se próximo a faixa inferior preconizadas pela INFRAERO.

Para a Mistura 3 contidas na Faixa 2, a curva de projeto encontra-se fora das exigências preconizadas pelo procedimento Superpave de Composição Granulométrica, ou seja, corta a zona de restrição e se estende fora os pontos de controles. Já a Mistura 3 contida na Faixa 3 não se enquadra no requisito pontos de controles relativa a proporção de agregados graúdos.

Quadro 3.6 – Distribuição Granulométrica da Mistura 3 para a Faixa 2.

AJUSTAGEM DE GRANULOMETRIA FAIXA 2 - INFRAERO											
PENEIRAS	PORCENTAGEM PASSANDO - MISTURA 3										
	BRITA 25		BRITA 9.5		PÓ DE PEDRA		FILLER		PROJETO	ESPECIFICAÇÃO	
	TOTAL	36%	TOTAL	25%	TOTAL	34,0%	TOTAL	5%		PT. MED.	LIMITES
1 1/2"	100,00	36,00	100,00	25,00	100,00	34,00	100,00	5,00	100,00	-	-
1"	98,58	35,49	100,00	25,00	100,00	34,00	100,00	5,00	99,49	100	100
3/4"	43,53	15,67	100,00	25,00	100,00	34,00	100,00	5,00	79,67	89	80 - 98
1/2"	6,19	2,23	99,48	24,87	100,00	34,00	100,00	5,00	66,10	80,5	68 - 93
Nº 4	3,03	1,09	8,10	2,03	94,05	31,98	100,00	5,00	40,09	60	45 - 75
Nº 10	2,94	1,06	2,12	0,53	70,48	23,96	100,00	5,00	30,55	47	32 - 62
Nº 40	2,26	0,81	1,57	0,39	39,56	13,45	100,00	5,00	19,66	26,5	16 - 37
Nº 80	1,63	0,59	1,25	0,31	23,04	7,83	100,00	5,00	13,73	17	10 - 24
Nº 200	1,02	0,37	0,88	0,22	11,88	4,04	100,00	5,00	9,63	5,5	3 - 8

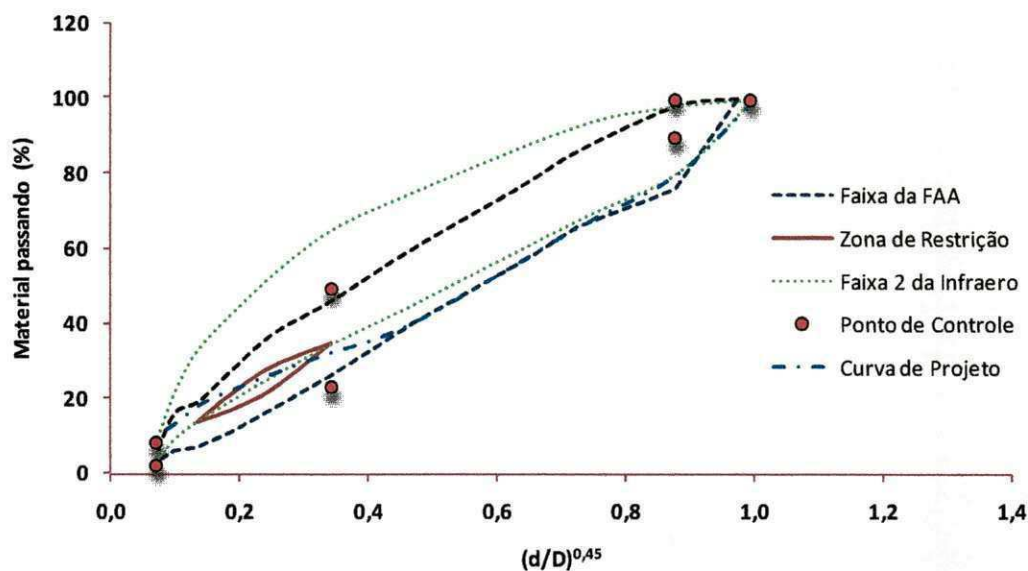


Figura 3.11 - Curva Fuller da Mistura 3 para a Faixa 2

Quadro 3.7 – Distribuição Granulométrica da Mistura 3 para a Faixa 3.

AJUSTAGEM DE GRANULOMETRIA FAIXA 3 - INFRAERO											
PENEIRAS	PORCENTAGEM PASSANDO - MISTURA 3										
	BRITA 19		BRITA 9.5		PÓ DE PEDRA		FILLER		PROJETO	ESPECIFICAÇÃO	
	TOTAL	35%	TOTAL	13%	TOTAL	49,0%	TOTAL	3%		PT. MED.	LIMITES
1 1/2"	100,00	35,00	100,00	13,00	100,00	49,00	100,00	3,00	100,00	-	-
1"	100,00	35,00	100,00	13,00	100,00	49,00	100,00	3,00	100,00	-	-
3/4"	83,27	29,14	100,00	13,00	100,00	49,00	100,00	3,00	94,14	100	100
1/2"	26,12	9,14	99,48	12,93	100,00	49,00	100,00	3,00	74,07	89	80 - 98
Nº 4	0,92	0,32	8,10	1,05	94,05	46,08	100,00	3,00	50,46	67,5	55 - 80
Nº 10	0,53	0,19	2,12	0,28	70,48	34,54	100,00	3,00	38,00	53	40 - 66
Nº 40	0,48	0,17	1,57	0,20	39,56	19,38	100,00	3,00	22,76	31	22 - 40
Nº 80	0,40	0,14	1,25	0,16	23,04	11,29	100,00	3,00	14,59	19	12 - 26
Nº 200	0,28	0,10	0,88	0,11	11,88	5,82	100,00	3,00	9,03	5,5	3 - 8

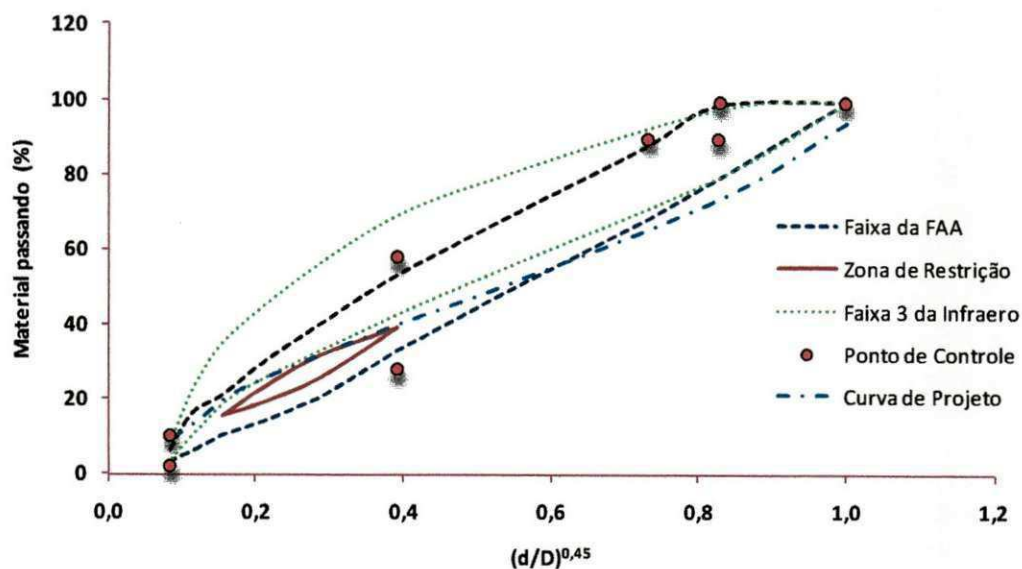


Figura 3.12 - Curva Fuller da Mistura 3 para a Faixa 3.

3.4 Quarta Etapa – Propriedades Mecânicas das Misturas Asfálticas

Os estudos sobre as propriedades mecânicas das misturas asfálticas foram realizados a partir dos resultados obtidos com o auxílio dos procedimentos do Ensaio Marshall (Dosagem), de obtenção da Resistência à Tração Indireta por Compressão Diametral (RT), do ensaio de Lottman Modificado e do ensaio para a obtenção do Módulo de Resiliência em corpos de prova submetidos à tração Indireta.

3.4.1 Ensaio Marshall

O Ensaio Marshall foi realizado segundo a Norma do DNIT ME 043/95 com corpos de prova compactados de forma automática. Para determinação do teor ótimo de CAP foram moldados quarenta e cinco (45) corpos de prova, para cada faixa em estudo, perfazendo um total de noventa (90) para as duas Faixas analisadas (Faixa 2 e Faixa 3 adotadas pela INFRAERO). Neste trabalho o experimento foi conduzido nas dependências do Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP/DEC/UFCG). Nas Figuras 3.13 e a Figura 3.14 estão inseridos os equipamentos utilizados nesta fase.



Figura 3.13 - Equipamentos utilizados para realização da compactação dos corpos de prova.

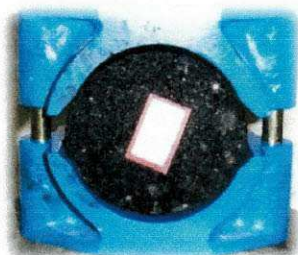
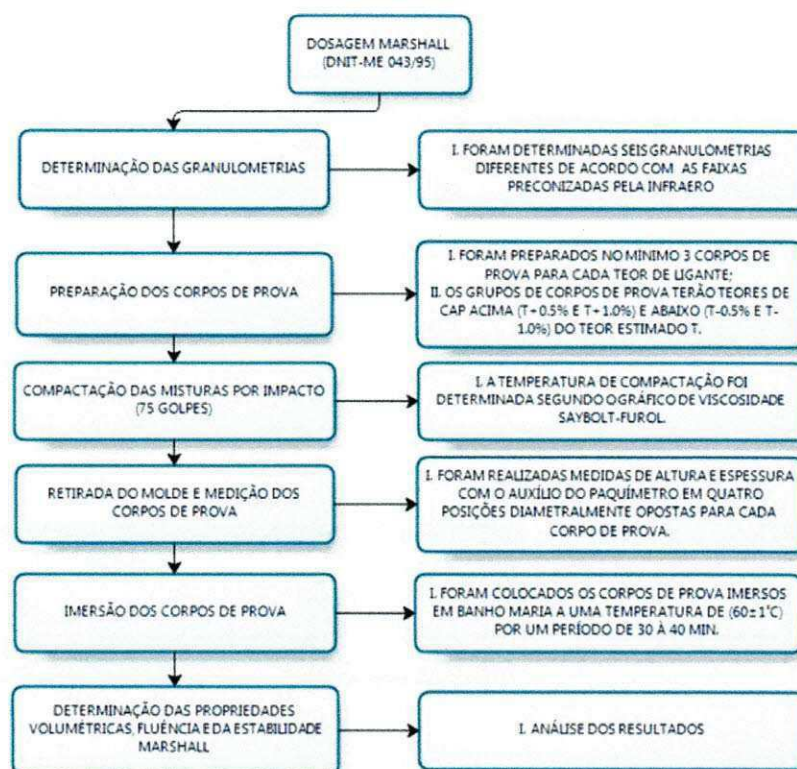


Figura 3.14 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio para o rompimento dos Corpos de Prova.

A seqüência de atividades utilizada no procedimento de dosagem Marshall está inserida no Fluxograma 3.2.



Fluxograma 3.2 – Seqüência da Dosagem Marshall.

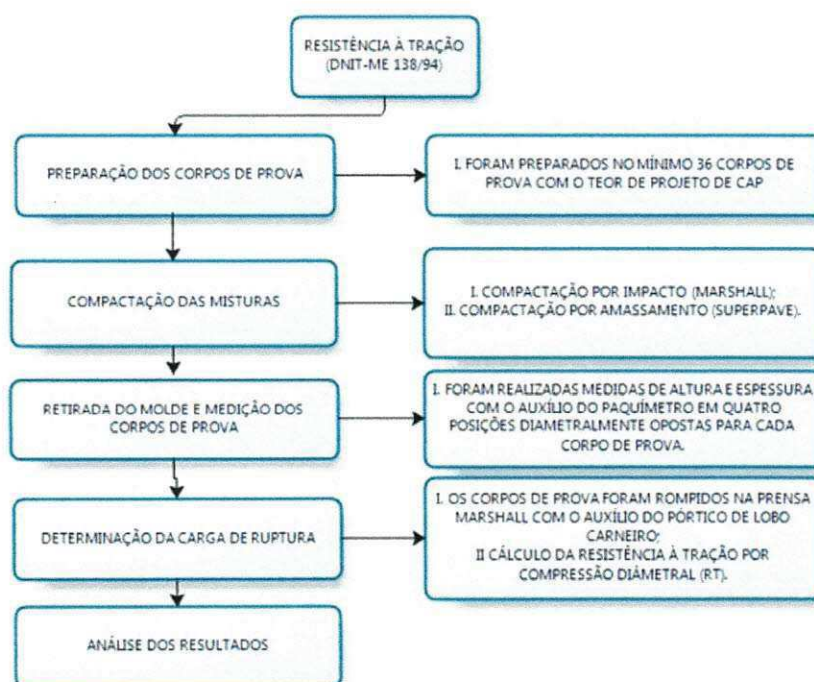
3.4.2 Ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral (RT)

O ensaio de Tração Indireta por Compressão Diametral foi realizado segundo a Norma do DNIT ME 138/94. Os corpos de prova foram preparados com o teor ótimo de asfalto e índice de vazios correspondentes aos obtidos pela Dosagem Marshall, como forma de estabelecer uma relação direta com as condições de compactação que ocorrem na execução dos revestimentos asfálticos.

Nesta etapa foram moldados três (18) corpos de prova correspondente as Mistura Asfálticas (Mistura 1, Mistura 2 e Mistura 3; para as Faixas 2 e 3 da INFRAERO) compactadas por impacto (Marshall) e por amassamento (SGC). Na Figura 3.15 estão inseridos os equipamentos utilizados para realização dos ensaios de RT. No Fluxograma 3.3 esta inserida a seqüência de atividades utilizada para a realização dos referidos ensaios.



Figura 3.15 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de Resistência a Tração (RT).



Fluxograma 3.3 – Seqüência dos Procedimentos do Ensaio de Resistência a Tração.

3.4.3 Ensaio de Lottman

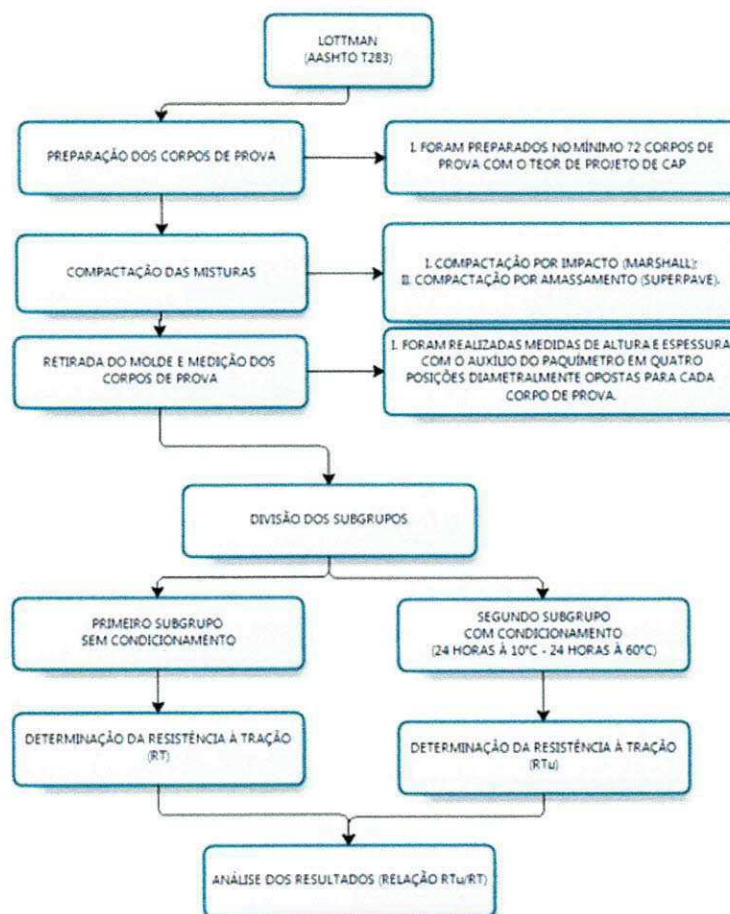
O ensaio de Lottman foi realizado segundo a Norma do DNIT ME 138/94 e a Norma da AASHTO T 283-02, com o auxílio da prensa Marshall e do pórtico de Lobo Carneiro (Figura 3.16).

Considerou-se que, para a Região Nordeste, dificilmente a temperatura dos revestimentos asfálticos pode apresentar valores inferiores a dezoito graus Célsius negativo (-18°C), valor estabelecido pela a Norma T 283-02 da AASHTO. Com isso, foram moldados dezoitos (18) corpos de prova para as Faixas de estudo e submetidos ao condicionamento, de ciclo de resfriamento, com a temperatura do revestimento estimada em dez (10) graus Celsius (10°C) que corresponde à mínima atingida para a região Nordeste em Geral.



Figura 3.16 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de Lottman Modificado.

O Fluxograma 3.4 mostra a seqüência de forma simplificada dos procedimentos utilizados para a realização do no ensaio de *Lottman*.



Fluxograma 3.4 – Seqüência dos procedimentos do ensaio de LOTTMAN.

3.4.4 Ensaio de Módulo de Resiliência

O ensaio de Módulo de Resiliência foi realizado de acordo com as Normas ASTM e do DNIT D4123 - 82 e ME - 133/94, respectivamente. Na Figura 3.17 estão inseridas as fotos dos equipamentos utilizados para a realização dos ensaios.

A força utilizada para o ensaio de Módulo de Resiliência foi correspondente a 30% da Resistência a Tração para cada Mistura Asfáltica com seu respectivo teor de CAP de projeto. Os procedimentos estão esquematizados na seqüência do ensaio contido no fluxograma 3.5. A Figura 3.18 e a Figura 3.19 ilustram a "interface do programa de computador" e um modelo de relatório gerado pelo programa utilizado para o processamento dos dados e cálculos do Módulo de Resiliência, respectivamente.

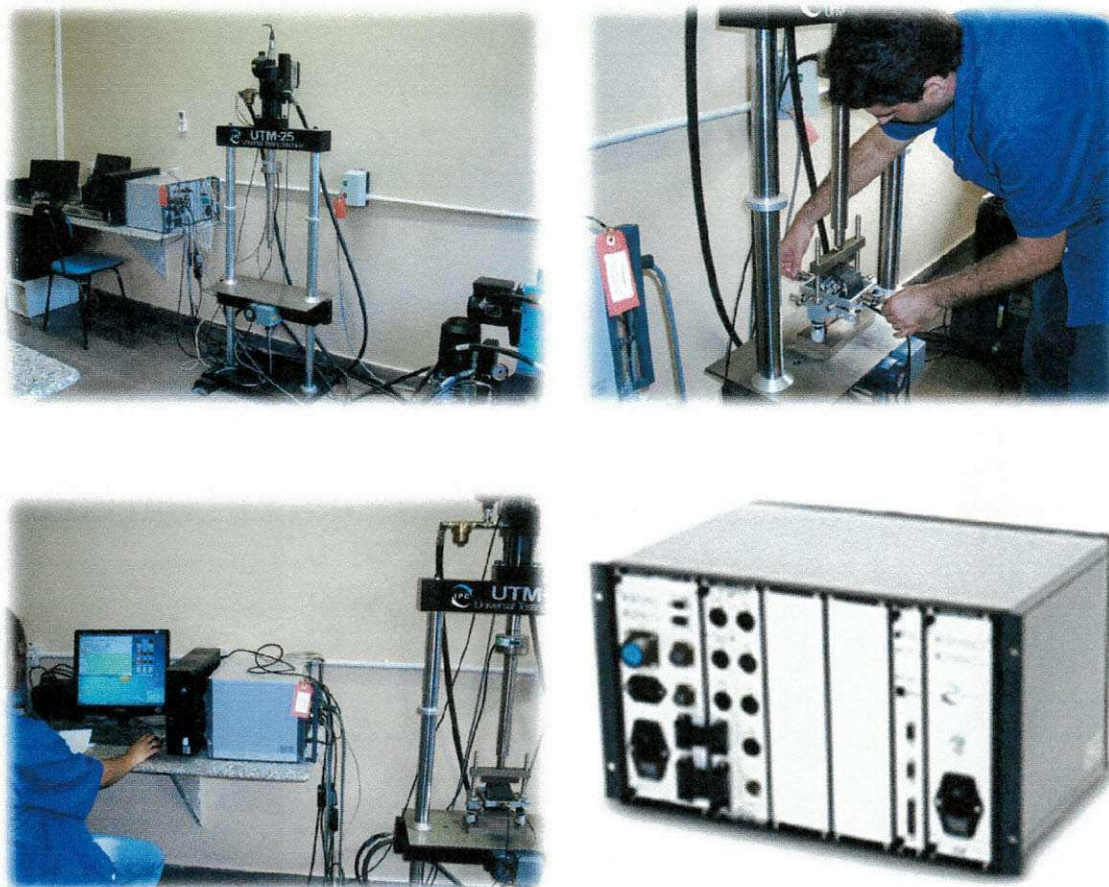
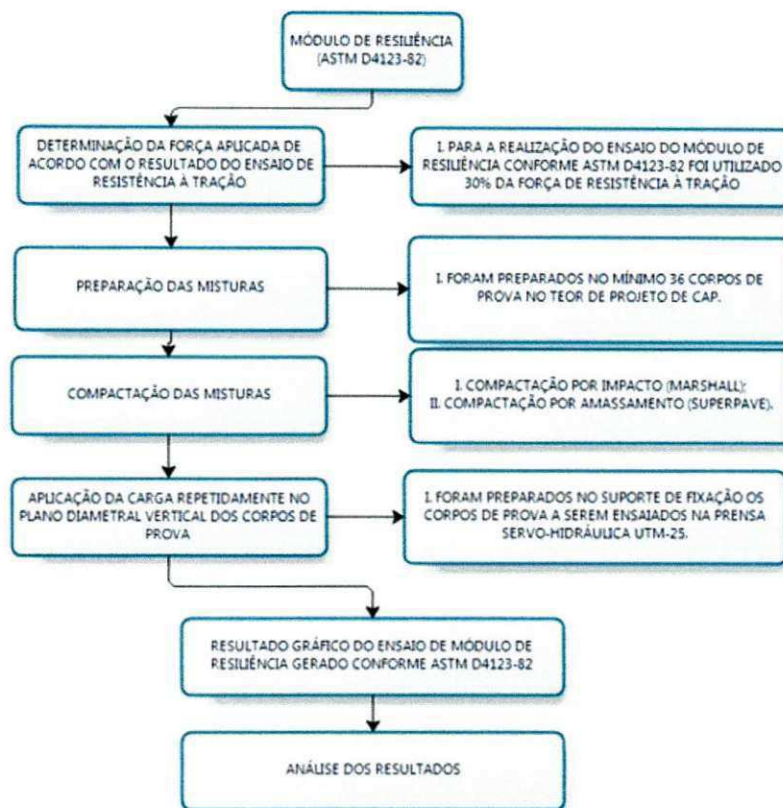


Figura 3.17 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de Módulo de Resiliência.



Fluxograma 3.5 – Seqüência dos procedimentos utilizados para a realização do ensaio de Módulo de Resiliência.

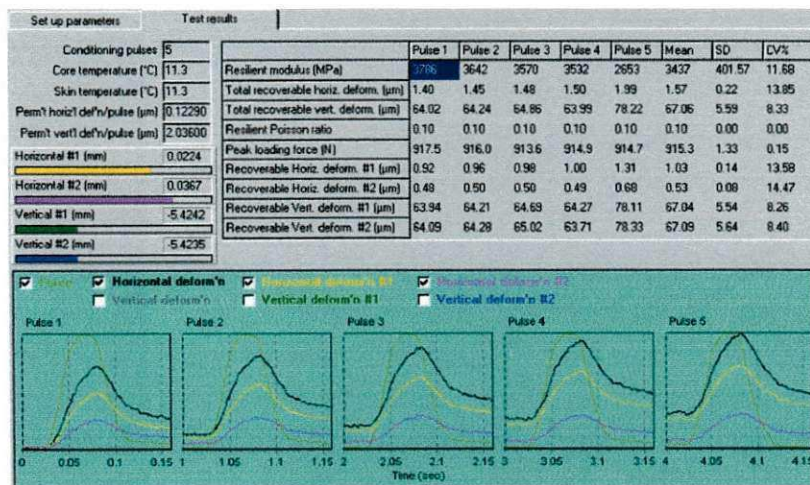


Figura 3.18 - Interface de trabalho do programa utilizado para realização do ensaio de Módulo de Resiliência.

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. hdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\UBR\BR 316 -Usina Garanhuns CP S_I.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 27/04/2011 10:01:07
 Project: JBR
 Operator: Léda
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50
 Peak loading force (N): 3306
 Estimated Poisson's ratio: 0.4
 Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: BR 316 -Usina Garanhuns CP S/I
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	62,1	62,9	64,0				63,0	1,0
Diameter (mm)	100,8	100,7	101,0				100,8	0,2

Cross-sectional area (mm²): 7985,4

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4
 Perm't horiz'l defn/pulse (µm): 3,417000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2749	2628	2586	2554	2538	2611	75,60	2,90
Total recoverable horiz. deform. (µm)	12,78	13,40	13,62	13,78	13,86	13,49	0,39	2,87
Peak loading force (N)	3303	3311	3311	3309	3307	3308	2,95	0,09
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	4,09	4,34	4,34	4,45	4,47	4,34	0,14	3,12
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	8,69	9,06	9,28	9,34	9,39	9,15	0,26	2,79
Seating force (N)	331	331	331	331	331	331	0,14	0,04

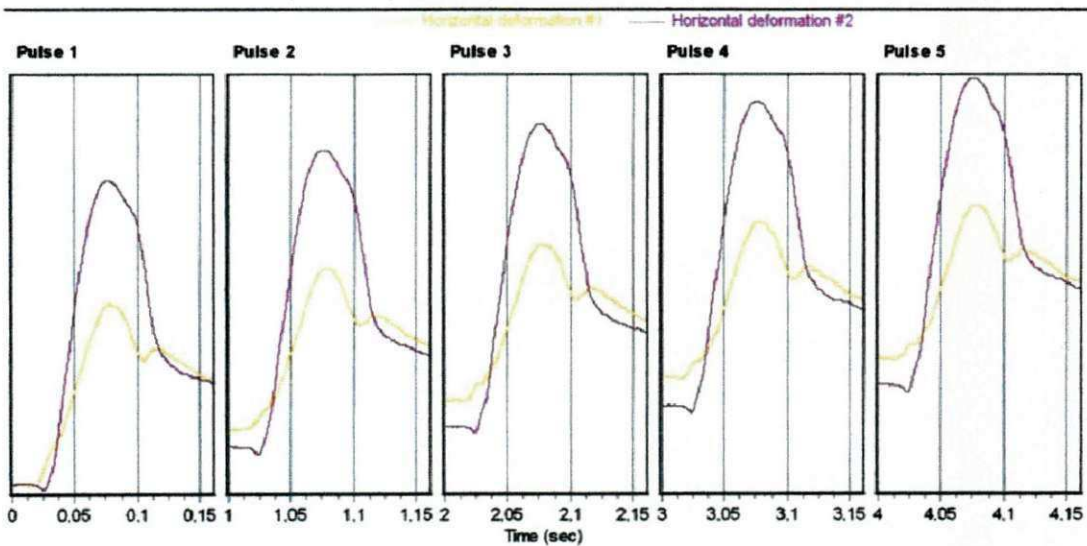


Figura 3.19 – Modelo de relatório gerado pelo programa utilizado para o processamento dos dados e cálculos do M_R .

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo foi dividido em três etapas para melhor compreensão da análise, a saber:

- ✓ Primeira etapa – Sobre as Propriedades Físicas dos Materiais.
- ✓ Segunda etapa – Sobre a Dosagem das Misturas Asfálticas.
- ✓ Terceira etapa – Sobre as Propriedades Mecânicas das Misturas Asfálticas.

4.1 Primeira etapa: sobre as propriedades físicas dos materiais

4.1.1 Distribuição dos Tamanhos das Partículas dos Materiais Granulares

Com o auxílio da distribuição dos tamanhos das partículas dos materiais foram estabelecidas as proporções dos agregados graúdos e miúdos de acordo com as especificações de Faixas granulométricas preconizadas pela INFRAERO e que serviram de base para a definição do teor ótimo de CAP em função dos parâmetros de Dosagem Marshall. Na Tabela 4.1 e na Figura 4.1 estão inseridos os resultados da distribuição granulométrica dos agregados graúdos e miúdos bem como, suas curvas lançadas em gráfico, respectivamente.

O concreto asfáltico com proporções de finos altas, além de ter sua resistência mecânica comprometida, expõe maior quantidade de granulares finos, apresentando superfície menos rugosa.. Em contrapartida, as misturas em que a proporção de grãos finos é pequena, a superfície é formada somente pelos grãos graúdos. Nessa situação, o contato inter-grãos ocorre entre os grãos de maior dimensão. Com isso, provavelmente, a superfície será rugosa, formada pela distribuição espacial dos granulares graúdos” (MOMM, 1998).

Tabela 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas dos materiais granulares

Peneira	Diâm. (mm)	Brita N° 25	Brita N° 19	Brita N° 9.5	Pó de Pedra	Areia
				% Passa		
1"	25,4	98,58	-	100,00	-	100,00
3/4"	19,1	43,53	83,27	100,00	-	100,00
1/2"	12,7	6,19	26,12	99,48	-	100,00
3/8"	9,5	3,63	11,87	90,23	99,46	100,00
N° 4	4,8	3,03	0,92	8,10	94,05	99,41
N° 10	2	2,94	0,53	2,12	70,48	96,72
N° 40	0,42	2,26	0,48	1,57	39,56	58,83
N° 80	0,18	1,63	0,40	1,25	23,04	5,69
N° 200	0,074	1,02	0,28	0,88	11,88	0,37

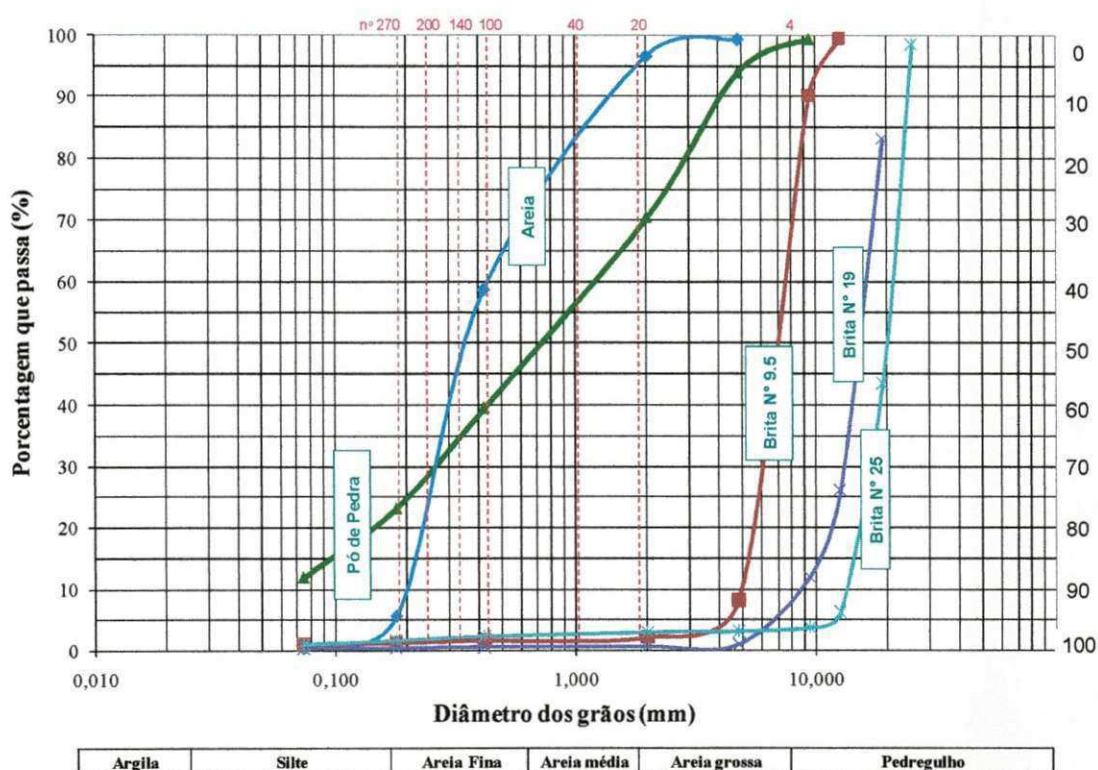


Figura 4.1 – Curvas granulométricas dos materiais utilizados nas misturas asfálticas.

4.1.1.1 Massa Específica Real

- a) Massa específica real do agregado graúdo

Na Tabela 4.2 esta inserida a massa específica real dos agregados graúdos que compõem as misturas asfálticas utilizados nessa pesquisa.

Tabela 4.2 - Massa específica real dos agregados graúdos utilizados nas misturas asfálticas.

Diâm. (mm)	Massa Específica Real (g/cm³)
25,4	2,647
19,1	2,632
9,5	2,632

b) Massa específica real dos agregados miúdos

O agregado miúdo utilizado, a areia e o pó de pedra, apresentaram massa específica aparente conforme demonstrado na Tabela 4.3. A areia apresentou diâmetro máximo de 4,75 mm e equivalente areia aproximadamente de 93,5%.

Tabela 4.3 - Massa específica real dos agregados miúdos utilizados nas misturas asfálticas.

Diâm. (mm)	Massa Específica Real (g/cm³)
AREIA	2,581
PÓ DE PEDRA	2,616

c) Massa específica real do filer

A cal hidratada CH-I utilizada nos experimentos apresentou as propriedades físicas mostradas na Tabela 4.4. Por ser um material muito fino, com diâmetros menores que 0,075 mm, a determinação dos tamanhos das partículas foi obtida com o aparelho analisador de partículas por difração a laser, cuja a curva foi lançada em gráfico conforme mostrada na Figura 4.2 (Norma da ABNT: NBR-6508/84).

Tabela 4.4 - Massa específica real da Cal Hidratada tipo CH-I.

Diâm. (mm)	Massa Específica Real (g/cm³)
Cal Hidratada CH-I	2,535

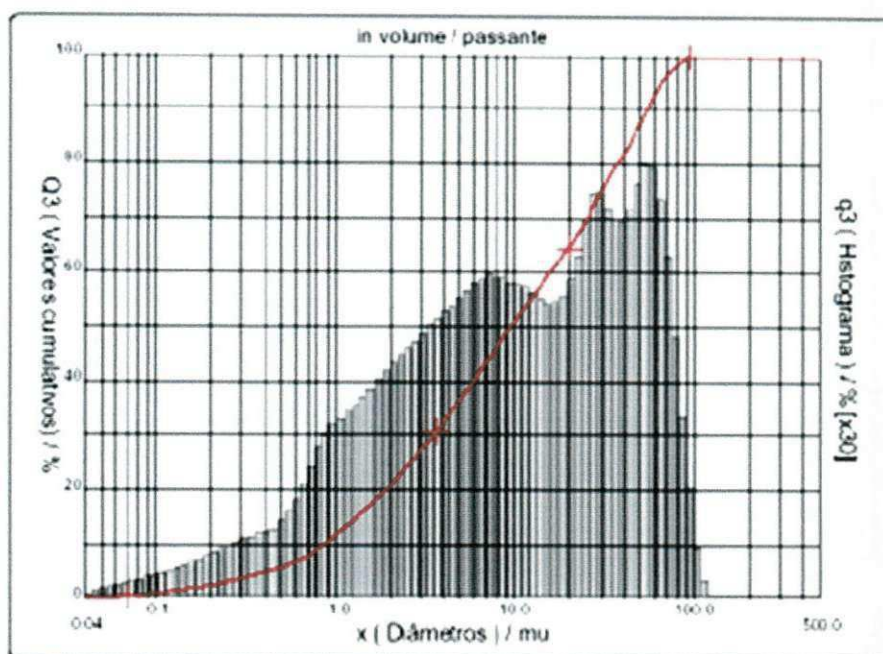


Figura 4.2 – Distribuição dos tamanhos das partículas da cal obtida por difração a laser.

d) Ensaio de Abrasão “Los Angeles”.

O resultado do ensaio de Abrasão “Los Angeles” realizado nos agregados que compõem as misturas asfálticas da pesquisa estão inseridos na Tabela 4.5 de acordo com a norma ME 035/98 preconizada pelo DNIT.

As especificações brasileiras para serviços de pavimentação que envolvem o uso de agregados na construção de camadas de base e de revestimento, normalmente limitam o valor da abrasão “Los Angeles” (LA) entre 40% e 55%. Observa-se que os resultados obtidos estão abaixo de 40% e que os tornam satisfatórios quando comparados com os valores preconizados pelo DNIT para as misturas asfálticas (Norma: DNIT ME 035/98).

Tabela 4.5 - Resultado do ensaio de Abrasão “Los Angeles”.

Diâm. (mm)	Resultado(%)
25,4	30,11
19,1	21,90

e) Determinação da Absorção dos Agregados.

Os resultados do ensaio de absorção dos agregados estão inseridos na Tabela 4.6 (DNIT, ME 081/98).

Tabela 4.6 - Resultado do ensaio de absorção.

Diâm. (mm)	Resultado(%)
25,4	0,24
19,1	0,25

4.2 Segunda etapa: sobre a dosagem das misturas asfálticas.

A Tabela 4.7 apresenta os valores dos teores ótimos de CAP de projeto com suas respectivas composições granulométricas (Faixas da INFRAERO) para cada mistura asfáltica obtidas a partir do procedimento de dosagem Marshall com a análise do gráfico do teor de asfalto versus Vv e RBV (Figura 4.3).

Tabela 4.7 – Valores do teor ótimo de CAP de Projeto para as misturas asfálticas.

Faixa e Denominação	Brita 25 (%)	Brita 19 (%)	Brita 9.5 (%)	Pó-de-Pedra (%)	Areia (%)	A cal hidratada CH-I(Filer) (%)	Teor de Cap de Projeto (%)	
Mistura 1	15	17	15	48	-	5	4,4	
Faixa 2	Mistura 2	-	10	18	35	32	5	5,2
	Mistura 3	36	25		34	-	5	4,5
	Mistura 1	-	20	10	65	-	5	5,3
Faixa 3	Mistura 2	-	11	15	42	25	7	5,2
	Mistura 3	-	35	13	49	-	3	5,3

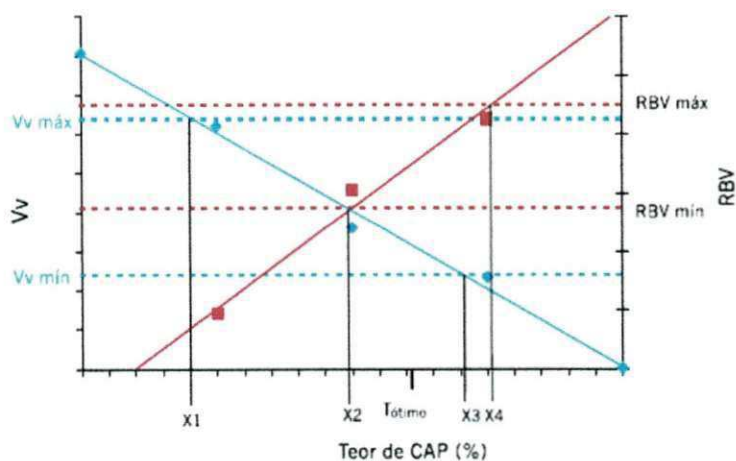


Figura 4.3 – Parâmetros utilizados para fixação do teor de projeto de CAP

4.2.1 Sobre as características mecânicas e volumétricas das misturas asfálticas.

4.2.1.1 Estabilidade

Na Tabela 4.8 estão inseridos os resultados obtidos para a Estabilidade Marshall de acordo com os teores de projeto (teor ótimo) das misturas asfálticas para cada faixa em estudo. Os valores de estabilidade ficaram acima do valor mínimo preconizado pela INFRAERO (maior que 800 kgf) (Figura 4.4 e Figura 4.5).

As misturas compactadas com o teor de projeto apresentaram dispersões entre os valores de estabilidade, com relação aos valores obtidos pela composição original de dosagem tanto para Faixa 2 como para a Faixa 3. Em outras palavras, em função das variabilidades dos resultados inerentes ao procedimento Marshall, para os teores ótimos de CAP (teor de projeto) houve diferenças entre os valores de Estabilidade alcançados para um mesmo teor de CAP utilizado na mistura inicial (Tabela 4.8).

Tabela 4.8 – Resultado da Estabilidade das misturas asfálticas com o teor ótimo de CAP de projeto.

Resultado				
		Teor de Cap (%)	Estabilidade (Kgf)	Critérios Infraero
Faixa 2	Mistura 1	4,4	1139	Estabilidade > 800Kgf
	Mistura 2	5,2	809	
	Mistura 3	4,5	999	
Faixa 3	Mistura 1	5,3	995	
	Mistura 2	5,2	822	
	Mistura 3	5,3	828	

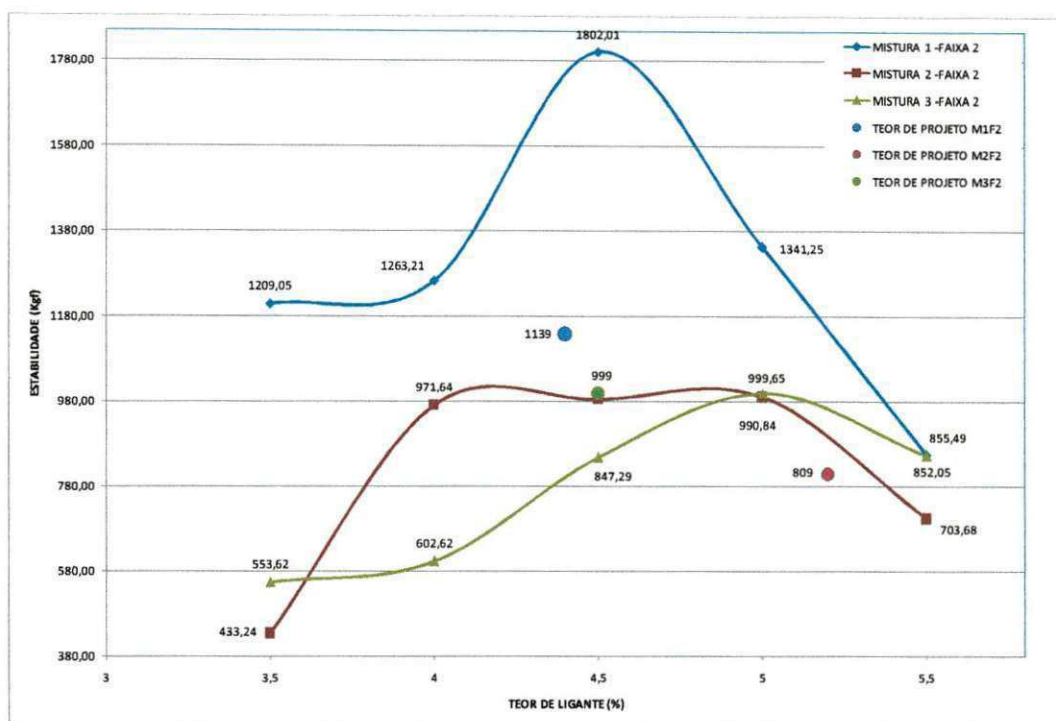


Figura 4.4 - Estabilidade das Misturas Asfálticas para a Faixa 2 - INFRAERO.

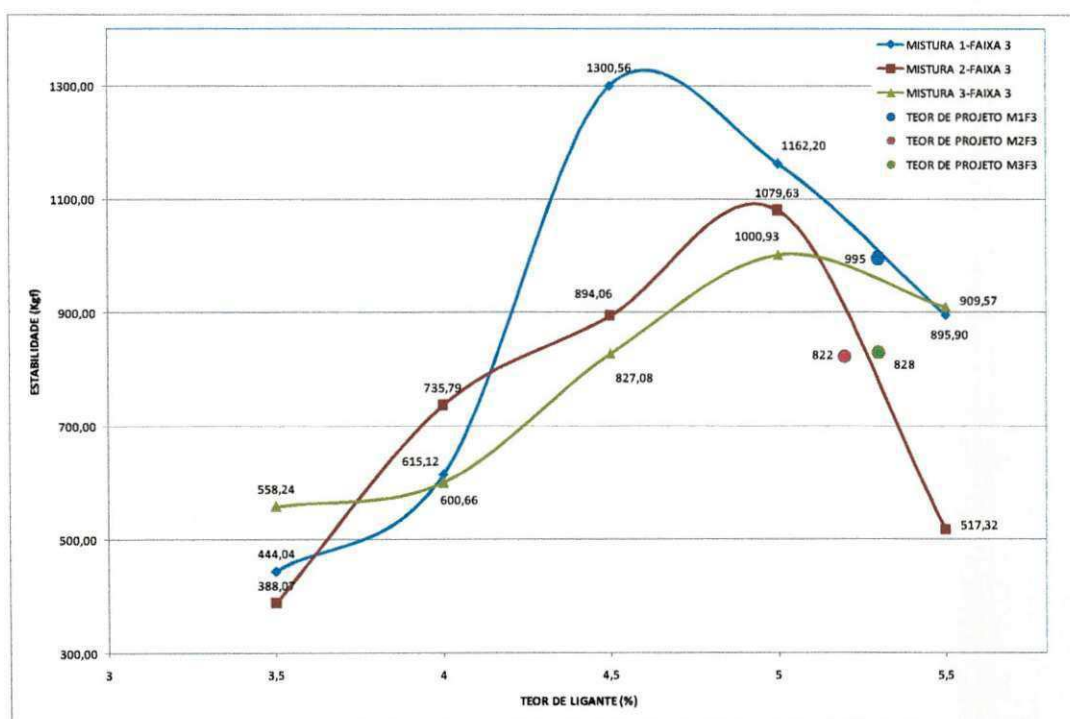


Figura 4.5 - Estabilidade das Misturas Asfálticas para a Faixa 3 - INFRAERO.

4.2.1.2 Vazios do agregado Mineral (VAM)

A razão para o estabelecimento de um valor mínimo para o VAM é baseado na espessura mínima que o filme de asfalto deve ter para garantir a durabilidade da mistura asfáltica. Os resultados apresentaram-se, com dispersões inerentes ao procedimento Marshall, satisfatórios para as seis misturas asfálticas que compreendem as duas faixas da INFRAERO em estudo (Tabela 4.9, Figura 4.6 e Figura 4.7).

Tabela 4.9 – Resultado da razão VAM para as misturas asfálticas com o teor de CAP de projeto.

Resultado			Critérios Infraero	
	Teor de Cap (%)	VAM(%)		
Faixa 2	Mistura 1	4,4	14,16	VAM > 13%
	Mistura 2	5,2	16,29	
	Mistura 3	4,5	13,38	
Faixa 3	Mistura 1	5,3	16,63	
	Mistura 2	5,2	16,11	
	Mistura 3	5,3	15,24	

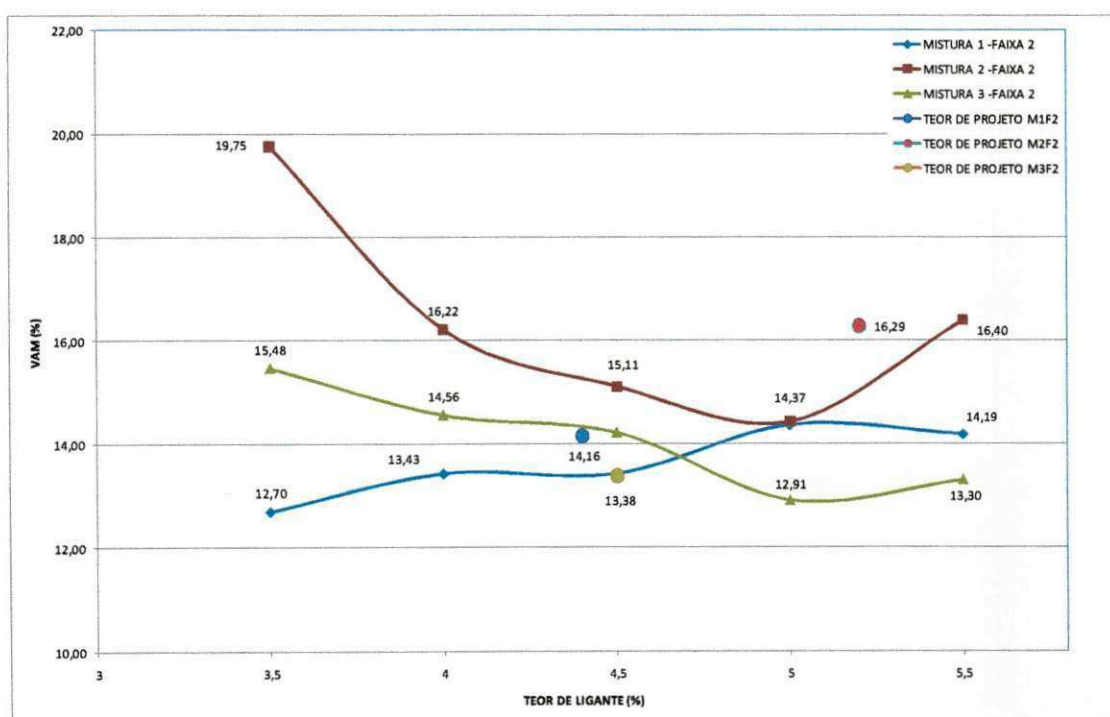


Figura 4.6 - Gráfico VAM das misturas asfálticas para a Faixa 2 – INFRAERO

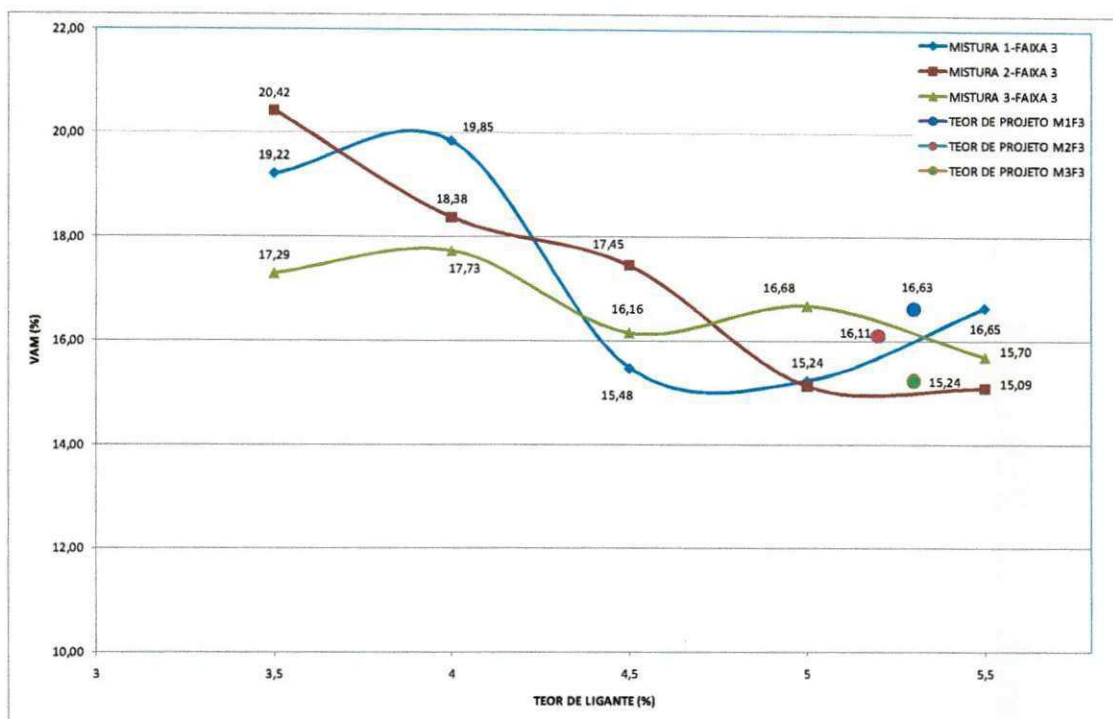


Figura 4.7 - Gráfico VAM das misturas asfálticas para a Faixa 3 - INFRAERO

4.2.1.3 Volume de Vazios das Misturas Asfálticas

A Tabela 4.10, a Figura 4.8 e a Figura 4.9 apresentam os resultados dos valores de volumes de vazios para as misturas asfálticas no teor de CAP de projeto, os quais se enquadraram dentro dos limites preconizados pelo DNIT.

Tabela 4.10 – Resultado do Volume de Vazios para as misturas asfálticas com o teor de CAP de projeto.

		Resultado		Critérios Infraero
		Teor de Cap (%)	Volume de Vazios(%)	
Faixa 2	Mistura 1	4,4	4,23	Volume deVazios (3 - 5) %
	Mistura 2	5,2	4,89	
	Mistura 3	4,5	3,03	
Faixa 3	Mistura 1	5,3	4,95	
	Mistura 2	5,2	4,61	
	Mistura 3	5,3	3,29	

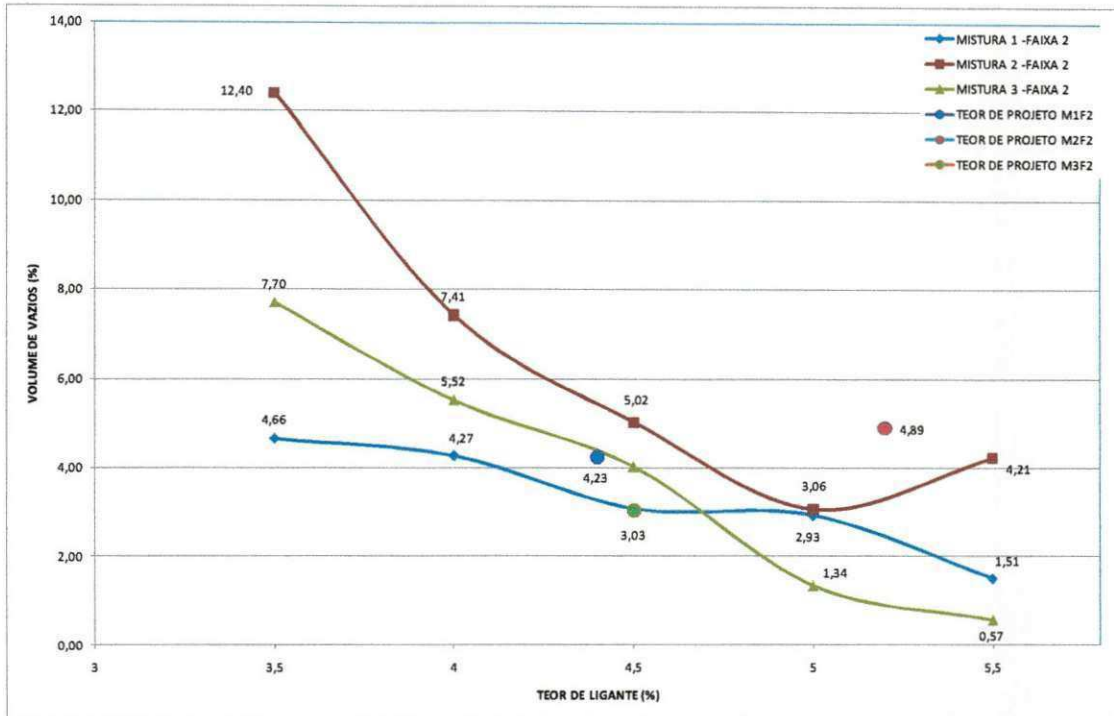


Figura 4.8- Gráfico do Volume de Vazios das Misturas Asfálticas da Faixa 2 – INFRAERO

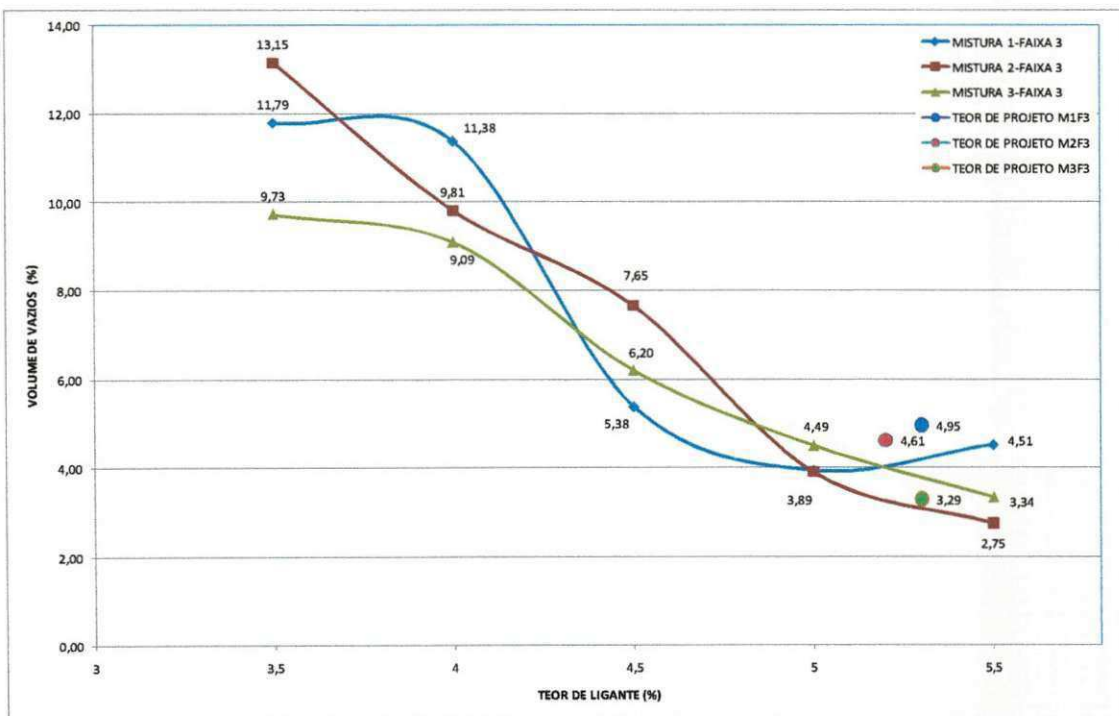


Figura 4.9- Gráfico do Volume de Vazios das Misturas Asfálticas da Faixa 3 – INFRAERO

Os gráficos mostram um acréscimo no resultado do volume de vazios para o maior teor de CAP (5.5%) utilizado na dosagem Marshall para compor as misturas asfálticas que se aproximam da faixa intermediária e superior preconizada pela INFRAERO referente à mistura 2 (Faixa 2) e a mistura 3 (Faixa 3) respectivamente. Esse resultado atípico está relacionado a temperatura de compactação inadequada para essas misturas asfálticas.

4.2.1.4 Relação Betume Vazios

A Tabela 4.11, a Figura 4.10 e a Figura 4.11 apresentam os resultados da Relação Betume Vazios (RBV) para as misturas asfálticas no teor de CAP de projeto. Em sua totalidade, as misturas para ambas as faixas se enquadraram dentro dos limites preconizados pelas normas da INFRAERO (NSMA 82 -2 - Ministério da Aeronáutica, (1985)).

Tabela 4.11 – Resultado da Relação Betume Vazios para as misturas asfálticas com o teor de CAP de projeto.

Resultado			
	Teor de Cap (%)	Relação Betume Vazios	Critérios Infraero
Faixa 2	Mistura 1	4,4	70,18
	Mistura 2	5,2	70,08
	Mistura 3	4,5	77,38
Faixa 3	Mistura 1	5,3	70,26
	Mistura 2	5,2	72,32
	Mistura 3	5,3	78,88

RBV (70 à 80) %

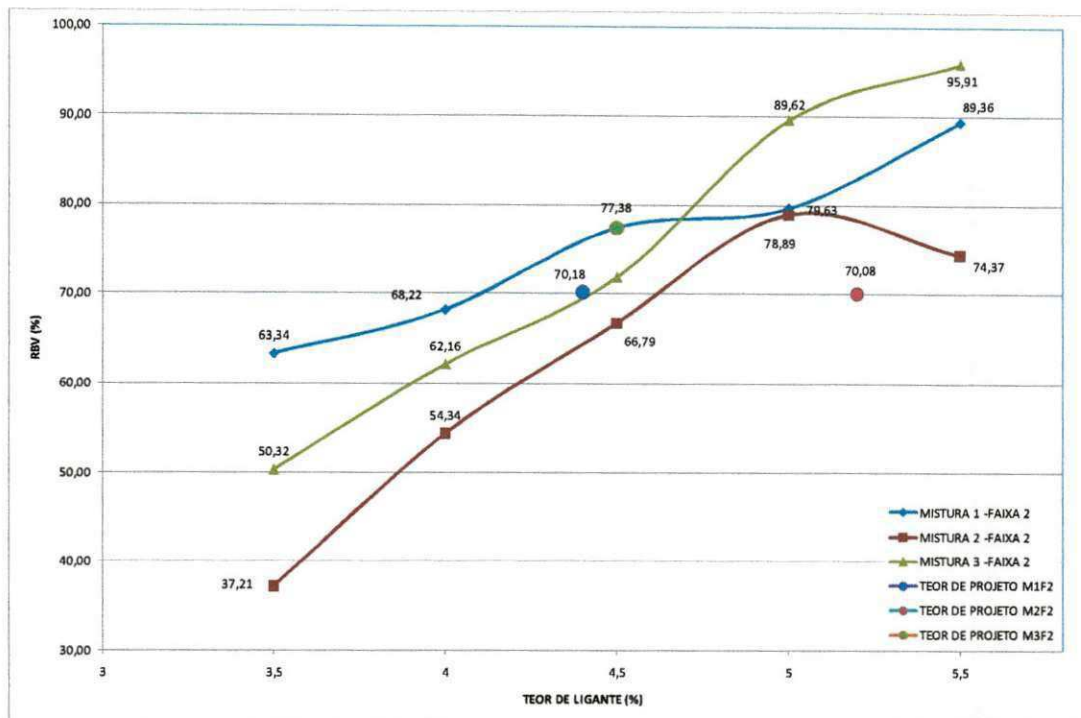


Figura 4.10- Gráfico Da Relação Betume Vazios das Misturas da Faixa 2 – INFRAERO

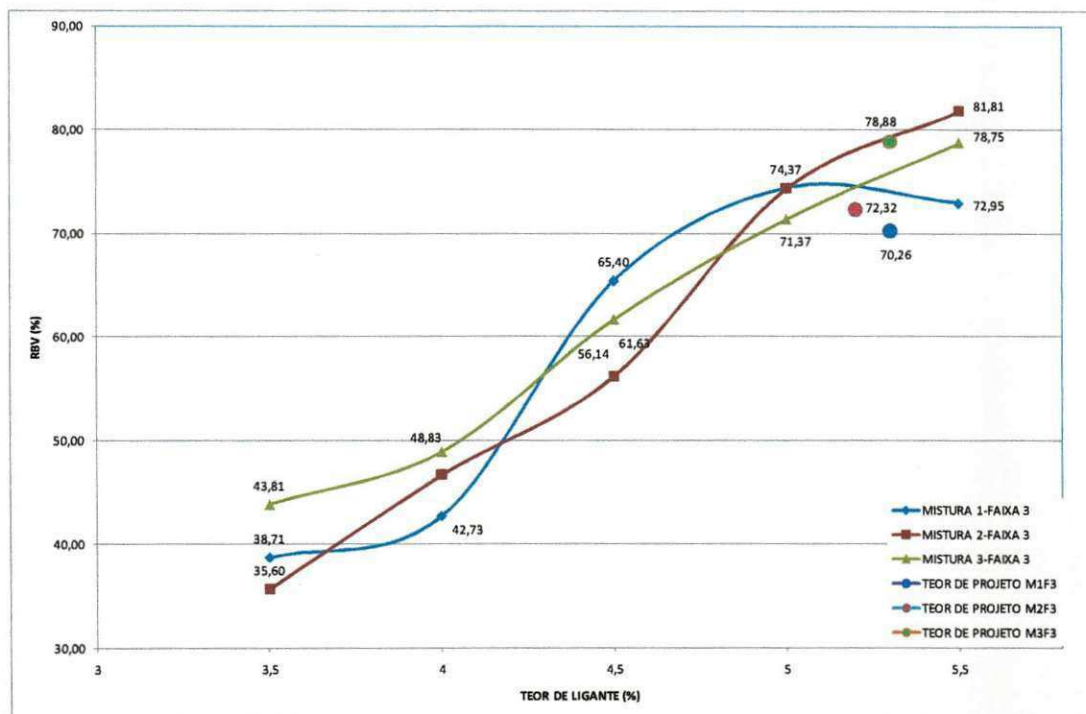


Figura 4.11 - Gráfico Da Relação Betume Vazios das Misturas da Faixa 3 – INFRAERO

Na Tabela 4.12, na Tabela 4.13 e na Tabela 4.14 estão inseridos os valores referentes ao Volume de Vazios, ao Volume do Agregado Mineral, e a Relação Betume Vazios obtidos a partir dos corpos de prova compactados por amassamento e por impacto.

As misturas que apresentaram melhores resultados inerentes a esses parâmetros foram as Misturas 1 para ambas as faixas. Observa-se que as mesmas se enquadraram dentro dos limites estabelecidos pelo procedimento Superpave para escolha das granulometria (*Pontos de Controle e Zona de Restrição*).

Tabela 4.12– Volume de vazios (Vv) para as misturas compactadas por amassamento e por impacto.

Resultado Compactação por Impacto		
Teor de Cap	Volume de Vazios(%)	Critérios Infraero
Faixa 2	Mistura 1	4,23
	Mistura 2	4,89
	Mistura 3	3,03
Faixa 3	Mistura 1	4,95
	Mistura 2	4,61
	Mistura 3	3,29
		Volume de Vazios (3 - 5) %

Resultado Compactação por Amassamento		
Teor de Cap	Volume de Vazios(%)	Critérios Infraero
Faixa 2	Mistura 1	3,53
	Mistura 2	4,84
	Mistura 3	0,95
Faixa 3	Mistura 1	4,19
	Mistura 2	3,67
	Mistura 3	1,42
		Volume de Vazios (3 - 5) %

Tabela 4.13 – Volume do Agregado mineral (VAM) para as misturas compactadas por amassamento e por impacto.

Resultado Compactação por Impacto			
Teor de Cap	VAM(%)	Crítérios Infraero	
Faixa 2	Mistura 1	14,16	VAM > 13%
	Mistura 2	16,29	
	Mistura 3	13,38	
Faixa 3	Mistura 1	16,63	
	Mistura 2	16,11	
	Mistura 3	15,24	

Resultado Compactação por Amassamento			
Teor de Cap	VAM(%)	Crítérios Infraero	
Faixa 2	Mistura 1	13,80	VAM > 13%
	Mistura 2	14,85	
	Mistura 3	11,52	
Faixa 3	Mistura 1	14,23	
	Mistura 2	13,76	
	Mistura 3	11,81	

Tabela 4.14 – Relação Betume Vazios (RBV) para as misturas compactadas por amassamento e por impacto.

Resultado Compactação por Impacto			
Teor de Cap	Relação Betume Vazios	Crítérios Infraero	
Faixa 2	Mistura 1	70,18	RBV (70 à 80) %
	Mistura 2	70,08	
	Mistura 3	77,38	
Faixa 3	Mistura 1	70,26	
	Mistura 2	72,32	
	Mistura 3	78,88	

Resultado Compactação por Amassamento			
Teor de Cap	Relação Betume Vazios	Crítérios Infraero	
Faixa 2	Mistura 1	74,59	RBV (70 à 80) %
	Mistura 2	67,40	
	Mistura 3	91,85	
Faixa 3	Mistura 1	71,01	
	Mistura 2	73,37	
	Mistura 3	88,00	

4.2.2 Considerações Gerais

Apesar dos valores dos teores de projeto compactados por impacto (Marshall) para as misturas asfálticas se comportarem dentro dos limites estabelecidos pela INFRAERO para análise das características volumétricas e de estabilidade, os mesmos mostraram alterações de resultados quando comparados aos valores estimados da curva de dosagem obtida pela Metodologia Marshall. Esse fato é devido à grande variabilidade apresentada pelo processo da dosagem por impacto (Marshall).

A estabilidade apresentada pelas misturas asfálticas estão mais acentuadas naquelas misturas que encontram-se na faixa intermediária (Mistura 1 da Faixa 2 e da Faixa 3). Essas misturas têm uma maior adequação de variabilidade na sua composição granulométrica dentro da faixa limite ao qual estão preconizadas.

A estabilidade apresentada pelas misturas asfálticas densas que se encontram próxima a linha superior das Faixas preconizadas pelo a INFRAERO (Mistura 2 da Faixa 2 e da Faixa 3) mostraram-se menos resistentes quando comparadas as demais misturas asfálticas estudadas. Essas misturas asfálticas apresentam na sua composição granulométrica uma percentagem alta de finos tomando-as menos propícias a resistência máxima à compressão radial (Estabilidade Marshall).

O volume total de vazios para as misturas asfálticas (VAM) apresentou-se mais acentuado naquelas misturas mais densa em relação aos finos (Mistura 2 da Faixa 2 e da Faixa 3), tomando a mistura menos resistente e mais propícia a fatores externos que afetam a estrutura do revestimento asfáltico (Umidade induzida).

O volume de vazios existente na mistura asfáltica em relação ao volume total da mistura (Vv) manteve-se as variações dos valores entre o estabelecidos pelo DNIT (3-5%) para todas as misturas asfálticas estudadas nessa pesquisa. A mistura asfálticas com menos percentual de volume de vazios são aquelas próximo a Faixa inferior dos limites preconizados pela INFRAERO que apresentam uma composição granulométrica menos densa(Mistura 3 da Faixa 2 e da Faixa 3).

As misturas que tendem a se aproximar das Faixas inferiores dos limites estabelecido pela INFRAERO (Mistura 3 da Faixa 2 e da Faixa 3) são propícias a apresentar, na sua composição granulométrica, uma menor relação entre o volume de betume (CAP) e o volume total de vazios das misturas asfálticas (RBV). Observamos que as misturas asfálticas após ultrapassarem o limite intermediário (Mistura 1 e Mistura 2 da Faixa 2 e da Faixa 3) das faixas preconizadas pela INFRAERO mantêm uma constante de variabilidade entre seus valores de RBV, 70% à 72% aproximadamente. Fato que torna essas misturas asfálticas menos resistentes aos esforços solicitantes encontrados na estrutura do revestimento do pavimento.

As misturas asfálticas que se aproximam do limite superior das faixas preconizadas pela a INFRAERO e que tem uma maior quantidade de finos (mais densa) apresentaram os mesmos teores de projeto para a Faixa 2 e para a Faixa 3 em estudo, 5,2%, o que torna a mistura além de menos resistente e susceptível a presença de fatores externos (água).

Pela análise dos resultados da dosagem Marshall foi observado que todas as misturas estudadas apresentaram valores satisfatórios segundo as características volumétricas e a estabilidade Marshall, as quais atenderam aos critérios preconizados pela INFRAERO. Foi observado também, que mesmo as Misturas 3, ou seja, as que apresentam uma granulometria abaixo do limite inferior, portanto fora da Faixa 2 e da Faixa 3 da INFRAERO, obtiveram resultados satisfatórios quanto aos parâmetros sugeridos pelo procedimento de Dosagem Marshall.

Em todas as misturas asfálticas estudadas para a Faixa 3 da INFRAERO o teor de CAP de projeto foi superior 5%, o poderá comprometer estruturas de revestimentos surgimentos de defeitos tais como: corrugação, exsudação, escorregamento de massa, entre outros.

Ressalta-se a importância do fato que para as Misturas 2, de ambas as Faixas em estudo, possuem uma granulometria com uma proporção de finos significativa o que as tomam detentoras de uma macroestrutura densa e fechada com prováveis efeitos sobre a aderência do sistema Pavimento/Pneu das Aeronaves, e que, em dias chuvosos, pode gerar o aparecimento do fenômeno de hidroplanagem e a falta de aderência com conseqüente aumento de distância de frenagem, diminuindo portanto a margem de segurança de pousos e de decolagens.

As misturas asfálticas em estudo apenas foram dosadas pela a metodologia Marshall. As comparações dos parâmetros volumétricos realizadas pela compactação por impacto e por amassamento tentam apenas estabelecer critérios aceitáveis para uma posterior análise nas melhores condições apresentadas pelas supracitadas em termos de características mecânicas

O volume total de vazios do agregado mineral para as misturas asfálticas (VAM) apresentaram -se com uma semelhança na tendência mínima de redução dos valores absolutos quando comparado as misturas asfálticas pela compactação por impacto e por amassamento. As misturas asfálticas que se aproximam da Faixa inferior da INFRAERO (Mistura 3 da Faixa 2 e da Faixa 3) apresentaram uma maior redução no volume total de vazios do agregado mineral da mistura asfálticas(VAM), houve uma readaptação na sua composição granulométrica(Menos densa) objetivando uma melhor compactação(Amassamento).

O volume de vazios (Vv) das misturas asfálticas após sofrerem o processo de compactação por amassamento (Superpave) obtiveram redução em todas as Faixas de estudo e assim com os valores de volume total de vazios para as misturas asfálticas apresentaram-se mais significativos para aquelas misturas que encontram-se próximo as Faixas inferiores preconizadas pela a INFRAERO(Mistura 3 da Faixa 2 e da Faixa 3). Para as misturas mais densas que se encontram

acima da Faixa intermediária (Mistura 1 e Mistura 2 da Faixa 2 e da Faixa 3) esses valores não apresentaram grandes alterações, apenas um rearranjo melhor na sua estrutura de composição granulométrica.

4.3 Terceira etapa: sobre as propriedades mecânicas das misturas asfálticas.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos com o auxílio dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral indireta; de resistência ao dano por Umidade Induzida – “*Lottman Modificado*” e de Módulo de Resiliência.

4.3.1.1 Resistência à Tração por Compressão Diametral Indireta

Na Tabela 4.15 e na Figura 4.12 estão apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral indireta com os corpos-de-prova moldados nos teores de CAP de projeto pelo procedimento da compactação Marshall e compactação SUPERPAVE para as faixas em estudo.

Em sua totalidade o efeito do tipo de compactação por amassamento (SGC), aliado a distribuição dos tamanhos das partículas, fez com que os valores da Resistência à Tração tivessem um incremento significativo que variou de 24,7% a 51,0%.

Tabela 4.15 – Resultados do ensaio de Resistência a Tração (RT) para as Misturas Asfálticas.

RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (TEOR DE CAP DE PROJETO)					
		COMPACTAÇÃO MARSHALL RT (MPa)	COMPACTAÇÃO SUPERPAVE RT (MPa)	RELAÇÃO SUPERPAVE/MARSHALL	VALORES DE REFERÊNCIA (DNIT)
Faixa 2	Mistura 1	0,69	1,04	51,0%	RT > 0,65 Mpa
	Mistura 2	0,63	0,78	24,7%	
	Mistura 3	0,73	1,04	41,9%	
Faixa 3	Mistura 1	0,70	1,00	42,7%	
	Mistura 2	0,61	0,86	41,1%	
	Mistura 3	0,87	1,13	30,0%	

As misturas com proporções mais acentuadas de finos, curvas próximas ao limite superior da Faixa Granulométrica, tiveram um incremento menor da RT. Entretanto, o efeito da compactação por amassamento fez com que o valor médio da RT obtida atendesse ao limite mínimo preconizado pela INFRAERO para as misturas asfálticas (RT>0,65 MPa), que para as respectivas misturas compactadas por impacto, em ambas as faixas, não haviam alcançado ou atendido o valor mínimo supracitado.

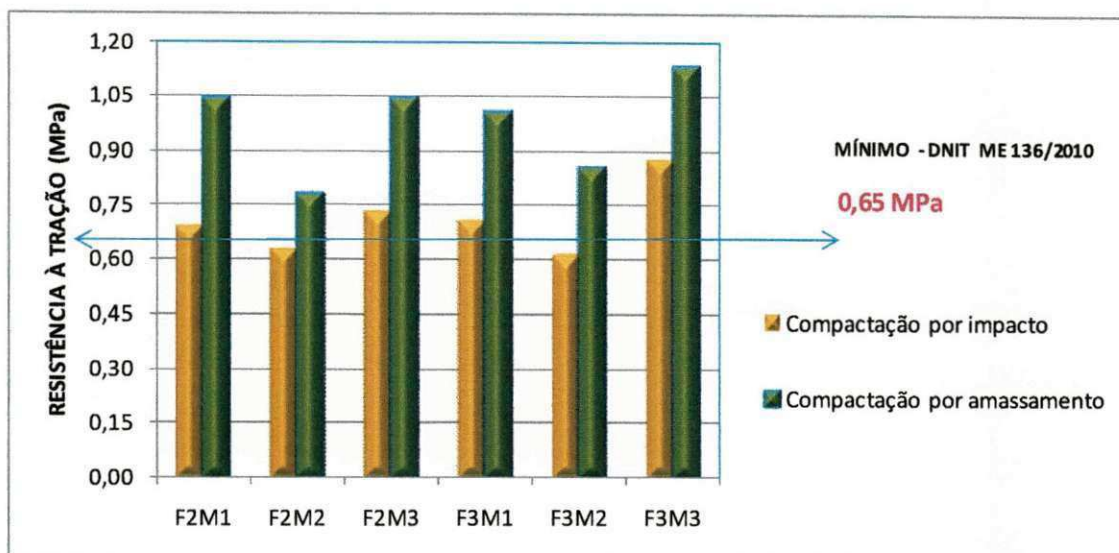


Figura 4.12 – Resultados Gráficos para o ensaio de Resistência a Tração por Compressão Diâmetral pela Compactação Marshall.

4.3.1.2 Resistência ao dano pela Umidade Induzida em Misturas Betuminosas – LOTTOMAN

Na Tabela 4.16 e na Figura 4.13 estão apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios de resistência à tração por compressão diâmetral indireta com os corpos-de-prova moldados nos teores de CAP de projeto pelo procedimento da compactação Marshall e compactação SUPERPAVE, com e sem o efeito da umidade induzida (*Lottman*). Foram calculados os valores da relação da resistência à tração com e sem condicionamento de umidade induzida corpos de provas ($RRT=RTu/RT$).

Tabela 4.16 – Resultados do ensaio Lottman para as Misturas Asfálticas.

RESULTADO DO LOTTOMAN (TEOR DE CAP DE PROJETO)								
		COMPACTAÇÃO MARSHALL RT (Mpa)			COMPACTAÇÃO SUPERPAVE RT (Mpa)		RELAÇÃO SUPERPAVE/MA RSHALL	VALORES DE REFERÊNCIA (DNIT)
		RT (MPa)	RTu (MPa)	RRT=RTu/RT (MPa)	RTu (MPa)	RRT=RTu/RT (MPa)		
Faixa 2	Mistura 1	0,69	0,49	71%	1,04	0,77	74%	RT > 70 Mpa
	Mistura 2	0,63	0,28	45%	0,78	0,55	70%	
	Mistura 3	0,73	0,56	76%	1,04	0,73	70%	
Faixa 3	Mistura 1	0,70	0,51	73%	1,00	0,72	72%	
	Mistura 2	0,61	0,27	45%	0,86	0,64	75%	
	Mistura 3	0,87	0,71	82%	1,13	0,82	73%	

Pode observar na Figura 4.12, onde estão lançados em gráfico os resultados obtidos com a realização dos ensaios de *Lottman*, que para a Mistura 2 de Ambas as Faixas Granulométricas o efeito da compactação por amassamento fez com que o limite preconizado pela AASHTO fosse atendido.

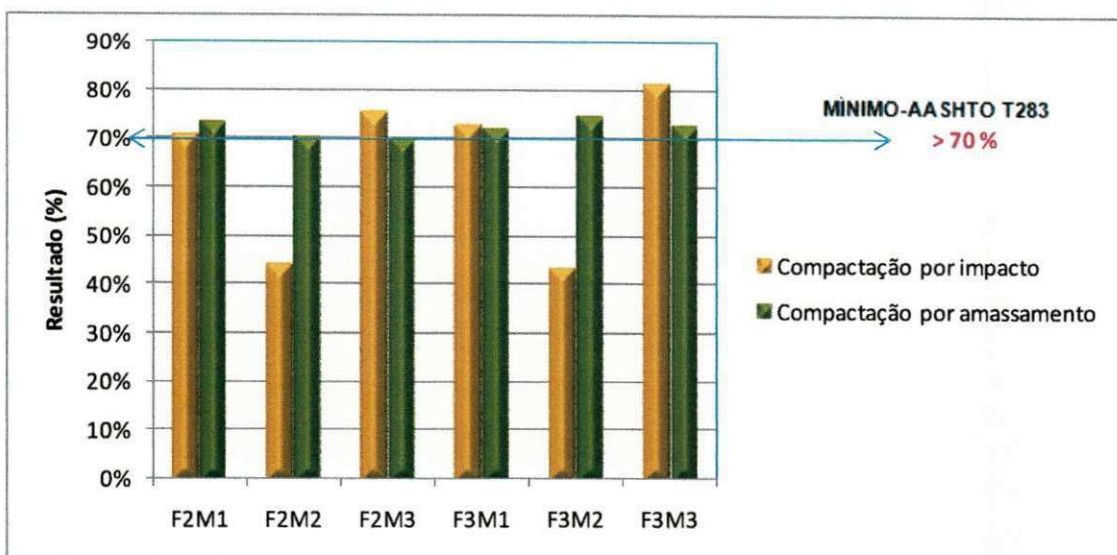


Figura 4.13 – Resultados Gráficos para o ensaio de Lottman para as Misturas Asfálticas.

Os resultados demonstraram que, para as misturas asfálticas inseridas na Faixa 2 e Faixa 3, quando compactadas por amassamento todas apresentaram valores satisfatórios segundo os critérios estabelecidos pela AASHTO (RRT > 70%), com um aumento de aproximadamente 30% para Mistura 2 da Faixa 2 e da Faixa 3 nos resultados de RRT em relação a compactação por impacto (Marshall).

As demais misturas asfálticas (Mistura 1 e Mistura 2 da Faixa 2 e da Faixa 3) permaneceram praticamente inalterados seus resultados de Lottman quando comparados os processos de compactação por impacto (Marshall) e amassamento (Superpave).

4.3.1.3 Ensaio de Módulo de Resiliência

Os resultados obtidos para as misturas asfálticas estão apresentados na Tabela 4.17 para os corpos de prova com teores de CAP de projeto que foram compactados por impacto (Marshall) e por amassamento (Superpave).

De acordo com Bernucci et al. (2007) valores típicos de misturas asfálticas a 25°C estão situados na faixa de 2.000 a 8.000 MPa. Os valores encontrados para as misturas asfálticas estão dentro do intervalo citado. Segundo David (2006) a análise do Módulo de Resiliência não pode ser feita de forma direta uma vez que ele está relacionado à rigidez da mistura. Valores maiores ou menores podem ser aceitos dependendo da estrutura do pavimento, **devendo ser considerada a compatibilidade de deformações entre as camadas que o constituem**, principalmente a camada de base.

Tabela 4.17 – Resultados do ensaio de Módulo de Resiliência.

RESULTADO DO ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA (TEOR DE CAP DE PROJETO)				
		COMPACTAÇÃO MARSHALL MR (MPa)	COMPACTAÇÃO SUPERPAVE MR (MPa)	RELAÇÃO SUPERPAVE/MARSHALL
Faixa 2	Mistura 1	2910	4917	68,97%
	Mistura 2	2365	3533	49,39%
	Mistura 3	3184	4722	48,30%
Faixa 3	Mistura 1	2050	3579	74,59%
	Mistura 2	2153	3123	45,05%
	Mistura 3	2506	3839	53,19%

Afirmar que, quanto maior o valor do Módulo de Resiliência, melhor o desempenho da mistura asfáltica pode não ser verdadeiro. As misturas asfálticas devem possuir resistência à ruptura por carregamento estático e “flexibilidade” suficiente para suportar as solicitações do tráfego e boa resistência à tração para evitar rupturas prematuras. Para Balbo (2007), a relação entre o valor de módulo de resiliência e a resistência à tração do material tem sido empregada simultaneamente em projetos de dosagens de misturas asfálticas.

Segundo Vasconcelos (2004), alguns pesquisadores acreditam que quanto menor a relação MR/RT maior será a vida de fadiga obtida pela mistura. Além disso, foi observado a partir da análise dessa relação que misturas com distribuição granulométrica enquadrada na Faixa 2 preconizadas pela INFRAERO tendem a apresentar uma menor vida de fadiga que as misturas da Faixa 3.

Pode-se observar na Tabela 4.18 que para todas as misturas houve um ganho significativo do módulo de resiliência com variação de 45% a 75%. Estes aumentos para as misturas compactadas por amassamento não gerou incrementos significativos na relação MR/RT. Em outras palavras, o ganho com o aumento da Resistência à Tração, que variou entre 25% a 51%, foi mais significativo quando comparado ao aumento da relação MR/RT (3% a 22%). Isto faz indicar que a compactação por amassamento, para as misturas estudadas, gera uma estrutura menos susceptível as fissuras por tração e conseqüentemente uma maior vida de fadiga (Figura 4.14).

Tabela 4.18 – Resultados da razão MR/RT das misturas asfálticas.

RELAÇÃO MR/RT (TEOR DE CAP DE PROJETO)									
		MARSHALL			SUPERPAVE			SUPERPAVE	
		R.T (MPa)	M.R. (MPa)	RELAÇÃO MR/RT	R.T (MPa)	M.R. (MPa)	RELAÇÃO MR/RT	Aumento da RT	Aumento da MR/RT
Faixa 2	Mistura 1	0,69	2910	4229,65	1,04	4917,00	4732,44	51%	12%
	Mistura 2	0,63	2365	3771,93	0,78	3533,00	4517,90	25%	20%
	Mistura 3	0,73	3184	4343,79	1,04	4722,00	4540,38	42%	5%
Faixa 3	Mistura 1	0,70	2050	2920,23	1,00	3579,00	3571,86	43%	22%
	Mistura 2	0,61	2153	3552,81	0,86	3123,00	3652,63	41%	3%
	Mistura 3	0,87	2506	2883,77	1,13	3839,00	3397,35	30%	18%

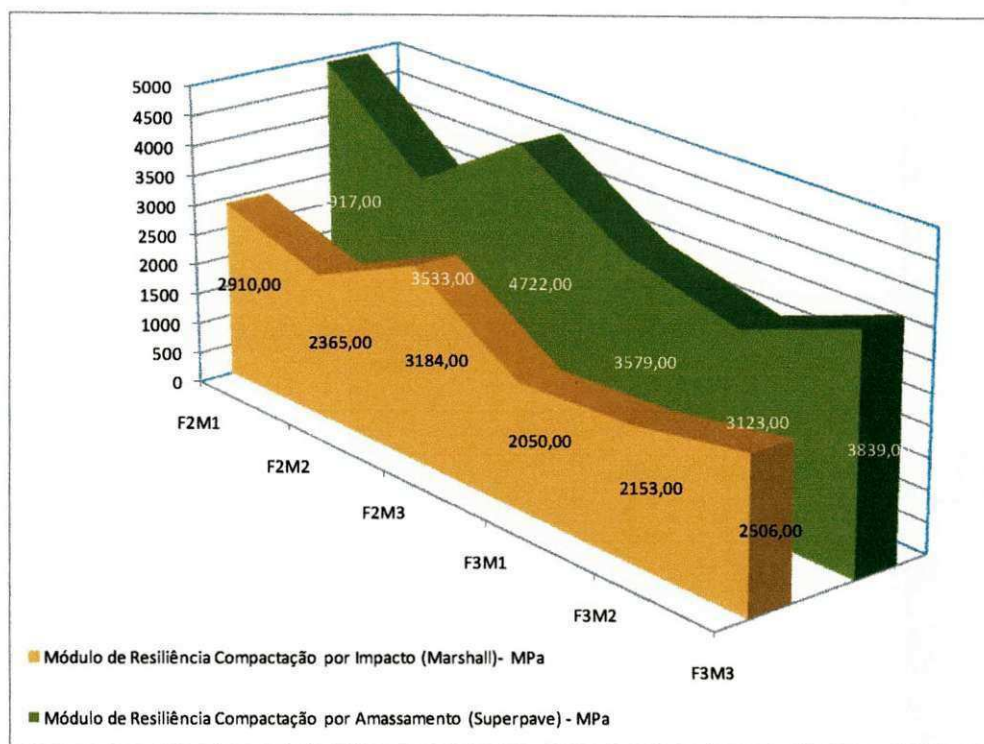


Figura 4.14 - Modulo de resiliência em função do tipo da mistura e da forma de compactação [Por impacto: Marshall; e por amassamento: Superpave].

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA AS FUTURAS PESQUISAS

5.1 Conclusões

Estes estudos indicam que o aumento dos *Módulos de Resiliência* de corpos de prova submetidos a compactação por amassamento foi salutar, uma vez que a resistência a tração por compressão diametral teve um incremento significativo. Com isso, para as pistas de pouso e de decolagem de aeroportos, a dosagem das misturas asfálticas compactadas por este processo conduzem a valores de *Módulos de Resiliência e de Resistência a Tração* mais compatíveis com relação aquelas compactadas por impacto. No entanto, vale salientar que, ao dimensionar uma estrutura de pavimento flexível, os projetistas devem considerar, principalmente, os níveis de deformações entre as camadas e suas compatibilidades.

Em se tratando de faixas granulométricas estudadas, verificou-se que as misturas asfálticas que apresentaram os melhores resultados foram aquelas compactadas por amassamento e que se enquadraram no requisito de “*pontos de controle*” e de “*zona de restrição*” do procedimento Superpave (Mistura 1 “intermediária” da Faixa 2 e da Faixa 3), o que corrobora para um estudo mais aprofundado sobre o enquadramento das faixas da INFRAERO em função desta nova metodologia, visto que a mesma foi desenvolvida para os padrões americanos. As misturas asfálticas que se encontram próxima a linha superior das Faixas preconizada pelas INFRAERO (Mistura 2 da Faixa 2 e da Faixa 3) apresentaram menos propícia a resistência máxima à compressão radial (Estabilidade máximo).

Referente aos parâmetros volumétricas, todas as misturas asfálticas para as faixas em estudo apresentaram resultados satisfatórios, cabe frisar que a partir das análises de comportamento mecânico foi possível observar que a Mistura 2, situada próxima ao limite superior da Faixa 2 e da Faixa 3 da Infraero apresentou resultados abaixo dos estabelecidos em relação as propriedades mecânicas quando compactadas por impacto (Marshall), o que a torna dentro das misturas estudadas a mais susceptível ao aparecimento de patologias prematuras, como corrugação, exsudação e escorregamento de massa.

Pode-se inferir, a partir deste experimento e da fundamentação teórica que, para a obtenção de uma mistura asfáltica com propriedades mecânicas satisfatórias é essencial considerar as propriedades físicas e de estado (volumetria) as quais estão diretamente relacionadas à distribuição granulométrica dos materiais que constituem a mistura e o tipo e o processo de compactação.

No que se refere à avaliação das propriedades mecânicas, o *Módulo de Resiliência* e a *Resistência a Tração*, de corpos de prova submetidos à Compressão por Tração Indireta com a verificação do dano por umidade induzida (*Lottman*), são parâmetros essenciais ao processo de dosagem de misturas asfálticas.

Como parâmetros inovadores, destacam-se o *Módulo "Dinâmico"* e o "*Flow Number*" obtidos a partir de carregamentos repetidos em corpos de prova submetidos à "*Compressão Triaxial*" e "*Creep Dinâmico*", com ou sem confinamento, respectivamente.

5.2 Sugestões para as futuras pesquisas

Com a finalidade de melhorar e dar continuidade e aprofundamento do objeto desta pesquisa sugere-se os seguintes temas:

- ✓ Efetuar um estudo de análise comparativa sobre as dosagens de misturas asfálticas para aeródromos utilizando-se as metodologias Marshall e Superpave.
- ✓ Analisar a influência da distribuição granulométrica dos materiais que compõem as misturas asfálticas e da temperatura sobre o Módulo de Resiliência e da Resistência a Tração.
- ✓ Estudar outras faixas granulométricas para misturas asfálticas da Aeronáutica para verificação das características mecânicas dos limites dessas.
- ✓ Realizar um estudo das estruturas ou esqueleto pétreo de misturas asfálticas com o auxílio do equipamento de "*Ultrason*" compactadas por impacto (Marshall) e por amassamento (Superpave).
- ✓ Realizar ensaios de "*Módulo Dinâmico*", de "*Creep dinâmico*" e de Fadiga para uma previsão de deformação permanente das misturas asfálticas compactadas por impacto (Marshall) e por amassamento (Superpave).
- ✓ Estudar a relações entre a macro e a micro estruturas, a distribuição granulométrica e as propriedades mecânicas de misturas asfálticas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO: AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T-283: Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage**. Washington, USA, 1989.

AASHTO: AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **Guide for Design of Pavements Structures**. Washington, 2001.

AASHTO: AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO MP 8-01: standard specification for designing Stone Matrix Asphalt (SMA)**. USA, 2005.

AASHTO: AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, Interim Edition: A Manual of Practice**. USA, 2008.

AASHTO: AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **Road Test Report 5, Pavement research, Ed. The Highway Research Board, NAS-NRC Division of Engineering and Industrial Research Special Report 61E**. Publicação n° 954, 1962.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 6508/84, Solo - Determinação da Massa Específica Aparente - Procedimento**. Rio de Janeiro: 1984.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados: Terminologia**. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR MB-517: Viscosidade Saybolt-Furol de emulsões asfálticas**. Rio de Janeiro.

ALDIGUERI D. R., SILVEIRA, M. A. e SOARES, J. B., **Estudo comparativo entre compactação manual e automática de misturas asfálticas**. Anais da 33ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Florianópolis, 2001.

AMARAL, S.C., **Estudos de Misturas Asfálticas Densas com Agregados do Estado do Pará, Utilizando Asfalto Convencional (CAP-40) e Asfalto Modificado Com Polímero SBS (Betuflex B 65/60)**. Dissertação de Mestrado, USP: Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos – SP, 2000.

ANDERSON, M. R., BOSLEY, R. D., CREAMER, P. A., **"Quality Management of HMA Construction Using Superpave Equipment: A Case Study"**. *Transportation Research Record 1513*, Transportation Research Board. pp. 18-24, Washington, D. C, 1995.

AKSOY, A. ; KURTULU, A. ; TAYFURC, S.; ÖZEN, H., **Effects of Various Additives on the moisture Damage Sensitivity of Asphalt Mixtures**. Construction and Building Materials. Elsevier Science Ltd. USA, 2004.

ALBUQUERQUE, A.P.F.; PINTO, S.; VIEIRA, A.; VENTORINI, L.A.; LOPES, L.A.S., **Influência da Energia de Compactação e da Temperatura de Moldagem nas Propriedades Mecânicas de orpos-de-prova de Concreto Asfáltico**. 35ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Rio de Janeiro, RJ,2004.

AL-SUHAIBANI,A.;MUDAIHEEM, J.; ALFOZAN,F., **Effect of filler type and content on properties of asphalt concrete mixes. Effects of aggregates and mineral filler on asphalt mixtures performance**. American Society for Testing and Materials, ASTM STP 1147, 1992.

AL-SWAILMI, S., TERREL, R.L. **Evaluation of Water Damage of Asphalt Concrete Mixtures Using the Environmental Conditioning System (ECS)**. Journal of Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 61. USA, 1992.

ASPHALT INSTITUTE. **Superpave Performance Graded Asphalt binder Specification and Testing. SUPERPAVE series No. 1 (SP -01)**. Lexington, 1997.

ASTM: American Society for Testing and Materials. **ASTM D4123-82(1995): Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures**.

ASTM: American Society for Testing and Materials (2000). **ASTM D 2041: Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures**.

BALADI, G.Y. Y HARICHANDRAN, R.S. (1989). **Asphalt Mix Design and the Indirect. Test: A new Horizon. Asphalt Concrete Mix Design: Development of More**.

BALBO, J.T., **Pavimentação Asfáltica: Materiais, Projetos e Restauração**. São Paulo, Oficina de Texto,2007.

BARATA, R.V., **Contribuição a Estudo de Propriedades Mecânicas dos Concretos de Alta Resistência com Utilização de Materiais Comumente Encontrados na Área Metropolitana de Belém**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará. Belém, 1998.

BARKSDALE, R.D. ALBA,J. **Laboratory Determination of Resilient modulus for flexible Pavement Design. Prepared for Nacional Cooperative Highway Research Program**. Georgia, 1997.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA,L.M .G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES,J.B., **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Petrobras, ABEDA, Rio de Janeiro, 2007.

- BEZERRA NETO, R. S., **Análise Comparativa De Pavimentos Dimensionados Através Dos Métodos Empírico Do DNER e Mecanístico e Proposta de um Catálogo Simplificado de Pavimentos para a Região de Campo Grande (Ms)**. Dissertação de Mestrado, Engenharia de Transportes, São Carlos, SP, 2004.
- BRANCO, V. T. F. C., **Caracterização de misturas asfálticas com o uso de escória de aciaria como agregado**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, Rio de Janeiro, 2004.
- BRIAN J. C. END KERA V., **Superpave Compaction**. Transportation Conference Proceedings, 1998.
- BRITO, L. A. T. **Avaliação e Análise Paramétrica do Ensaio de Compressão Diametral sob Cargas Repetidas em Misturas Asfálticas**. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre, 2006.
- BROWN, E.R. AND BROWNFIELD, J.R., **Investigation of Rutting and Segregation of Asphalt Mixtures in the State of Georgia**. Georgia Department of Transportation, 1989.
- BROWN, E. R. & CROSS, S.A., **Selection of Aggregate Properties to Minimize Rutting of Heavy Duty Pavements**. In: Meininger, R. C. (ed.) **Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture**. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1992.
- BUNCHER, M & DUVAL, J. P.E., **Superpave for Airports**. Instituto de Asfalto, 2003.
- BUKOWSKI, J. R. **Guidelines for design Superpave mixtures containing reclaimed asphalt pavements (RAP)**. Lexington, KY USA, .1994.
- CARDOSO, E. da R., **Estudo da Distribuição de Vazios em Misturas Asfálticas de Alto Desempenho do Tipo SMA utilizando Tomografia**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE. Rio de Janeiro, 2004
- CASTELO BRANCO, V. T. F., **Caracterização de Misturas Asfálticas com o Uso de Escória de Aciaria como Agregado**. Dissertação de M.Sc., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.
- CASTRO NETO, A. M., **Determinação da Densidade Máxima Teórica de Misturas Betuminosas**. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Salvador, v.1, 1996.
- CERATTI, J.A.P., RUWER, P.M & OLIVEIRA, J.A., **Estudo do comportamento mecânico de concreto asfáltico com ligante modificado por polímero**. In **130 Encontro de Asfalto, IBP Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás**, Rio de Janeiro, 1996.
- CLYNE, T.R.; LI, X.; MARASTEANU, M.O.; SKOK, E.L. **Dynamic and Resilient Modulus of MN/DOT Asphalt Mixtures**. Department of Civil Engineering – University of Minnesota, 2003.

CNT- Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa Rodoviária**. CNT/SEST/ SENAT, Florianópolis, 2006.

COELHO, V. **Considerações sobre o Método Marshall**. In: 26a Reunião Anual de Pavimentação, Aracaju, 1992.

COELHO, V. e SÓRIA, M. H. A., **Variabilidade dos Resultados do Método Marshall**. 11º Encontro de Asfalto, IBP, Rio de Janeiro, RJ, 1992.

COOLEY JR., L. A. **Permeability of Superpave Mixture Evaluation of field ermeameters**. Research Engineer, 98 National Center for Asphalt Technology, NCAT Report No. 99-1. Auburn Universit. Alabama, USA, 1999.

COMYNSKY, R.J., KOLLINGWORTH, B.M. et al. **Quality Control and Acceptance of SUPERPAVE Designed Hot Mix Asphalt**. National Cooperative Highway Research Program. Report 409, EUA, 1998.

COUTINHO N.B., **Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas**. 304 p. Tese (doutorado): Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

CROSS, S.A., **Experimental Cold In-Place Recycling with Hydrated Lime**." Transportation Research Record No. 1684, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., USA, 1999.

CURTIS, C. W., **Investigation of Asphalt-Agregate Interactions In Asphalt Pavements**, Chemical Eng Dept, Auburn University, USA, 1999.

D'ANGELO, J. A., PAUGH, C., HARMAN, T. P., et al, **Comparison of the Superpave Gyratory to Marshall for Field Quality Control**. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. Volume 64 . USA, 1995.

D'ANGELO, J. D. & ANDERSON, R. M., **Material Production, Mix Design, and Pavement Design Effects on Moisture Damage**. In: Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements, San Diego, Transportation Research Board, California, 2003.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 1996.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 003/99. Material Betuminoso – Determinação da penetração**. Rio de Janeiro, 1999.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ES 031/04. Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico** – Especificações de serviços, 2004.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 035/98. Agregados – Determinação da Abrasão Los Angeles**. Rio de Janeiro, 1998.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 043/95. Ensaio Marshall**. Rio de Janeiro, 1998.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 051/94. Solos – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1994.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 054/97. Equivalente de areia**. Rio de Janeiro, 1997.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 078/94. Agregado graúdo – Adesividade ao ligante betuminoso**. Rio de Janeiro, 1994.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 081/98. Agregados – Determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo**. Rio de Janeiro, 1998.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 083/98. Agregados – Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1998.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 084/95. Agregado miúdo – Determinação da densidade real**. Rio de Janeiro, 1995.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 093/94. Solos – determinação da densidade real**. Rio de Janeiro, 1994.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 133/94. Determinação do Módulo de Resiliência**. Rio de Janeiro, 1998.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 117/94. Mistura asfáltica – Determinação da densidade aparente**. Rio de Janeiro, 1994.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 138/94. Misturas betuminosas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral**. Rio de Janeiro, 1994.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 148/94. Material Betuminoso – Determinação do ponto de fulgor e de combustão**. Rio de Janeiro, 1994.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ME 213/94. Solos – Determinação do teor de umidade.** Rio de Janeiro, 1994.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **ES 313/97. Pavimentação – Concreto Betuminoso – Norma Rodoviária.** Rio de Janeiro, 1997.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, **EM 367/97, Material de Enchimento para Misturas Betuminosas,** Rio de Janeiro, 1997.

DNIT: Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos.** Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006, 314p.

ELPHINSTONE, G. M., **Adhesion and Cohesion in Asphalt – Aggregate Systems. Thesis of Doctor.** Texas, 1997.

EPPS, J., BERGER, E.; ANAGNOS, J.N. , **Treatments. In: Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements, In: Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements.** 2003. Anais. San Diego, Transportation Research Board. California, Estados Unidos, 2003.

FAA: Federal Aviation Administration, **Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements. Advisory Circular 150/5380-6A.** United State Department of Transportation. Washington, DC, 2003.

FAA: Federal Aviation Administration, **Airport Pavement Management System. Advisory Circular – AC 150/5380-7A.** Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation. Washington, DC, 2006.

FERNANDES JR., L.J. & GOUVEIA, L. T., **Efeitos Da Energia De Compactação Sobre O VAM e O RBV de Misturas Asfálticas.** 18º ENCONTRO DE ASFALTO, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, 2006.

FERNANDES, M. W. Q., **Utilização de Resíduos Sólidos no Estudo da Susceptibilidade à presença D'Água.** Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil e Ambiental, UFCG, 2007.

FURLAN, A. P., SANTOS, C. R. G. ; GIGANTE, A. C. ; FABBRI, G. T. , **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.

GIGANTE, A.C., **Avaliação da susceptibilidade térmica e do efeito das condições ambientais no enrijecimento de misturas asfálticas densas à luz de seus comportamentos resilientes.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, São Carlos, 2007.

GONTIJO, P.R.A., **Fadiga de Misturas Betuminosas. Condição Essencial no Desenvolvimento Racional de Pavimentos Flexíveis.** In 15 Reunião Anual de Pavimentação. Belo Horizonte, 1980.

GOUVEIA, L.T.; FURLAN, A.P.; PARREIRA, A. B.; FERNANDES JUNIOR, J. L. ; FABBRI, G. T. P. F. **Considerações acerca da Absorção de Asfalto pelos Agregados e sua Influência na Suscetibilidade à Umidade.** In ANPET- Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes ,2004.

HARMAN, T.; BUKOWSKI, J. R; MONTIER F., et al, **The History and Future Challenges of Giratory Compaction 1939 to 2001.** In: Transportation Research Board – TRB. Washington, USA, 2002.

HICKS ,R. G.; SANTUCCI, L; ASCHENBRENER, T., **Introduction and Seminar Objectives., In: Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements.** Anais. San Diego, Transportation Research Board, California, Estados Unidos, 2003.

HISLOP, W.P.; COREE, B. J., **VMA as a Design Parameter in Hot-Mix Asphalt.** Mid-Continent Transportation Symposium Proceedings, p. 24-29, 2000.

IBP: Instituto Brasileiro de Petróleo. **Informações Básicas sobre Materiais Asfálticos.** IBP/Comissão de Asfalto. 6 ed. rev. Rio de Janeiro, 1999.

ICAO: Organización de Aviación Civil Internacional. **Manual-Guía de Administración del Mantenimiento de la Infraestructura Aeropuaria.** Edición preliminar, Montreal, Canada, 1997.

ICAO: Organización de Aviación Civil Internacional. **Manual de servicios de aeropuertos. Parte 2. Estado de la superficie de los pavimentos.** Cuarta edición. Organización de Aviación Civil Internacional. Montreal, 2002.

ICAO: Organización de Aviación Civil Internacional. **Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. Aerodrome. International Civil Aviation Organization.** 4th Edition. Montreal, Canada, 2004.

INSTITUTO DO ASFALTO, **“Manual de Asfalto”.** LEXINTON, KY E.U.A., 1989, rev. 2002, editora Petrobras, Brasil.

INFRAERO: Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. **Estatística Operacional do Aeroporto Internacional Pinto Martins.** Fortaleza, CE, 2008.

KANDHAL,P.S; COLLEY JR., **Coarse Versus Fine-Graded Superpave Mixtures Comparative Evaluation of Resistance To Rutting**, 81th Annual Meeting of Transportation Research Board. Washington, USA.

KHANAL, P. P.; MAMLOUK M. S., **Tensile Versus Compressive Moduli of Asphalt Concrete**. Transportation Research Record, 1995.

KIM, Y. & LUTIF, J. S., **Material Selection and for Moisture Damage Design Consideration of Asphalt Pavement**. Nebraska Department of Roads. NDOR Research Project Number P564. USA, 2006.

LEAL, C. L. D. & CASTRO, P. F., **Concreto Asfalto: Utilização de Resíduos como Filer**, In : 35ª Reunião Anual de Pavimentação, Rio de Janeiro, 2000.

LEAHY, R. B., MCGENNIS,R. B., **Asphalt Mixes Materials Design and Characteriztion**. Journal of the Association of Asphalt Paving Tecnologist, 1999.

LEE,K.W; BRAYTON,T.E.; VEYERA,G.;HUFFMAN,J.; HARRINGTON,J., **Modified Superpave Mix Design for Cold In Place Recycling Asphalt Mixtures**, 2nd International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control. Auburn Alabama, USA, 2001.

LEITE et al., **Princípios do Projeto e Análise SUPERPAVE de Misturas Asfálticas**. Petróleo Brasileiro S.A – PETROBAS, Rio de Janeiro ,1996.

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

LEITE, L., SILVA, P. D. E. A., BORGES, P. e RIBEIRO, R. C. C., **Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas quanto ao Deslocamento**. Relatório Técnico, CEMPES. Rio de Janeiro, 2003.

LIBERATORI, L.A. & CONSTANTINO, R.S., **Melhoradores de Adesividade para Misturas Asfálticas – Estado da Arte**. In 18º Encontro de Asfalto. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, Rio de Janeiro,2006.

LIMA, R. X. et al , **Pesquisa Operacional: Aplicações à Engenharia Rodoviária**. 32ª Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação - ABPv, Brasília, Brasil, 2000.

LIMA, F. C. de A. A., **Resíduo Proveniente do Corte de Rochas Ornamentais: uma Alternativa de Utilização na Pavimentação**. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande, 2003

LYTTON, R. L., **Adhesive Fracture in Asphalt Concrete Mixtures**. Capítulo de Livro editado por J.Youtcheff. USA, 2004.

LUCENA, L.C.F.L, **Verificação Da Influência Do Uso De Resíduos Industriais Como Filer Em Misturas Asfálticas Sob O Efeito Da Presença D'Água**. Dissertação de Mestrado, UFCG. Engenharia Civil, Campina Grande. 2009.

LOMBARDI, B. Du Pétrôle Bruta au Bitume: **La Longue Marche**. Revue Générale des Routes et des Aérodomes, n.707, p. 25-28, 1983.

MAGALHÃES, S.T., **Misturas Asfálticas de Módulo Elevado para Pavimentos de Alto Desempenho**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE. Rio de Janeiro, 2004.

MANUAL DE ASFALTO: Instituto de Asfalto. Série do Manual N° 4 (MS-4), 1989.

MARQUES, G. L.O. , **Utilização do Módulo de Resiliência como Critério de Dosagem de Mistura Asfáltica; Efeito da Compactação por Impacto e Giratória**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, Rio de Janeiro, 2004.

MARQUES, G.L.O., MOTTA, L.M.G., LEITE, L.M., et al. ., **“Exemplos de Dosagem Superpave no Brasil”**. In: 33ª Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação, Florianópolis-SC, 2001.

MASAD, E; T. AL-ROUSAN; J.BUTTON; D.LITTLER and E.TUTUMLUER, **Test Methods for Characterizing Aggregate Shape Texture and Angularity NCHRP, Final Report**. Transportations Research Board, National Research council, 2005.

MEDEIROS JR, M. S. Caracterização **Mecânica de Misturas Asfálticas por Melo de Módulo Dinâmico**. Dissertação de Mestrado, PETRAN/UFC, Fortaleza, 2006.

MEDEIROS, D. F. de , **Influência Da Granulometria Nas Características Mecânicas De Misturas Asfálticas Para Aeródromos**. Dissertação de Mestrado, UFCG. Engenharia Civil, Campina Grande. 2009.

MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G. **Resilient behavior of Brazillian tropical soils in pavement design**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PAVEMENT EVALUATION AND OVERLAY DESIGN, 2., 1989, Rio de Janeiro. Proceedings... Rio de Janeiro: ABPv, 1989. v. 1, p. 1.1.1-22. . **Mecânica dos pavimentos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

MEDINA, J. , **Mecânica dos Pavimentos**, COPPE-UFRJ, editora UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.

MELO, V. S. & RODRIGUES, J. K. G., **Estudo do Efeito da Compactação Manual e Automática sobre os Resultados dos Ensaios Marshall e Lottman**. 19° ENCONTRO DE ASFALTO, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, 2008.

MENDEZ, J.D., **Análisis Comparativo de Modulo Resiliente y Ensayos de Deformación Permanente em Mezclas Asfálticas Del tipo (MDC2) em Briquetas Compactadas com Martillo Marshall y Compactor Giratorio**. Pontificia Universidade Javeriana, Facultad de Ingenieria, Bogotá, 2005.

MERIGHI ,J.V. & FORTES,M. R., **Dimensionamento de Pavimentos Rígido e Flexível para Aeroportos Método FAA**. Notas de Aula 2006.

MOHAMED, E. H., **Debonding Location in Asphalt Concrete Associated with Moisture Damage**. Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE, Vol. 5, No. 4, pp.497-509, 1993.

MOMM, L., **Estudo dos efeitos da Granulometria sobre a macrotextura superficial do Concreto Asfáltico e seu comportamento mecânico**. Tese de doutorado. Escola Politecnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

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 Carina, Florianópolis, 2004.

MOTTA, L. M. G., **Contribuição para a Estimativa do Módulo Resiliente de Misturas Asfálticas**. In: 14° Encontro de Asfalto, Instituto Brasileiro do Petróleo, Rio de Janeiro, 1998.

MOTTA, L. M. G., MEDINA, J. de ; SCALCO, R. C. ., **O Projeto Estrutural de Pavimentos Flexíveis e a Dosagem de Misturas Asfálticas**. In Reunião Anual de Pavimentação - ABPv . Teresina, 1993.

MOTTA, L. M. G. & PINTO, S., **O Uso de Ensaios Estáticos na Definição de Parâmetros de Comportamento de Misturas Asfálticas**. In 12° Encontro de Asfalto. Rio de Janeiro, 1994.

MOTTA, L. M. G.; Tonial, I.; Leite, L. M., et al, **Princípio do Projeto e Análise. Tradução comentada da publicação FHWSA- SUPERPAVE de Misturas Asfálticas 95-003**. Federal Highway Administration, Instituto Brasileiro do Petróleo. Rio de Janeiro, 1996.

MOTTA, R. S., **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. SP, 2005.

- MOURA, E. de, **Estudo do Efeito de Aditivos Químicos e da Cal como Melhoradores de Adesividade em Misturas Asfálticas Densas**. Dissertação de Mestrado. EPUSP-USP. São Paulo, 2001.
- MOURÃO, F. A. L., **Misturas Asfálticas de Alto Desempenho**. Dissertação de Mestrado. COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
- NASCIMENTO, L.; LEITE, L.; CAMPOS, E.F.; MARQUES, G.; MOTTA, L. **Uso da tomografia computadorizada e de imagens digitais para o estudo de misturas asfálticas**. ENCONTRO DO ASFALTO, 18., 2006, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: IBP, 2006.
- NEVES FILHO, A. S., **Avaliação da Adição de Dopes no Comportamento de Misturas Asfálticas a Quente**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2006.
- NICHOLSON, V. Proc., **Association of Asphalt Paving Technologists**. 1932.
- NCHRP REPORT 465, Simple Performance Test for Superpave Mix Design**, National Academy Press Washington, D.C., 2002.
- NSMA 85-2**: Norma de Infra Estrutura Ministério da Aeronáutica, 1985.
- OLIVEIRA, C.G.M, **Estudo das Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2003.
- 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.
- OLIVEIRA FILHO, C. M.S. & SOARES, J. B. **Adesão e Coesão em Misturas Asfálticas (Melhoradores de Adesividade, Ligantes Modificados e Intertravamento)**. In XX ANPET. Brasília, 2006.
- OLIVEIRA, P.M.F, **Caracterização Mecânica de Misturas betuminosas preparadas com asfalto-polímero**. Dissertação de mestrado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 1997.
- PAIVA, C.E.L & SILVA, C.E.D.B.D, **Estudo da Permeabilidade de Misturas Betuminosas**. In: 34ª Reunião 104 Anual de Pavimentação, 2003. Campinas, 2003.
- PINTO, S.; PREUSSLER, E. S., **Módulos de Resiliência de Concreto Asfálticos**, IN: 5º Encontro de Asfalto, Rio de Janeiro, Anais, 52p, 1980.

PINTO, S., **Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicações na Avaliação Estrutural de Pavimentos**. Tese de Doutorado, COPPE / UFRJ, Engenharia Civil, Rio de Janeiro 1991.

PINTO, S. & PREUSSLER, E. S. **Pavimentação Rodoviária: Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis**. Copiarte, 2 ed. Rio de Janeiro, 2002.

PINTO, S., **Materials Betuminosos**, IME, Departamento de Engenharia de Fortificação e Construção - DE/2. Rio de Janeiro 2004.

REIS, Rafael M.I M., **Revestimento Asfáltico Tipo SMA para Alto Desempenho em Vias de Tráfego Pesado**. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

REZENDE, L.R. **Estudo do comportamento de materiais alternativos utilizados em estruturas de pavimentos flexíveis**. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília. Brasília, 1999.

RIBEIRO, R. C. C., **Uses of Granite Fines in Asphalt Production: A Form of Clean Technology. Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology**. REWAS 2004, Vol 1. Madri, Espanha, 2006.

RIEDEL, W., & WEBER, H. **Asphalt and Teer**. USA, 1934.

ROBERTS, F. L.; KANDHAL, P. S.; BROWN, E. R.; LEE, D.Y.; KENNEDY, T.W.; **Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, NAPA Educational Foundation**. Lanham, Maryland, 1996

ROBERTS, F. L. et al., **Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction**. Napa Research and Education Foundation, Second Edition, Maryland, USA, 1996.

ROHDE, L., **Estudo de Misturas Asfálticas de Módulo Elevado para Camadas Estruturais de 105 Pavimentos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

SAVILLE, V., & AXON, E. **Adhesion of Asphaltic Binders to Mineral Aggregates**. Association of Asphalt Paving Technologists. Proceedings of the Technical Sessions. USA, 1937.

SCHMIDT, R.J.; GRAFF, P.E.; **The Effect of Water on the Resilient Modulus of Asphalt Treated Mixes**. Proc., Association of Asphalt Paving Technologists. Vol. 41, pp. 118-162, 1972

SCHMITT, R. L.; HANNA, A. S.; RUSSEL, J. S.; NORDHEIM, E. V., **Pavement Density Measurement Comparative Analysis using Core and Nuclear Methods**. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, v. 66, p. 379-406, 1997.

SEBAALY, P.E., **Evaluation of Moisture Sensitivity Properties of Adot Mixtures on US 93**. Final Report. Arizona Department os Transportation. Arizona, 2001.

SENÇO, W., **Manual de Técnicas de Pavimentação**. Vol-II, 1ed, São Paulo, PINE, 2001.

SHELL, **The Shell bitumen handbook**. 5. ed. Cambridge, 2003.

SIDDIQUI, Z. et al., **Variables Affecting Marshall Test Results**. Trasportation Research Record. Washington, 1998.

SHRP-A-341 – **Strategic Highway Research Program, National Research Council, Fundamental Properties of Asphalt- Aggregate Interactions Including Adhesion and Absorption**. Washington, USA, 1993.

SOLAIMANIAN, M.; J. HARVEY; M. TAHMORESSI e V. TANDON. **Test Methods to Predict Moisture Sensitivity of Hot-Mix Asphalt Pavements**. Topic 3.

TANDON, V. et al., **Test Methods to Predict Moisture Sensitivity of Hot-Mix Asphalt Pavements**. In: **Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements**. Anais. Transportation Research Board. California, Estados Unidos, 2003

USACE Hot-Mix Asphalt Paving. **Handbook**. American Association of State Highway and Transportation Officials, Federal Aviation Administration, Federal Highway Administration, National Asphalt Pavement Association, US Army Corps of Engineers, American Public Works Association, National Association of County Engineers. USA, 2000.

VASCONCELOS, K.L et al. **Avaliação Do Dano Por Umidade Induzida E Da Recuperação De Trincas Em Mástique**. In : 18o Encontro de Asfalto – IBP. Rio de Janeiro, 2006.

VASCONCELOS, K. L., **Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas a Quente Dosadas pelas Metodologias Marshall e Superpave com Diferentes Granulometrias**. Dissertação de Mestrado, PETRAN/UFC, Fortaleza, CE, 2004.

WATSON, L.T.; LOHANI, V. K.; KIBLER, D.F.; DYNOND, R.L.; N.RAMAKRISHNAN, N.; SHAFFER, C.F. **Integrated Computing Environments for Watershed Management**. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v.16, n.4, p. 259-268, 2002.

WHITE, T.D. **Marshall Procedures For Design And Quality Control Of Asphalt Mixtures**. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists Technical Sessions, San Antonio, v. 54, 1985.

Witczak, M. W e R. E. Root, **Summary of Complex Modulus Laboratory Test Procedures and Results**. American Society for Testing and Materials, pp. 67-94, 1974.

WOODS, K.B. **Highway engineering handbook**. New York: McGraw Hill, 1960.

YODER, E. J. e WITCZAK, M. W., **Principles of Pavement Design**. 2 nd Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA, 1975.

ZANIEWSKI, J. P. & NELSON, J., **Comparison Of 95 Mm Superpave Andmarshall Wearing I Mixes In West Virginia**. Department of Civil and Environmental Engineering Morgantown, West Virginia June, 2003.

ZHANG, J.; COOLEY JR, L. A.; HURLEY, G.; PARKER, F., **Effect of Superpave Defined Restricted Zone on Hot Mix Asphalt Performance**. 83th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, 2004.

ANEXOS

ANEXOS

Constam as planilhas de cálculo para as misturas asfálticas resultante dos experimentos realizados nessa pesquisa.

Anexo A – Ensaio Marshall

Constam as planilhas de cálculo para as misturas asfálticas resultante dos experimentos realizados segundo metodologia Marshall.

Anexo B – Ensaio com o auxílio do pórtico de Lobo Carneiro

Constam as planilhas de cálculo para as misturas asfálticas resultante dos experimentos do ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral e do ensaio de Lottman, realizados com o auxílio do pórtico de Lobo Carneiro.

Anexo C – Módulo Resiliência

Constam as planilhas de cálculo para as misturas asfálticas resultante do ensaio de Módulo de Resiliência conforme a ASTM D4123-83.

Anexo D – Compactação por Amassamento (Superpave)

Constam as planilhas de cálculo para as misturas asfálticas resultante da compactação por amassamento (Superpave).

ANEXO A

Ensaio Marshall

Constam as planilhas de cálculo resultante dos experimentos realizado seguindo a metodologia Marshall.

QUADRO A.1 – Planilha de cálculo do ensaio Marshall para a Mistura 1 da Faixa 2.

DOSAGEM MARSHALL - FAIXA 2 MISTURA 1																	
CORPO DE PROVA	% DE LIGANDE DA MISTURA	Altura	Peso		VOLUME	Peso Especifico		Volume de Vazios	RELAÇÃO DO AGRAGADO MINERAL - VAM	RELAÇÃO BETUME/VAZIOS - RBV	Leitura do Deflect.	Estabilidade			Fluência		
		cm	NO AR	NA ÁGUA	cm³	APAR.	TEÓR.					LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	mm		
			g	g												Kg	Kg
1	3,5	6,48	1.196,7	691,0	505,7	2,37	2,473	4,31	12,38	65,16	770	1519,21	0,96	1458,44	4,00		
2		6,45	1.189,2	682,0	507,2	2,34	2,473	5,19	13,18	60,61	665	1312,05	0,96	1259,56	4,00		
3		6,62	1.196,5	690,0	506,5	2,36	2,473	4,48	12,53	64,25	480	947,04	0,96	909,16	6,00		
1	4,0	6,48	1.190,5	685,5	505	2,36	2,456	4,00	13,18	69,66	605	1193,67	0,98	1163,82	6,00		
2		6,41	1.185,5	682,6	502,9	2,36	2,456	4,00	13,12	69,63	745	1469,89	0,98	1433,14	4,00		
3		6,48	1.185,7	678,4	507,3	2,34	2,456	4,82	13,92	65,38	620	1223,26	0,98	1192,68	4,00		
1	4,5	6,46	1.191,9	687,3	504,6	2,36	2,438	3,10	13,44	76,98	910	1795,43	1,00	1795,43	6,00		
2		6,33	1.197,7	685,2	512,5	2,34	2,438	4,12	14,36	71,25	840	1657,32	1,00	1657,32	4,00		
3		6,31	1.186,9	690,0	496,9	2,39	2,438	2,01	12,47	83,91	990	1953,27	1,00	1953,27	5,00		
1	5,0	6,44	1.191,1	684,0	507,1	2,35	2,421	2,96	14,4	79,42	790	1558,67	0,99	1543,08	4,90		
2		6,44	1.191,7	685,0	506,7	2,35	2,421	2,84	14,29	80,14	690	1361,37	0,99	1347,76	4,60		
3		6,37	1.189,5	683,0	506,5	2,35	2,421	2,98	14,11	79,33	580	1144,34	0,99	1132,90	6,06		
1	5,5	6,57	1.188,2	687,0	501,2	2,37	2,403	1,34	14,04	90,44	350	690,55	0,96	662,93	5,70		
2		6,48	1.194,1	690,4	503,7	2,37	2,403	1,34	14,04	90,43	500	986,50	0,96	947,04	4,35		
3		6,46	1.179,9	679,6	500,3	2,36	2,403	1,85	14,48	87,2	505	996,37	0,96	956,51	4,70		

QUADRO A.2 – Planilha de cálculo do ensaio Marshall para a Mistura 2 da Faixa 2.

DOSAGEM MARSHALL - FAIXA 2 MISTURA 2															
CORPO DE PROVA	% DE LIGANDE DA MISTURA	Altura	Peso		Volume	Peso Especifico		Volume de Vazios	RELAÇÃO DO AGRAGADO MINERAL - VAM	RELAÇÃO BETUME/VAZIOS - RBV	Leitura do Deflect.	Estabilidade			Fluência
		cm	NO AR	NA ÁGUA	cm ³	APAR.	TEOR.					LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	mm
			g	g		g	g					Kg	Kg	Kg	
1		7,10	1.185,4	632,0	553,4	2,14	2,46	12,94	20,24	36,07	210	414,33	0,85	352,18	3,35
2	3,5	7,02	1.189,8	640,5	549,3	2,17	2,46	11,97	19,35	38,15	315	621,50	0,85	528,27	3,10
3		7,06	1.185,2	635,9	549,3	2,16	2,46	12,31	19,66	37,4	250	493,25	0,85	419,26	2,80
1		6,80	1.190,2	665,7	524,5	2,27	2,443	7,11	15,95	55,41	530	1045,69	0,89	930,66	2,70
2	4,0	6,73	1.177,9	657,0	520,9	2,28	2,443	7,44	16,25	54,21	520	1025,96	0,89	913,10	5,90
3		6,90	1.203,6	670,0	533,6	2,26	2,443	7,67	16,46	53,39	610	1203,53	0,89	1071,14	3,10
1		6,83	1.192,0	675,0	517,0	2,31	2,425	4,94	15,04	67,17	560	1104,88	0,90	994,39	4,50
2	4,5	6,78	1.190,2	673,5	516,7	2,3	2,425	5,02	15,11	66,79	555	1095,02	0,90	985,51	2,40
3		6,81	1.188,3	672,0	516,3	2,3	2,425	5,10	15,19	66,4	550	1085,15	0,90	976,64	4,17
1		6,72	1.186,0	674,1	511,9	2,32	2,408	3,80	15,08	74,79	510	1006,23	0,93	935,79	2,50
2	5,0	6,71	1.188,2	679,5	508,7	2,34	2,408	3,02	14,39	79,03	520	1025,96	0,93	954,14	3,30
3		6,59	1.185,3	681,2	504,1	2,35	2,408	2,37	13,82	82,85	590	1164,07	0,93	1082,59	3,70
1		6,53	1.182,7	660,0	522,7	2,26	2,377	4,80	15,92	71,64	400	789,20	0,92	726,06	4,20
2	5,5	6,76	1.180,2	664,0	516,2	2,29	2,377	3,80	16,05	76,3	403	795,12	0,92	731,51	3,50
3		6,87	1.189,2	667,8	521,4	2,28	2,377	4,04	16,25	75,17	360	710,28	0,92	653,46	3,80

QUADRO A.3 – Planilha de cálculo do ensaio Marshall para a Mistura 3 da Faixa 2.

DOSAGEM MARSHALL - FAIXA 2 MISTURA 3															
CORPO DE PROVA	% DE LIGANDE DA MISTURA	Altura	Peso		Volume	Peso Especifico		Volume de Vazios	RELAÇÃO DO AGRAGADO MINERAL - VAM	RELAÇÃO BETUME/VAZIOS - RBV	Leitura do Deflect.	Estabilidade			Fluência
		cm	NO AR	NA ÁGUA	cm³	APAR.	TEOR.					LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	mm
			g	g		Kg	Kg								
1	3,5	6,65	1.171,2	660,3	510,9	2,29	2,475	7,37	15,19	51,44	270	532,71	0,92	490,09	2,87
2		6,66	1.183,7	667,5	516,2	2,29	2,475	7,35	15,16	51,54	320	631,36	0,92	580,85	2,18
3		6,78	1.189,6	665,0	524,6	2,27	2,475	8,38	16,1	47,99	325	641,23	0,92	589,93	4,63
1	4,0	6,55	1.199,2	684,0	515,2	2,33	2,457	5,27	14,34	63,22	460	907,58	0,94	848,59	3,20
2		6,63	1.183,5	669,9	513,6	2,3	2,457	6,22	15,2	59,05	260	512,98	0,94	479,64	3,65
3		6,76	1.185,5	677,3	508,2	2,33	2,457	5,07	14,15	64,2	260	512,98	0,94	479,64	5,30
1	4,5	6,54	1.195,7	681,0	514,7	2,32	2,424	4,18	14,36	70,89	411	810,90	0,96	778,47	5,90
2		6,53	1.196,8	678,3	518,5	2,31	2,424	4,79	14,91	67,84	441	870,09	0,96	835,29	4,93
3		6,49	1.197,0	687,5	509,5	2,35	2,424	3,10	13,39	76,88	490	966,77	0,96	928,10	5,75
1	5,0	6,44	1.191,9	688,3	503,6	2,37	2,408	1,69	13,22	87,19	447	881,93	1,00	881,93	5,05
2		6,40	1.196,5	694,4	502,1	2,38	2,408	1,02	12,62	91,93	496	978,61	1,00	978,61	4,90
3		6,29	1.193,1	690,9	502,2	2,38	2,408	1,32	12,89	89,76	577	1138,42	1,00	1138,42	5,40
1	5,5	6,38	1.193,6	694,9	498,7	2,39	2,39	0,56	12,69	101	418	824,71	0,98	808,22	8,30
2		6,43	1.193,8	692,5	501,3	2,38	2,39	0,38	13,13	97,14	460	907,58	0,98	889,43	5,40
3		6,53	1.193,7	686,9	506,8	2,36	2,39	1,46	14,08	89,6	444	876,01	0,98	858,49	6,90

QUADRO A.4 – Planilha de cálculo do ensaio Marshall para a Mistura 1 da Faixa 3.

DOSAGEM MARSHALL - FAIXA 3 MISTURA 1															
CORPO DE PROVA	% DE LIGANDE DA MISTURA	Altura	Peso		Volume	Peso Específico		Volume de Vazios	RELAÇÃO DO AGRAGADO MINERAL - VAM	RELAÇÃO BETUME/VAZIOS - RBV	Leitura do Deflect.	Estabilidade			Fluência
		cm	NO AR	NA ÁGUA	cm³	APAR.	TEOR.					LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	mm
			g	g		g	g								
			Kg	Kg											
1	3,5	6,70	1.190,4	639,0	551,4	2,16	2,471	12,64	20,00	36,73	180	355,14	0,93	330,28	4,95
2		6,70	1.183,5	641,0	542,5	2,18	2,471	11,73	19,16	38,80	256	505,09	0,93	469,73	5,30
3		6,67	1.188,9	648,4	540,5	2,20	2,471	10,99	18,49	40,54	290	572,17	0,93	532,12	5,00
1	4,0	6,84	1.194,5	645,0	549,5	2,17	2,454	11,41	19,87	42,00	333	657,01	0,94	617,59	3,60
2		6,63	1.189,4	648,5	540,9	2,20	2,454	10,38	18,95	45,20	330	651,09	0,94	612,02	4,20
3		6,64	1.185,1	634,0	551,1	2,15	2,454	12,36	20,74	40,39	332	655,04	0,94	615,73	4,75
1	4,5	6,40	1.192,9	675,2	517,7	2,30	2,436	5,40	15,50	65,14	670	1321,91	1,00	1321,91	3,80
2		6,37	1.189,0	668,0	521,0	2,28	2,436	6,31	16,31	61,31	630	1242,99	1,00	1242,99	5,03
3		6,33	1.195,7	682,1	513,6	2,33	2,436	4,42	14,63	69,75	678	1337,69	1,00	1337,69	6,10
1	5,0	6,46	1.194,9	678,1	516,8	2,31	2,419	4,41	15,66	71,86	490	966,77	0,99	957,10	6,70
2		6,37	1.193,5	677,2	516,3	2,31	2,419	4,43	15,68	71,77	575	1134,48	0,99	1123,13	4,00
3		6,35	1.194,1	685,4	508,7	2,35	2,419	2,95	14,38	79,48	720	1420,56	0,99	1406,35	4,21
1	5,5	6,49	1.189,7	667,4	522,3	2,28	2,374	4,06	16,26	75,02	414	816,82	0,96	784,15	5,35
2		6,57	1.185,0	662,1	522,9	2,27	2,374	4,55	16,69	72,73	435	858,26	0,96	823,92	6,00
3		6,47	1.188,2	661,9	526,3	2,26	2,374	4,91	17,00	71,11	570	1124,61	0,96	1079,63	4,60

QUADRO A.5 – Planilha de cálculo do ensaio Marshall para a Mistura 2 da Faixa 3.

DOSAGEM MARSHALL - FAIXA 3 MISTURA 2																	
CORPO DE PROVA	% DE LIGANDE DA MISTURA	Altura	Peso		Volume	Peso Específico		Volume de Vazios	RELAÇÃO DO AGRAGADO MINERAL - VAM	RELAÇÃO BETUME/VAZIOS - RBV	Leitura do Deflect.	Estabilidade			Fluência		
		cm	NO AR	NA ÁGUA	cm³	APAR.	TEÓR.					LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	mm		
			g	g												Kg	Kg
1		6,84	1.186,9	630,9	556,0	2,13	2,456	13,09	20,36	35,73	225	443,93	0,89	395,09	4,30		
2	3,5	6,84	1.186,0	630,1	555,9	2,13	2,456	13,14	20,41	35,63	208	410,38	0,89	365,24	5,35		
3		6,87	1.186,9	630,0	556,9	2,13	2,456	13,23	20,49	35,45	230	453,79	0,89	403,87	2,95		
1		6,68	1.191,7	649,7	542,0	2,20	2,439	9,85	18,42	46,50	350	690,55	0,93	642,21	4,60		
2	4,0	6,68	1.195,0	650,0	545,0	2,19	2,439	10,10	18,64	45,82	425	838,53	0,93	779,83	1,75		
3		6,58	1.188,9	650,4	538,5	2,21	2,439	9,48	18,08	47,56	428	844,44	0,93	785,33	4,15		
1		6,60	1.193,4	659,3	534,1	2,23	2,421	7,71	17,51	55,93	458	903,63	0,95	858,45	5,10		
2	4,5	6,55	1.190,2	658,6	531,6	2,24	2,421	7,53	17,34	56,58	512	1010,18	0,95	959,67	5,45		
3		6,52	1.196,5	661,0	535,5	2,23	2,421	7,72	17,51	55,92	461	909,55	0,95	864,08	5,00		
1		6,53	1.196,6	679,1	517,5	2,31	2,405	3,84	15,10	74,57	560	1104,88	0,96	1060,68	5,65		
2	5,0	6,49	1.192,9	677,9	515,1	2,32	2,405	3,69	14,96	75,35	585	1154,21	0,96	1108,04	4,70		
3		6,56	1.193,0	675,5	517,5	2,31	2,405	4,13	15,35	73,11	565	1114,75	0,96	1070,16	6,00		
1		6,84	1.185,8	669,0	510,8	2,29	2,37	3,18	15,47	79,44	300	591,90	0,90	532,71	6,00		
2	5,5	6,68	1.161,0	657,8	503,2	2,31	2,37	2,64	15,00	82,38	298	587,95	0,90	529,16	4,50		
3		6,81	1.176,1	667,5	508,6	2,31	2,37	2,42	14,81	83,63	276	544,55	0,90	490,09	5,60		

QUADRO A.6 – Planilha de cálculo do ensaio Marshall para a Mistura 3 da Faixa 3.

DOSAGEM MARSHALL - FAIXA 3 MISTURA 3																	
CORPO DE PROVA	% DE LIGANDE DA MISTURA	Altura	Peso		Volume	Peso Especifico		Volume de Vazios	RELAÇÃO DO AGRAGADO MINERAL - VAM	RELAÇÃO BETUME/VAZIOS - RBV	Leitura do Deflect.	Estabilidade			Fluência		
		cm	NO AR	NA ÁGUA	cm ³	APAR.	TEÓR.					LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	mm		
			g	g												Kg	Kg
1	3,5	6,71	1.188,5	648,1	542,4	2,19	2,457	10,82	18,29	40,82	292	576,12	0,86	495,46	2,75		
2		6,73	1.187,3	655,5	531,8	2,23	2,457	9,14	16,75	45,43	367	724,09	0,86	622,72	3,90		
3		6,66	1.179,5	650,7	528,8	2,23	2,457	9,22	16,83	45,18	328	647,14	0,86	556,54	4,95		
1	4,0	6,76	1.195,2	649,1	546,1	2,19	2,44	10,30	18,83	45,27	335	660,96	0,86	568,42	5,20		
2		6,72	1.186,5	654,5	532,0	2,23	2,44	8,60	17,28	50,26	372	733,96	0,86	631,20	4,80		
3		6,61	1.190,9	658,2	532,7	2,24	2,44	8,38	17,09	50,96	355	700,42	0,86	602,36	5,10		
1	4,5	6,61	1.190,1	654,4	525,7	2,26	2,422	6,54	16,46	60,27	384	757,63	0,96	727,33	5,10		
2		6,48	1.189,0	665,7	523,3	2,27	2,422	6,20	16,15	61,64	476	939,15	0,96	901,58	5,45		
3		6,55	1.192,0	669,2	522,8	2,28	2,422	5,87	15,86	62,99	450	887,85	0,96	852,34	5,00		
1	5,0	6,48	1.192,3	670,5	521,8	2,28	2,406	5,01	16,14	68,94	421	830,63	0,98	814,02	5,55		
2		6,41	1.188,1	672,3	515,8	2,30	2,406	4,25	15,46	72,54	576	1136,45	0,98	1113,72	4,85		
3		6,43	1.191,6	674,4	517,2	2,30	2,406	4,22	15,44	72,64	556	1096,99	0,98	1075,05	6,75		
1	5,5	6,50	1.196,6	677,8	518,8	2,31	2,388	3,42	15,78	78,30	471	929,28	0,99	919,99	4,20		
2		6,48	1.194,3	676,1	518,2	2,30	2,388	3,50	15,84	77,92	480	947,04	0,99	937,57	4,75		
3		6,45	1.192,6	677,3	515,3	2,31	2,388	3,09	15,49	80,03	446	879,96	0,99	871,16	3,90		

ANEXO B

Ensaio com o auxílio do pórtico de Lobo Carneiro

Constam as planilhas de cálculo para as misturas asfálticas resultante dos experimentos do ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral e do ensaio de Lottman, realizados com o auxílio do pórtico de Lobo Carneiro.

QUADRO B.1 – Ensaio de Resistência à Tração por compressão diametral (Metodologia Marshall).

Ensaio de Resistência a Tração por Compressão Diametral							
DOSAGEM	Corpo de Prova	h (cm)	d (cm)	leitura kgf	corrigida kgf	r.tração (kgf/cm2)	Resistência à Tração (MPa)
FAIXA 2 MISTURA 1	1	6,59	10,11	360	710,28	6,787	0,666
	2	6,55	10,13	380	749,74	7,193	0,706
	3	6,68	10,13	380	749,74	7,054	0,692
						MÉDIA	0,69
FAIXA 2 MISTURA 2	1	6,91	10,16	345	680,685	6,172	0,606
	2	6,86	10,12	354	698,442	6,405	0,629
	3	6,9	10,15	368	726,064	6,600	0,648
						MÉDIA	0,63
FAIXA 2 MISTURA 3	1	6,5	10,12	350	690,55	6,683	0,656
	2	6,55	10,13	409	806,957	7,742	0,760
	3	6,62	10,12	425	838,525	7,968	0,782
						MÉDIA	0,73
FAIXA 3 MISTURA 1	1	6,73	10,13	381	751,713	7,020	0,689
	2	6,78	10,15	388	765,524	7,082	0,695
	3	6,76	10,14	402	793,146	7,366	0,723
						MÉDIA	0,70
FAIXA 3 MISTURA 2	1	6,96	10,14	355	700,415	6,318	0,620
	2	6,9	10,17	350	690,55	6,265	0,615
	3	6,96	10,17	340	670,82	6,033	0,592
						MÉDIA	0,61
FAIXA 3 MISTURA 3	1	6,47	10,16	461	909,553	8,809	0,864
	2	6,39	10,14	457	901,661	8,859	0,869
	3	6,55	10,13	470	927,31	8,897	0,873
						MÉDIA	0,87

QUADRO B.2 – Ensaio de Resistência à Tração por compressão diametral (Compactação Superpave).

Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral							
DOSAGEM	Corpo de Prova	h (cm)	d (cm)	leitura kgf	corrigida kgf	R.tração (kgf/cm ²)	Resistência à Tração (MPa)
FAIXA 2 MISTURA 1	1	6,561	9,989	541	1067,393	10,368	1,018
	2	6,551	10	530	1045,69	10,162	0,997
	3	6,521	10,005	583	1150,259	11,224	1,101
						MÉDIA	1,04
FAIXA 2 MISTURA 2	1	6,889	10,143	436	860,228	7,837	0,769
	2	6,722	10,145	452	891,796	8,325	0,817
	3	6,731	10,181	422	832,606	7,735	0,759
						MÉDIA	0,78
FAIXA 2 MISTURA 3	1	6,443	9,988	552	1089,096	10,774	1,057
	2	6,493	9,969	545	1075,285	10,576	1,038
	3	6,471	9,988	538	1061,474	10,455	1,026
						MÉDIA	1,04
FAIXA 3 MISTURA 1	1	6,699	9,986	541	1067,393	10,158	0,997
	2	6,696	10,019	539	1063,447	10,092	0,990
	3	6,674	9,991	551	1087,123	10,379	1,019
						MÉDIA	1,00
FAIXA 3 MISTURA 2	1	6,818	9,988	465	917,445	8,577	0,842
	2	6,799	10,001	470	927,31	8,682	0,852
	3	6,823	9,94	480	947,04	8,890	0,872
						MÉDIA	0,86
FAIXA 3 MISTURA 3	1	6,514	9,986	595	1173,935	11,489	1,127
	2	6,489	9,998	595	1173,935	11,519	1,130
	3	6,484	9,984	595	1173,935	11,545	1,133
						MÉDIA	1,13

QUADRO B.3 – Ensaio de Lottman Modificado (Compactação Marshall).

Ensaio de Lottmn Modificado									
DOSAGEM	Corpo de Prova	h (cm)	d (cm)	leitura kgf	corrigida kgf	R.tração (kgf/cm2)	r.tração (Mpa) Não Condicionado	Resistência à Tração (Mpa) Condicionado	RESULTADO RRT
FAIXA 2 MISTURA 1	1	6,61	10,12	255	503,115	4,788	0,666	0,470	70,55%
	2	6,58	10,11	274	540,602	5,173	0,706	0,508	71,92%
	3	6,51	10,05	260	512,98	4,992	0,692	0,490	70,77%
MÉDIA									71%
FAIXA 2 MISTURA 2	1	7,04	10,2	197	388,681	3,446	0,606	0,338	55,83%
	2	7,05	10,3	150	295,95	2,595	0,629	0,255	40,51%
	3	6,98	10,19	140	276,22	2,472	0,648	0,243	37,46%
MÉDIA									44%
FAIXA 2 MISTURA 3	1	6,53	10,1	305	601,765	5,809	0,656	0,570	86,91%
	2	6,61	10,4	298	587,954	5,445	0,760	0,534	70,32%
	3	6,56	10,1	301	593,873	5,706	0,782	0,560	71,61%
MÉDIA									76%
FAIXA 3 MISTURA 1	1	6,7	10,18	285	562,305	5,248	0,689	0,515	74,77%
	2	6,73	10,12	275	542,575	5,072	0,695	0,498	71,61%
	3	6,775	10,17	290	572,17	5,287	0,723	0,519	71,77%
MÉDIA									73%
FAIXA 3 MISTURA 2	1	6,86	10,225	150	295,95	2,686	0,620	0,264	42,51%
	2	7,08	10,14	148	292,004	2,589	0,545	0,254	46,67%
	3	6,955	10,19	145	286,085	2,570	0,592	0,252	42,59%
MÉDIA									44%
FAIXA 3 MISTURA 3	1	6,51	10,17	355	700,415	6,735	0,864	0,661	76,46%
	2	6,45	10,02	386	761,578	7,502	0,869	0,736	84,68%
	3	6,54	10,08	390	769,47	7,431	0,873	0,729	83,52%
MÉDIA									82%

QUADRO B.4 – Ensaio de Lottman Modificado (Compactação Superpave).

Ensaio Lottman Modificado								
DOSAGEM	Corpo de Prova	h (cm)	d (cm)	leitura kgf	corrigida kgf	r.tração (kgf/cm ²)	r.tração (Mpa)	RESULTADO LOTTMAN
FAIXA 2 MISTURA 1	1	6,561	9,989	386	761,578	7,398	0,726	71,35%
	2	6,551	10	383	755,659	7,343	0,721	72,26%
	3	6,521	10,005	450	887,85	8,663	0,850	77,19%
MÉDIA								74%
FAIXA 2 MISTURA 2	1	6,889	10,143	320	631,36	5,752	0,564	73,39%
	2	6,722	10,145	295	582,035	5,433	0,533	65,27%
	3	6,731	10,181	310	611,63	5,682	0,558	73,46%
MÉDIA								71%
FAIXA 2 MISTURA 3	1	6,443	9,988	385	759,605	7,515	0,737	69,75%
	2	6,493	9,969	390	769,47	7,568	0,743	71,56%
	3	6,471	9,988	372	733,956	7,229	0,709	69,14%
MÉDIA								70%
FAIXA 3 MISTURA 1	1	6,699	9,986	401	791,173	7,529	0,739	74,12%
	2	6,696	10,019	397	783,281	7,433	0,729	73,65%
	3	6,674	9,991	380	749,74	7,158	0,702	68,97%
MÉDIA								72%
FAIXA 3 MISTURA 2	1	6,818	9,988	346	682,658	6,382	0,626	74,41%
	2	6,799	10,001	363	716,199	6,705	0,658	77,23%
	3	6,823	9,94	350	690,55	6,482	0,636	72,92%
MÉDIA								75%
FAIXA 3 MISTURA 3	1	6,514	9,986	432	852,336	8,342	0,819	72,61%
	2	6,489	9,998	418	824,714	8,093	0,794	70,25%
	3	6,484	9,984	450	887,85	8,731	0,857	75,63%
MÉDIA								73%

ANEXO C

Módulo de Resiliência

Constam os relatórios de cálculo resultantes dos ensaios de Módulo de Resiliência seguindo a compactação por impacto (Marshall) e por amassamento (Superpave).

QUADRO C.1 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 1 da Faixa 2 CP1. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRVArimateia\F2M1 - CP1.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 15:07:00
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2167
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F2M1 - CP1
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	64,1						64,1	
Diameter (mm)	100,9						100,9	

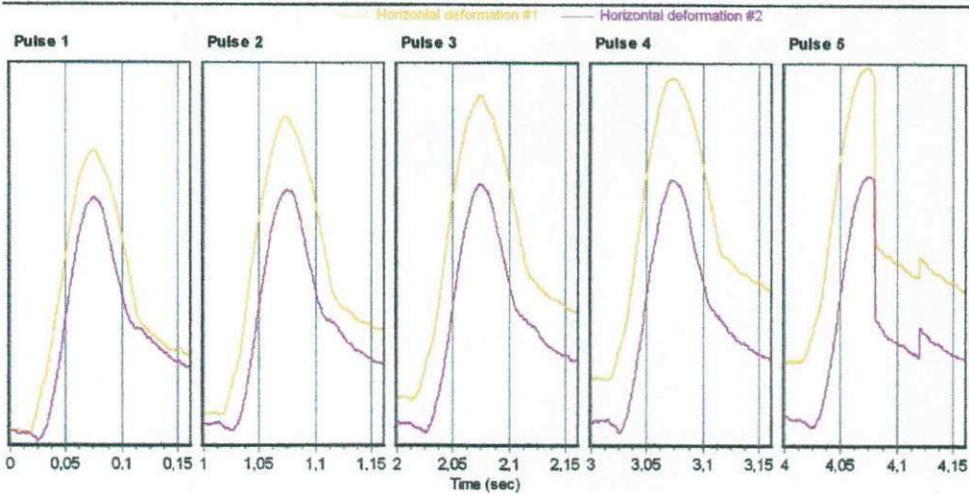
Cross-sectional area (mm²): 7996,0

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 0,536400

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	3582	3420	3350	3365	3388	3421	83,94	2,45
Total recoverable horiz. deform. (µm)	6,32	6,61	6,75	6,72	6,69	6,62	0,16	2,35
Peak loading force (N)	2166	2163	2162	2164	2167	2164	2,00	0,09
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	3,39	3,61	3,67	3,85	3,62	3,59	0,10	2,81
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	2,93	3,00	3,08	3,07	3,06	3,03	0,06	1,89
Seating force (N)	217	218	217	217	217	217	0,32	0,15



QUADRO C.2 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 1 da Faixa 2 CP2. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRV\Arimateia\FII MI - corpo de prova 2.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 15/02/2011 10:24:57
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50
 Peak loading force (N): 2167
 Estimated Poisson's ratio: 0.4
 Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: FII MI - corpo de prova 2
 Remarks...

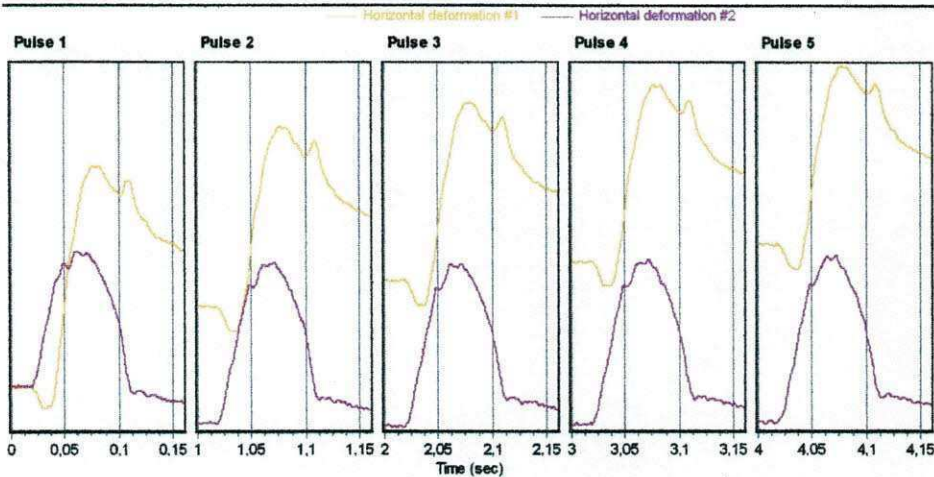
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	69,1	69,2	68,6	68,7			68,9	0,3
Diameter (mm)	101,7	101,6	101,7	101,8			101,7	0,1

Cross-sectional area (mm²): 8123,3

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4
 Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 1,376000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2527	2474	2441	2424	2399	2453	44,22	1,80
Total recoverable horiz. deform. (µm)	8,32	8,51	8,62	8,70	8,77	8,59	0,16	1,83
Peak loading force (N)	2162	2165	2164	2168	2164	2165	1,72	0,08
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	3,82	4,15	4,35	4,28	4,32	4,18	0,19	4,80
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	4,50	4,36	4,28	4,42	4,45	4,40	0,08	1,78
Seating force (N)	217	217	217	217	217	217	0,07	0,03



QUADRO C.3 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 1 da Faixa 2 CP3. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. ndts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\REsultado MR\Armatéia\FII MI - corpo de prova 3.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 15/02/2011 11:32:33
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Armatéia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2167
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: FII MI - corpo de prova 3
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	68,4	65,0	65,3	64,6			65,3	0,8
Diameter (mm)	101,6	101,2	100,4	100,9			101,0	0,5

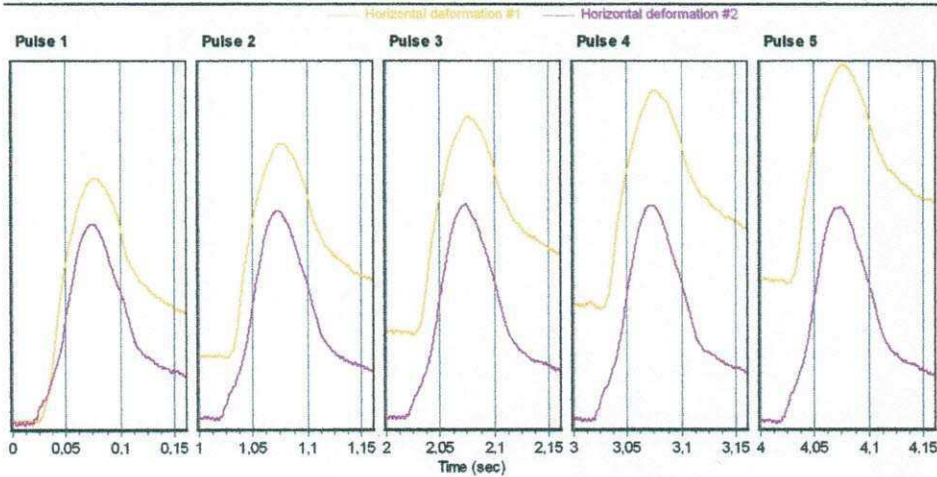
Cross-sectional area (mm²): 8015,8

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 1,285000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	3039	2856	2814	2804	2766	2856	95,94	3,36
Total recoverable horiz. deform. (µm)	7,31	7,79	7,90	7,93	8,05	7,79	0,26	3,29
Peak loading force (N)	2166	2169	2167	2169	2170	2168	1,55	0,07
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	3,51	3,72	3,67	3,69	3,80	3,68	0,10	2,66
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	3,80	4,07	4,23	4,24	4,24	4,12	0,17	4,13
Seating force (N)	217	216	217	216	216	216	0,26	0,12



QUADRO C.4 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 2 da Faixa 2 CP1. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\REsultado MRVArimateia\FII MII CP 2.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 16/02/2011 11:36:22
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50
 Peak loading force (N): 2000
 Estimated Poisson's ratio: 0.4
 Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: FII MII CP 2
 Remarks...

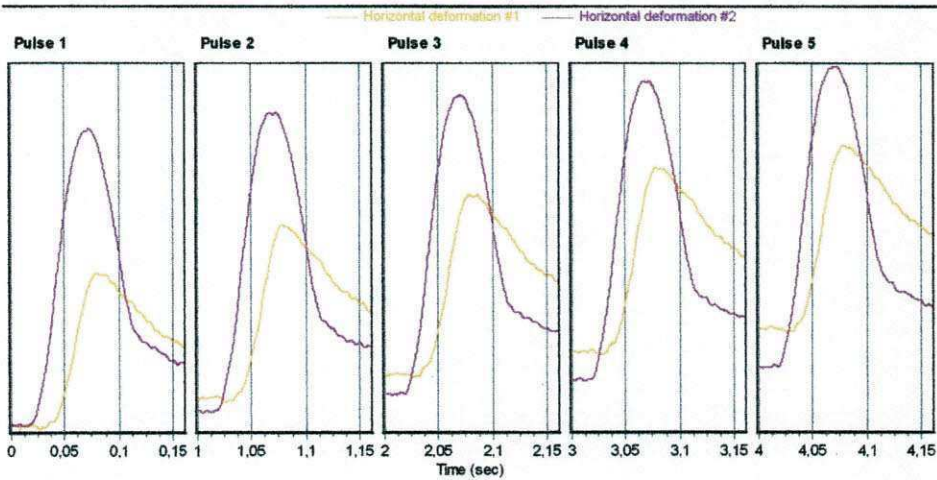
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	68,2	69,2	69,3	69,0			68,9	0,5
Diameter (mm)	101,8	102,1	101,9	101,6			101,9	0,2

Cross-sectional area (mm²): 8147,3

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4
 Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 1,383000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2656	2511	2459	2429	2414	2494	87,54	3,51
Total recoverable horiz. deform. (µm)	7,31	7,75	7,89	8,00	8,04	7,80	0,26	3,39
Peak loading force (N)	1998	2002	1996	2000	1998	1999	2,13	0,11
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	2,23	2,70	2,75	2,90	2,84	2,68	0,24	8,77
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	5,08	5,05	5,14	5,11	5,20	5,12	0,05	1,02
Seating force (N)	200	200	200	200	200	200	0,13	0,06



QUADRO C.5 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 2 da Faixa 2 CP2. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. tvts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRV\Arimateia\F2M2 - CP2.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 15:13:07
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2064
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F2M2 - CP2
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	67,9						67,9	
Diameter (mm)	101,6						101,6	

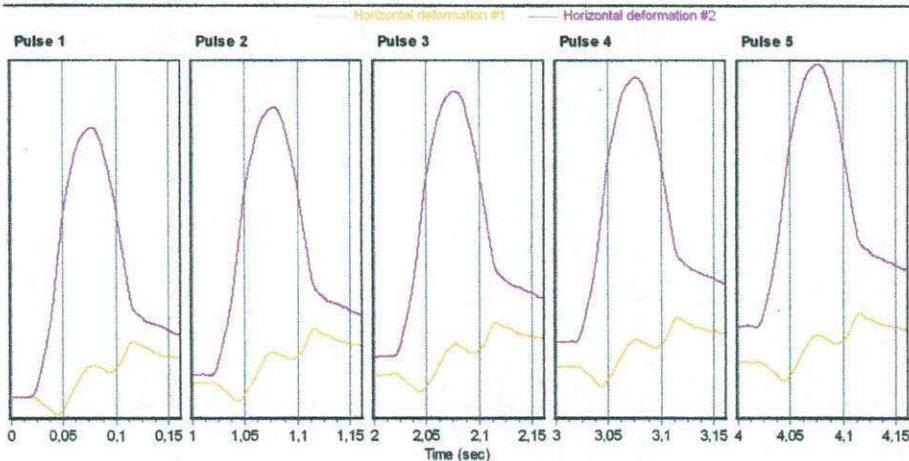
Cross-sectional area (mm²): 8107,3

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 1,638000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2288	2219	2217	2225	2226	2235	26,88	1,19
Total recoverable horiz. deform. (µm)	8,89	9,18	9,20	9,16	9,16	9,12	0,11	1,26
Peak loading force (N)	2060	2063	2068	2063	2066	2064	2,26	0,11
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	0,57	0,76	0,78	0,75	0,73	0,72	0,08	10,82
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	8,32	8,42	8,42	8,41	8,43	8,40	0,04	0,48
Seating force (N)	206	206	205	206	206	206	0,23	0,11



QUADRO C.6 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 2 da Faixa 2 CP3. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Arimatela\FII MII CP3.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 17/02/2011 15:44:04
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimatéia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2064
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: FII MII CP3
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	68,3	68,5	68,2	68,2			68,3	0,1
Diameter (mm)	101,6	101,7	101,6	101,7			101,6	0,1

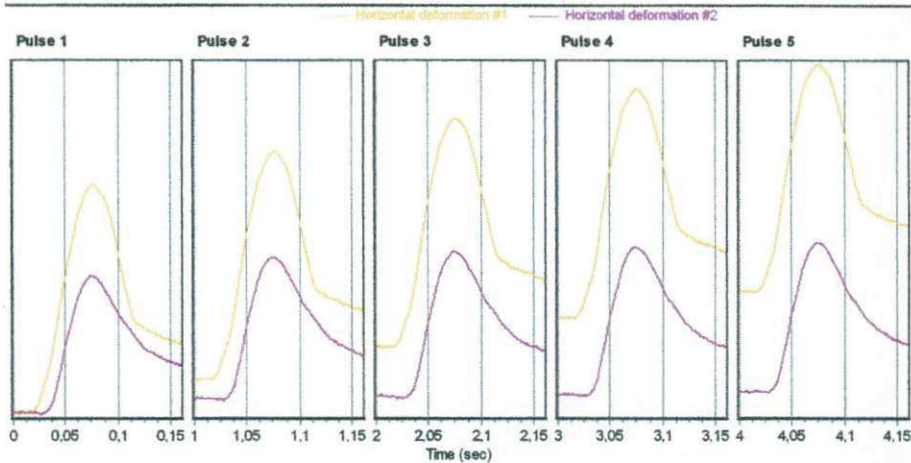
Cross-sectional area (mm²): 8115,3

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm¹ horiz¹ defn/pulse (µm): 2,644000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	1697	1606	1565	1544	1530	1589	60,06	3,78
Total recoverable horiz. deform. (µm)	12,32	13,02	13,35	13,54	13,66	13,18	0,48	3,64
Peak loading force (N)	2132	2132	2129	2132	2131	2131	0,94	0,04
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	7,56	7,61	7,78	7,91	7,98	7,77	0,16	2,10
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	4,76	5,41	5,57	5,63	5,68	5,41	0,34	6,23
Seating force (N)	206	205	206	206	206	206	0,27	0,13



QUADRO C.7 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 3 da Faixa 2 CP1. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Arimateia\FII Mill - corpo de prova 1.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 17/02/2011 17:16:10
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50
 Peak loading force (N): 2290
 Estimated Poisson's ratio: 0.4
 Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

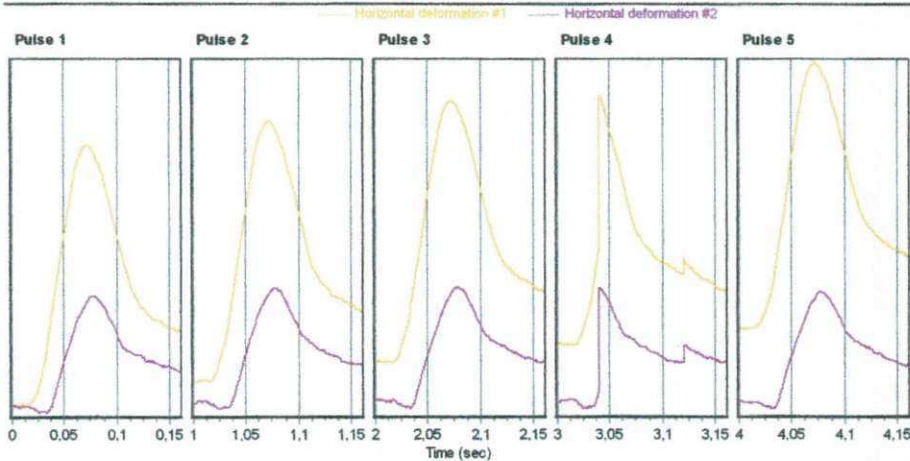
Identification: FII Mill - corpo de prova 1
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	66,0	66,3	66,8	65,7			66,2	0,5
Diameter (mm)	101,4	101,9	100,8	100,7			101,2	0,6
Cross-sectional area (mm ²): 8043,6								

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4
 Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 0,759300

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	3475	3393	3334	2465	3345	3202	372,00	11,62
Total recoverable horiz. deform. (µm)	6,67	6,84	6,96	6,79	6,94	6,84	0,11	1,54
Peak loading force (N)	2291	2293	2294	1654	2294	2165	255,67	11,81
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	4,61	4,70	4,74	4,57	4,79	4,68	0,08	1,72
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	2,06	2,14	2,22	2,22	2,15	2,16	0,06	2,73
Seating force (N)	229	229	229	230	229	229	0,35	0,15



QUADRO C.8 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 3 da Faixa 2 CP2. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Arimateia\F2M3 - CPX.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 15:00:57
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2290
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F2M3 - CPX
 Remarks...

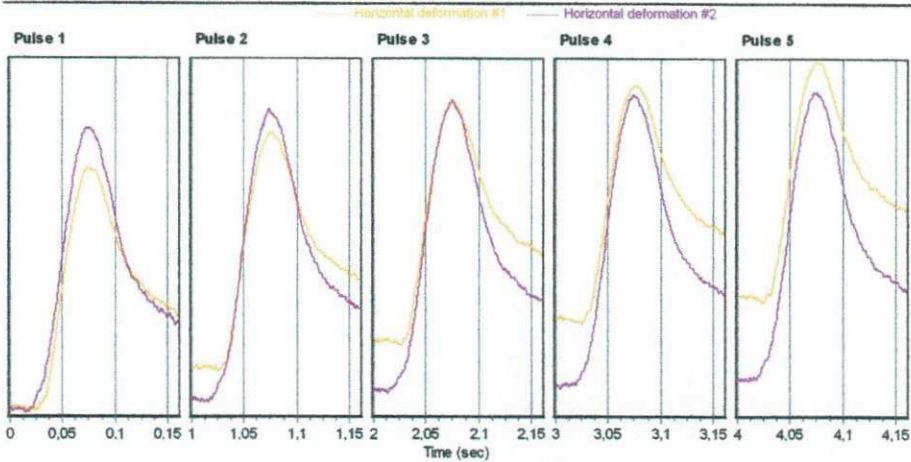
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	65,0						65,0	
Diameter (mm)	101,5						101,5	
Cross-sectional area (mm ²): 8086,6								

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm'l horiz'l defn/pulse (µm): 0,784500

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	4083	3935	3822	3879	3825	3909	96,24	2,46
Total recoverable horiz. deform. (µm)	5,80	6,01	6,18	6,09	6,19	6,05	0,14	2,39
Peak loading force (N)	2294	2291	2290	2290	2296	2292	2,41	0,11
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	2,46	2,57	2,66	2,62	2,68	2,60	0,08	3,11
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	3,34	3,44	3,52	3,47	3,51	3,45	0,06	1,88
Seating force (N)	228	229	229	229	228	229	0,15	0,07



QUADRO C.9 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 3 da Faixa 2 CP3. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lnds only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Arimateia\FII MIII - corpo de prova 3.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 17/02/2011 16:46:06
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50
 Peak loading force (N): 2290
 Estimated Poisson's ratio: 0.4
 Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

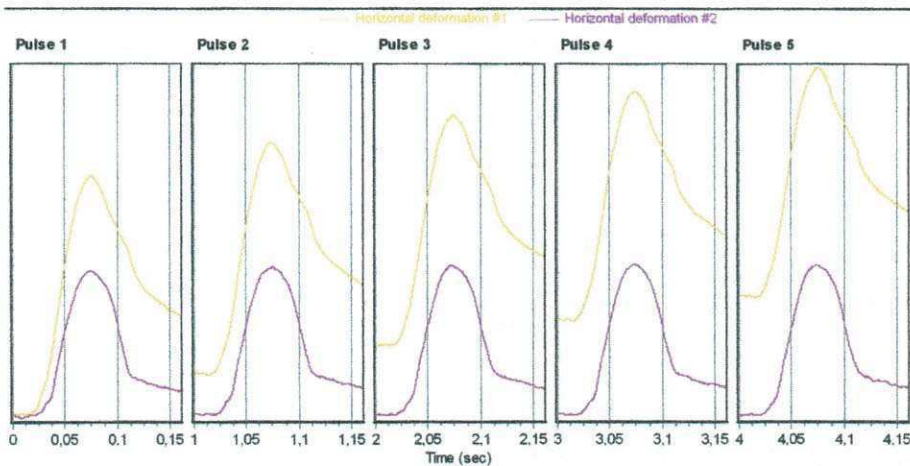
Identification: FII MIII - corpo de prova 3
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	65,2	64,1	64,3	65,2			64,7	0,6
Diameter (mm)	101,6	101,2	101,8	101,3			101,5	0,3
Cross-sectional area (mm ²): 8087,4								

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4
 Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 1,570000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2523	2449	2431	2408	2399	2442	44,10	1,81
Total recoverable horiz. deform. (µm)	9,46	9,76	9,84	9,91	9,96	9,79	0,18	1,81
Peak loading force (N)	2304	2309	2309	2305	2308	2307	2,02	0,09
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	5,48	5,66	5,71	5,69	5,80	5,67	0,11	1,86
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	3,98	4,10	4,12	4,22	4,17	4,12	0,08	1,95
Seating force (N)	229	229	229	229	229	229	0,30	0,13



QUADRO C.10 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 1 da Faixa 3 CP1. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRV\Arimateia\FIII MI CP1-obs.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 16/02/2011 10:35:49
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: vitóroa
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 100
 Peak loading force (N): 1500
 Estimated Poisson's ratio: 0.4
 Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

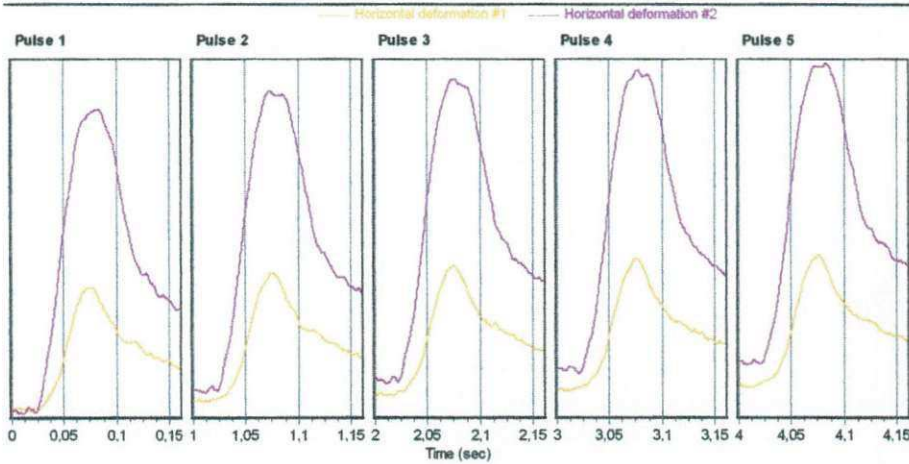
Identification: FIII MI CP1
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	66,8	66,1	67,0	67,8			66,9	0,7
Diameter (mm)	101,5	101,2	101,6	102,0			101,6	0,3
Cross-sectional area (mm ²): 8103,3								

Test Results

Conditioning pulses: 100
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4
 Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 0,525400

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2427	2329	2290	2284	2285	2319	57,70	2,49
Total recoverable horiz. deform. (µm)	6,19	6,44	6,56	6,58	6,62	6,48	0,16	2,43
Peak loading force (N)	1500	1499	1499	1501	1499	1500	0,83	0,06
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	1,79	1,90	1,98	1,98	2,03	1,93	0,09	4,41
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	4,40	4,54	4,58	4,61	4,59	4,54	0,07	1,63
Seating force (N)	150	149	150	150	150	150	0,29	0,19



QUADRO C.11 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 1 da Faixa 3 CP2. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Armatela\FIII MI CP1.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 17/02/2011 16:20:14
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimatéia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2266
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: FIII MI - corpo de prova 1
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	66,8	66,1	67,0	67,8			66,9	0,7
Diameter (mm)	101,5	101,2	101,6	102,0			101,6	0,3

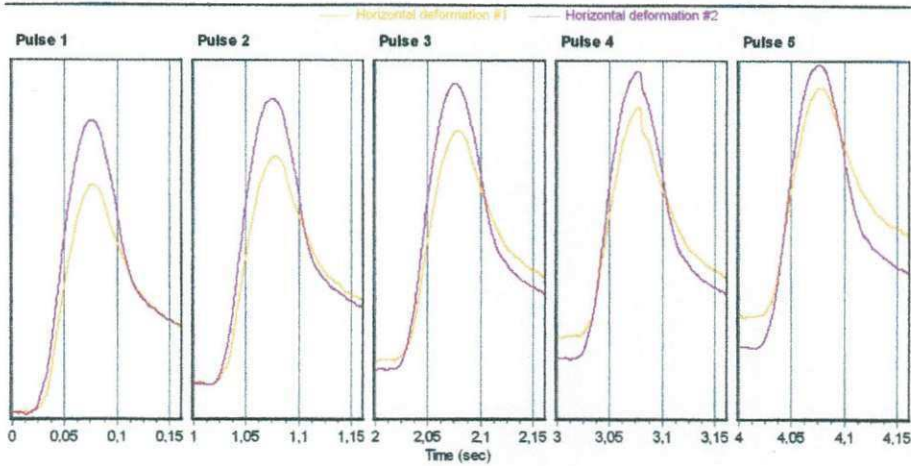
Cross-sectional area (mm²): 8103,3

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 1,904000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	1949	1893	1870	1862	1855	1886	34,10	1,81
Total recoverable horiz. deform. (µm)	11,84	11,98	12,13	12,19	12,23	12,04	0,22	1,80
Peak loading force (N)	2266	2265	2265	2269	2266	2266	1,23	0,05
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	5,01	5,15	5,20	5,26	5,34	5,19	0,11	2,17
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	6,53	6,83	6,93	6,94	6,89	6,84	0,11	1,64
Seating force (N)	226	226	226	227	226	226	0,14	0,06



QUADRO C.12 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 1 da Faixa 3 CP3. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRA\Arimateia\FIII MI - corpo de prova 3.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 17/02/2011 16:57:41
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2265
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: FIII MI - corpo de prova 3
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	66,5	66,8	68,0	67,1			67,1	0,7
Diameter (mm)	101,5	101,4	101,6	101,2			101,4	0,2

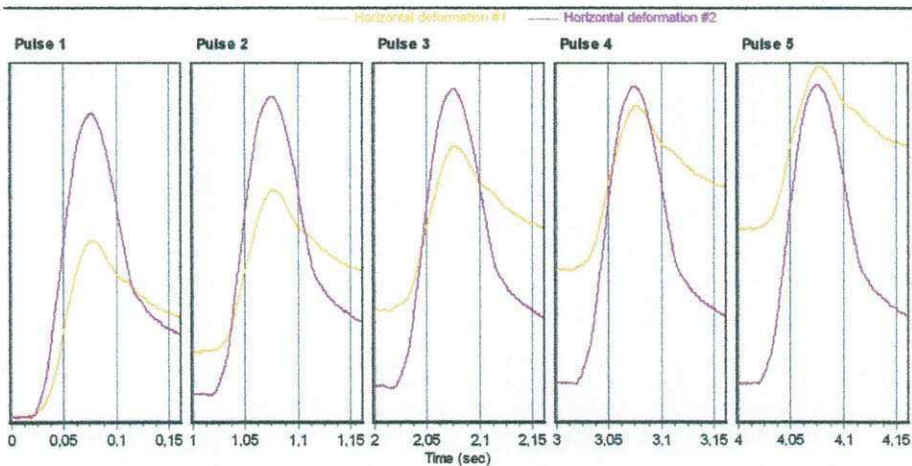
Cross-sectional area (mm²): 8079,4

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm'l horiz'l defn/pulse (µm): 2,953000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2036	1961	1919	1908	1904	1946	49,58	2,55
Total recoverable horiz. deform. (µm)	11,11	11,54	11,79	11,86	11,89	11,64	0,29	2,52
Peak loading force (N)	2265	2267	2267	2267	2267	2267	0,86	0,04
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	3,20	3,37	3,46	3,47	3,44	3,39	0,10	3,00
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	7,91	8,17	8,33	8,40	8,45	8,25	0,19	2,36
Seating force (N)	227	227	227	226	227	227	0,22	0,10



QUADRO C.13 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 2 da Faixa 3 CP1. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRV\Arimateia\F3M2 - CP1.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 15:18:01
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 1944
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F3M2 - CP1
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	67,9						67,9	
Diameter (mm)	101,4						101,4	

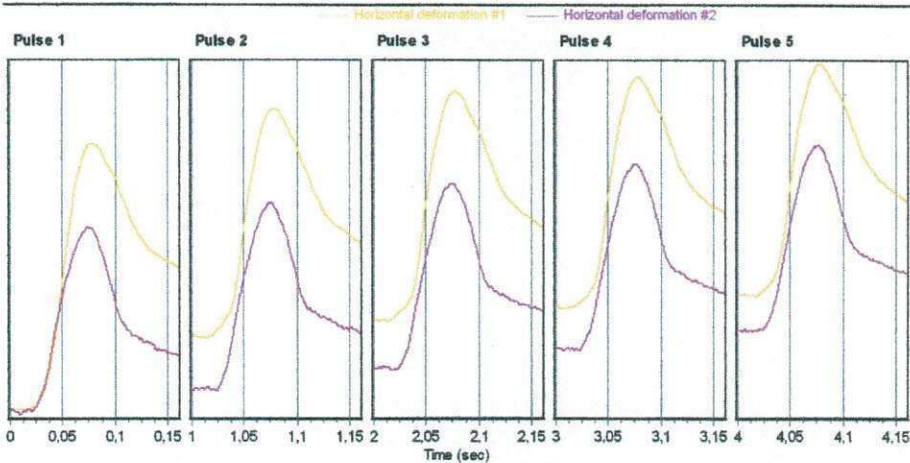
Cross-sectional area (mm²): 8075,4

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 1,761000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2747	2593	2572	2527	2490	2588	88,10	3,41
Total recoverable horiz. deform. (µm)	6,99	7,41	7,47	7,81	7,71	7,44	0,25	3,31
Peak loading force (N)	1946	1947	1947	1947	1946	1947	0,70	0,04
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	3,79	4,15	4,24	4,32	4,42	4,18	0,22	5,19
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	3,21	3,27	3,23	3,28	3,29	3,26	0,03	1,01
Seating force (N)	194	194	194	194	194	194	0,11	0,06



QUADRO C.14 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 2 da Faixa 3 CP2. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Arimatelia\FIII MII CP2- 1.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 16/02/2011 10:01:42
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimatéia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50
 Peak loading force (N): 2000
 Estimated Poisson's ratio: 0.4
 Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: FIII MII CP2
 Remarks...

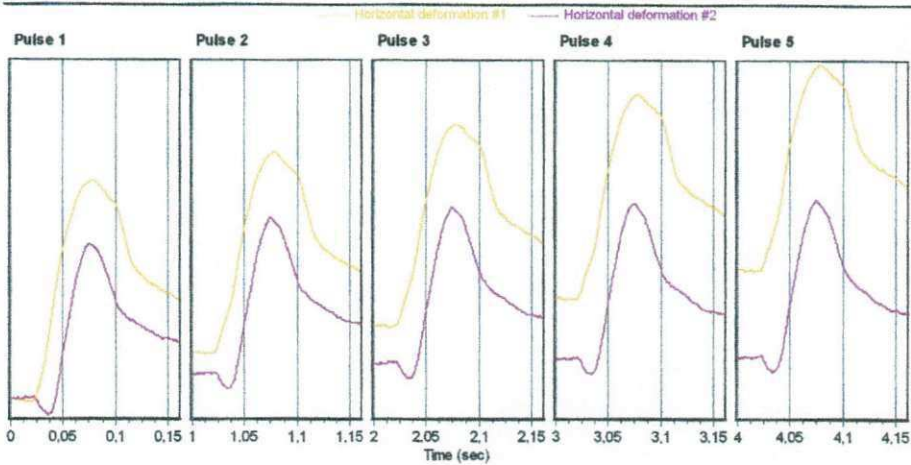
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	69,1	70,0	69,8	68,5			69,3	0,7
Diameter (mm)	101,8	102,0	101,4	101,3			101,6	0,3

Cross-sectional area (mm²): 8111,3

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4
 Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 2,071000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2476	2357	2298	2270	2240	2328	83,41	3,58
Total recoverable horiz. deform. (µm)	7,82	8,21	8,41	8,53	8,65	8,32	0,29	3,51
Peak loading force (N)	2003	2003	2001	2005	2004	2003	1,34	0,07
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	4,47	4,44	4,51	4,56	4,61	4,52	0,08	1,35
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	3,34	3,78	3,90	3,98	4,04	3,81	0,25	6,52
Seating force (N)	200	199	200	200	200	200	0,27	0,14



QUADRO C.15 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 2 da Faixa 3 CP3. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRV\Arimateia\F3M2 - CP2.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 15:22:56
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 1944
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F3M2 - CP2
 Remarks...

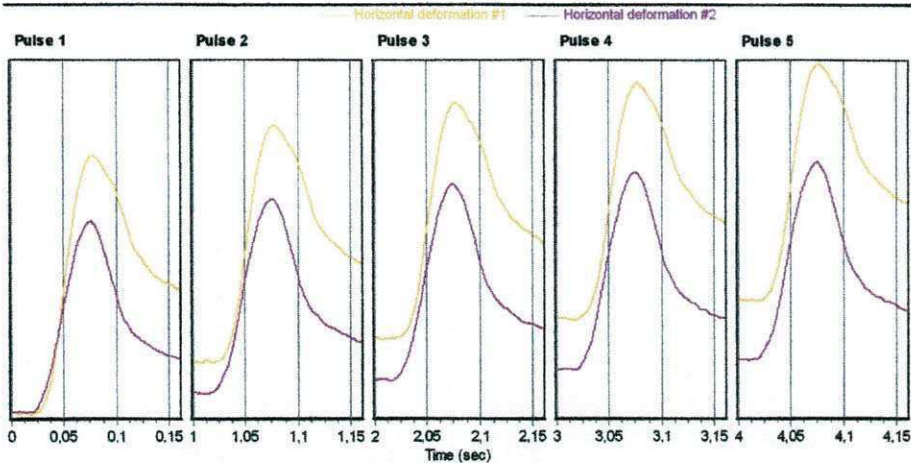
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	87,4						87,4	
Diameter (mm)	101,5						101,5	
Cross-sectional area (mm ²): 8091,4								

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz'l defn/pulse (µm): 1,740000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2258	2167	2134	2107	2097	2153	57,96	2,69
Total recoverable horiz. deform. (µm)	8,55	8,91	9,05	9,17	9,22	8,98	0,24	2,68
Peak loading force (N)	1942	1942	1943	1944	1945	1943	1,16	0,06
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	4,67	4,82	4,86	4,92	4,95	4,84	0,10	2,03
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	3,88	4,08	4,20	4,25	4,27	4,14	0,14	3,46
Seating force (N)	194	194	195	195	195	194	0,35	0,18



QUADRO C.16 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 3 da Faixa 3 CP1. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Armatela\Fill Mill - corpo de prova 1.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 15/02/2011 11:09:11
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Armatela
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2652
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: Fill Mill - corpo de prova 1
 Remarks...

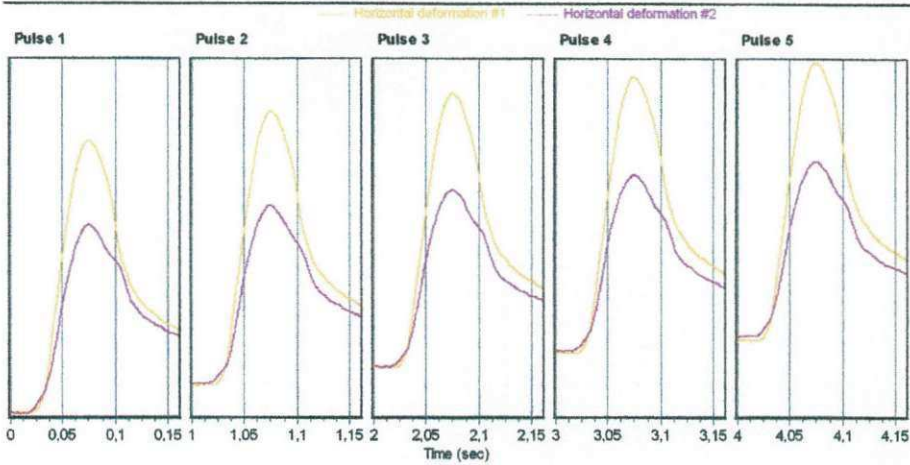
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	64,9	65,2	65,0	65,2			65,1	0,1
Diameter (mm)	101,7	101,8	101,2	101,2			101,4	0,3
Cross-sectional area (mm ²): 8079,4								

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz defn/pulse (µm): 2,038000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2332	2244	2219	2201	2190	2237	50,95	2,28
Total recoverable horiz. deform. (µm)	11,71	12,15	12,23	12,39	12,46	12,20	0,27	2,19
Peak loading force (N)	2652	2648	2648	2649	2650	2649	1,70	0,06
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	7,11	7,47	7,81	7,68	7,74	7,52	0,22	2,96
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	4,59	4,67	4,42	4,71	4,72	4,67	0,04	0,95
Seating force (N)	265	265	265	265	265	265	0,21	0,08



QUADRO C.17 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 3 da Faixa 3 CP2. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. ndts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRV\Arimateia\F3M3 - CP3.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 15:34:51
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2400
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F3M3 - CP3
 Remarks...

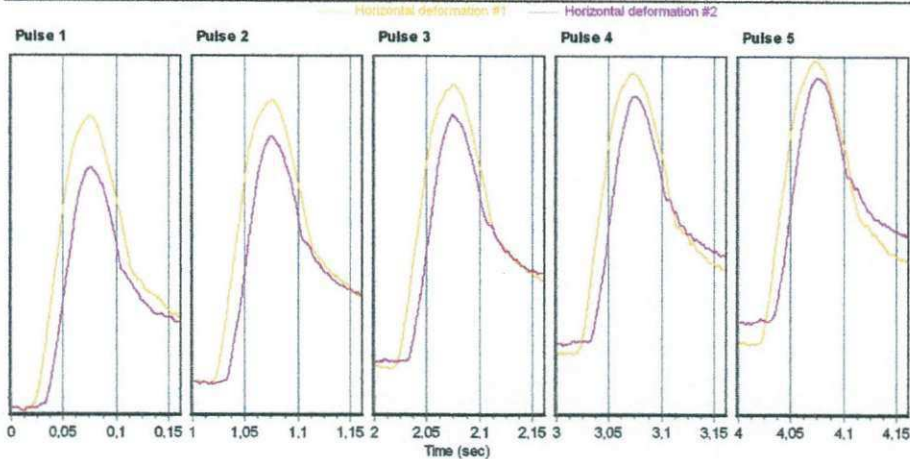
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	63,4						63,4	
Diameter (mm)	101,3						101,3	
Cross-sectional area (mm ²): 8059,5								

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 1,128000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	3339	3266	3212	3221	3198	3247	51,25	1,58
Total recoverable horiz. deform. (µm)	7,60	7,77	7,90	7,87	7,92	7,81	0,12	1,51
Peak loading force (N)	2402	2401	2402	2399	2397	2400	1,73	0,07
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	4,20	4,19	4,28	4,28	4,35	4,26	0,06	1,37
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	3,40	3,57	3,62	3,59	3,57	3,55	0,08	2,23
Seating force (N)	240	240	239	240	241	240	0,51	0,21



QUADRO C.18 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 3 da Faixa 3 CP3. (Compactação Marshall).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Arimatelia\FIII MIII - corpo de prova 2.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 17/02/2011 16:40:32
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimatelia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50
 Peak loading force (N): 2400
 Estimated Poisson's ratio: 0.4
 Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: FIII MIII - corpo de prova 2
 Remarks...

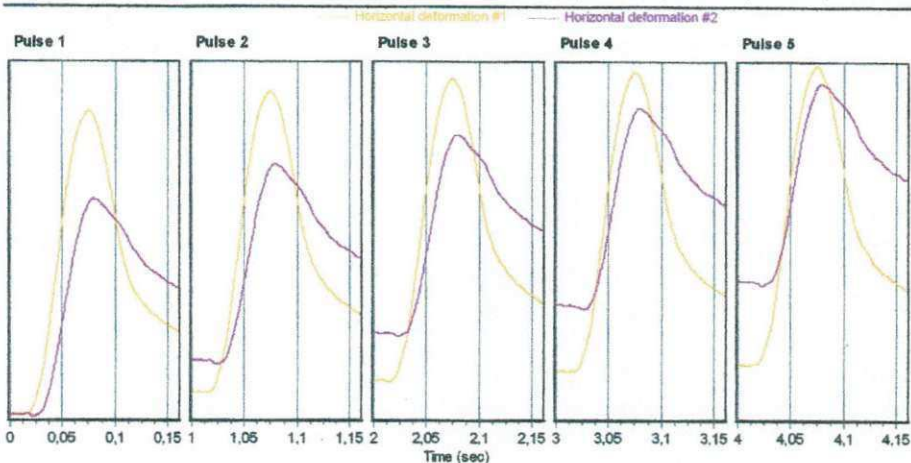
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	64,6	63,9	63,3	63,4			63,8	0,6
Diameter (mm)	101,7	101,6	102,0	101,8			101,8	0,2

Cross-sectional area (mm²): 8135,3

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4
 Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 2,340000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2108	2045	2014	2004	1999	2034	40,51	1,99
Total recoverable horiz. deform. (µm)	11,94	12,33	12,52	12,57	12,62	12,40	0,25	2,01
Peak loading force (N)	2397	2401	2402	2399	2403	2400	2,01	0,08
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	7,61	7,80	7,96	7,91	7,96	7,85	0,13	1,70
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	4,33	4,53	4,57	4,66	4,66	4,55	0,12	2,64
Seating force (N)	240	239	239	239	240	240	0,42	0,17



QUADRO C.19 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 1 da Faixa 2 CP1. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. ndts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRV\Arimateia\Giratorio\F2M1 - CP1.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 16:39:21
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 3200
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F2M1 - CP1
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	65,7						65,7	
Diameter (mm)	99,9						99,9	

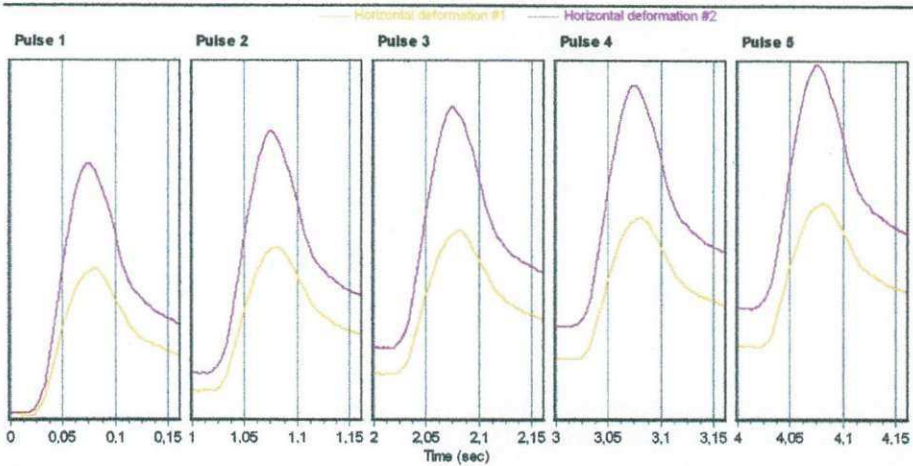
Cross-sectional area (mm²): 7838,3

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz' def'n/pulse (µm): 2,397000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	3404	3266	3228	3194	3176	3254	81,36	2,50
Total recoverable horiz. deform. (µm)	9,59	10,00	10,12	10,22	10,29	10,04	0,25	2,46
Peak loading force (N)	3198	3199	3201	3198	3201	3200	1,30	0,04
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	3,48	3,65	3,69	3,70	3,70	3,64	0,08	2,32
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	6,11	6,35	6,43	6,52	6,59	6,40	0,17	2,59
Seating force (N)	320	320	320	320	320	320	0,30	0,09



QUADRO C.20 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 1 da Faixa 2 CP2. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Arimatela\Giratorio\F2 M1 - CP 2.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 22/03/2011 09:01:10
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimatela
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 3200
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F2 M1 - CP 2
 Remarks...

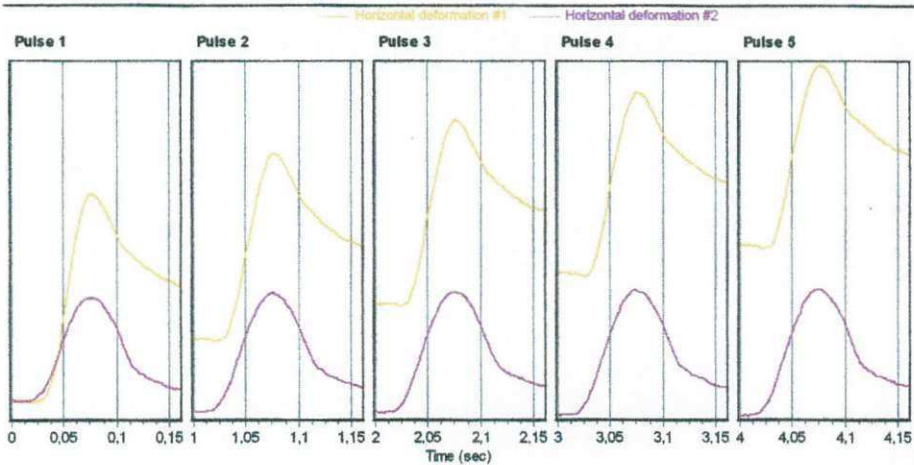
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	65,0						65,0	
Diameter (mm)	100,0						100,0	

Cross-sectional area (mm²): 7854,0

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4
 Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 1,780000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	4789	4587	4466	4446	4390	4536	141,99	3,13
Total recoverable horiz. deform. (µm)	6,88	7,18	7,38	7,43	7,50	7,27	0,23	3,09
Peak loading force (N)	3196	3197	3198	3205	3197	3198	3,17	0,10
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	3,87	4,00	4,10	4,09	4,10	4,03	0,09	2,22
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	3,00	3,19	3,27	3,33	3,40	3,24	0,14	4,26
Seating force (N)	319	319	319	320	320	319	0,39	0,12



QUADRO C.21 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 1 da Faixa 2 CP3. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Arimateia\Giratorio\F2M1 - CP3.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 15:47:52
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 3200
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F2M1 - CP3
 Remarks...

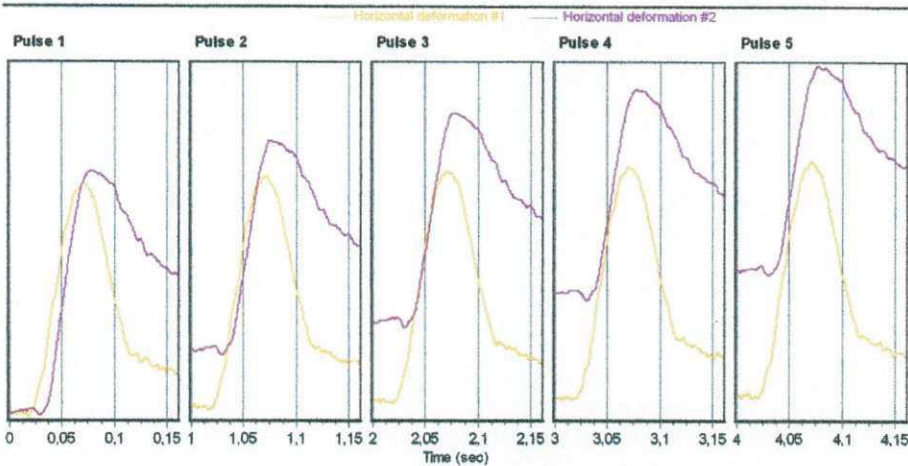
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	65,4						65,4	
Diameter (mm)	100,2						100,2	
Cross-sectional area (mm ²): 7885,4								

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz1 defn/pulse (µm): 1,131000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	5398	5318	5266	5287	5217	5297	60,02	1,13
Total recoverable horiz. deform. (µm)	6,08	6,17	6,23	6,21	6,26	6,20	0,07	1,08
Peak loading force (N)	3206	3204	3203	3205	3201	3204	1,72	0,05
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	3,41	3,42	3,48	3,47	3,51	3,46	0,04	1,10
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	2,68	2,75	2,75	2,74	2,78	2,74	0,03	1,20
Seating force (N)	321	320	320	320	320	320	0,25	0,08



QUADRO C.22 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 2 da Faixa 2 CP1. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdls only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRV\Arimateia\Giratorio\F2M2 - CP1.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 16:27:44
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2534
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F2M2 - CP1
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	68,6						68,6	
Diameter (mm)	99,8						99,8	

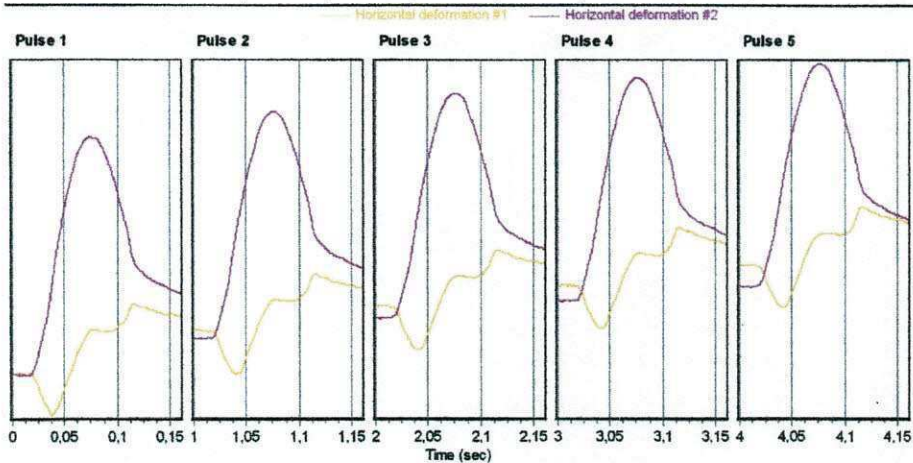
Cross-sectional area (mm²): 7822,6

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm's horiz'l def'n/pulse (µm): 3,432000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	3315	3154	3088	3039	3059	3131	99,83	3,19
Total recoverable horiz. deform. (µm)	7,47	7,86	8,03	8,16	8,10	7,92	0,25	3,12
Peak loading force (N)	2536	2539	2539	2538	2537	2538	1,16	0,05
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	0,03	0,23	0,36	0,45	0,40	0,29	0,15	50,62
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	7,44	7,63	7,67	7,71	7,70	7,63	0,10	1,32
Seating force (N)	253	253	253	253	253	253	0,27	0,11



QUADRO C.23 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 2 da Faixa 2 CP2. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Arimateia\Giratorio\F2M2 - CP2.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 15:55:24
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2534
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F2M2 - CP2
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	68,6						68,6	
Diameter (mm)	99,7						99,7	

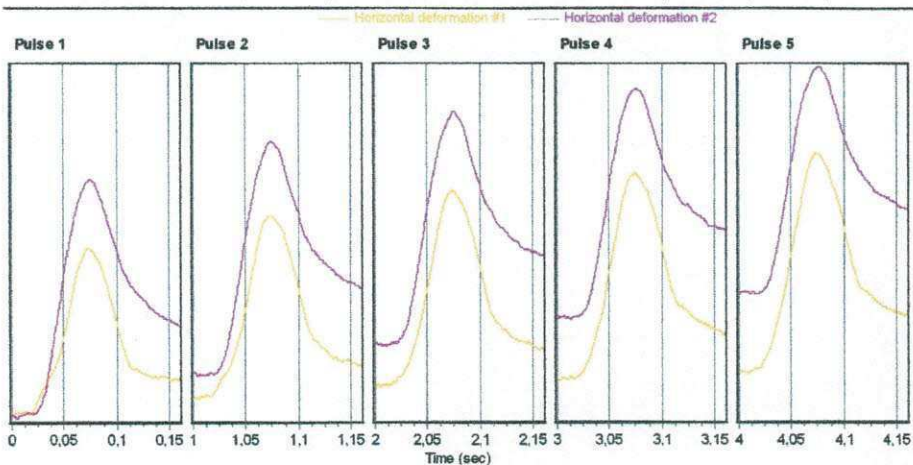
Cross-sectional area (mm²): 7806,9

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm'l horiz'l defn/pulse (µm): 1,128000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	5098	4699	4421	4338	4258	4563	306,09	6,71
Total recoverable horiz. deform. (µm)	4,86	5,27	5,61	5,72	5,82	5,46	0,35	6,39
Peak loading force (N)	2539	2536	2540	2540	2537	2538	1,84	0,07
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	2,12	2,42	2,71	2,82	2,93	2,60	0,30	11,38
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	2,75	2,86	2,91	2,90	2,88	2,86	0,06	2,04
Seating force (N)	253	253	253	254	254	254	0,11	0,05



QUADRO C.24 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 2 da Faixa 2 CP3. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Arimateia\Giratorio\F2 M2 - CP 3.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 22/03/2011 08:56:51
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50
 Peak loading force (N): 2534
 Estimated Poisson's ratio: 0.4
 Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

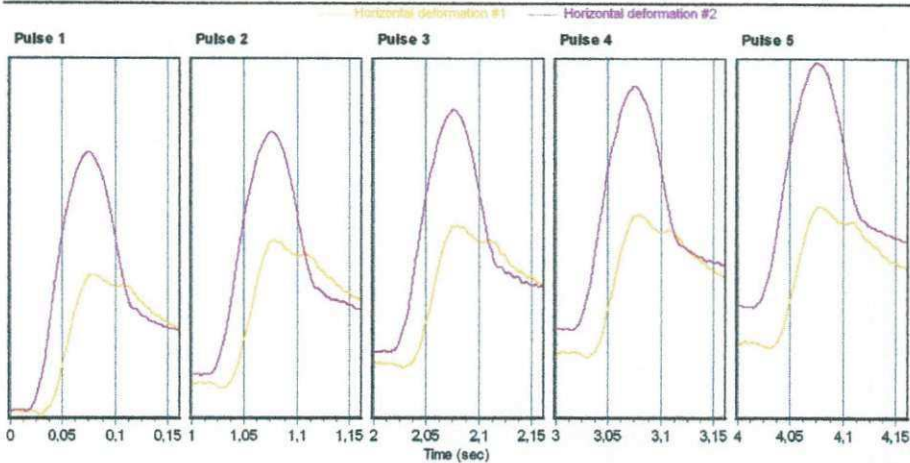
Identification: F2 M2 - CP 3
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	68,6						68,6	
Diameter (mm)	100,0						100,0	
Cross-sectional area (mm²): 7854,0								

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4
 Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 2.057000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	3009	2917	2873	2866	2862	2905	55,22	1,90
Total recoverable horiz. deform. (µm)	8,22	8,50	8,82	8,63	8,64	8,52	0,16	1,89
Peak loading force (N)	2531	2538	2535	2533	2533	2534	2,20	0,09
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	2,71	3,03	3,16	3,16	3,21	3,05	0,18	5,97
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	5,51	5,47	5,46	5,47	5,43	5,47	0,02	0,45
Seating force (N)	254	253	253	254	254	253	0,23	0,09



QUADRO C.25 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 3 da Faixa 2 CP1. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\REsultado MR\Arimateia\Giratorio\F2 M3 - CP 1.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 22/03/2011 09:08:13
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50
 Peak loading force (N): 3403
 Estimated Poisson's ratio: 0.4
 Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F2 M3 - CP 1
 Remarks...

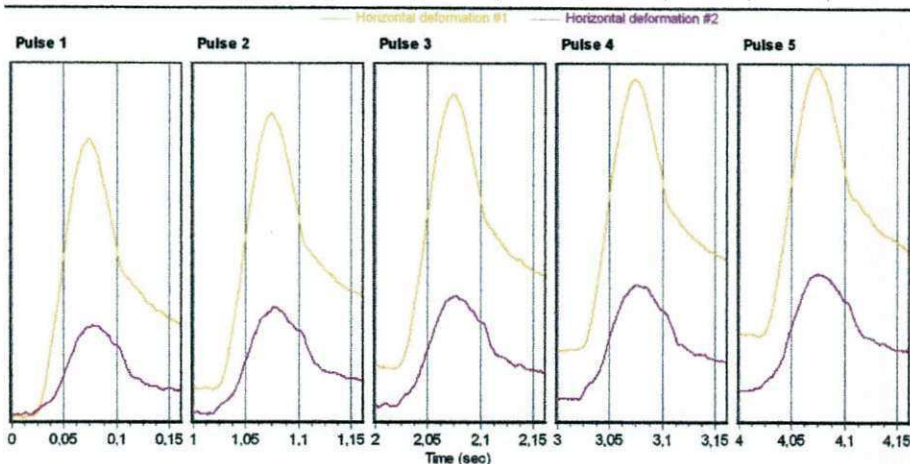
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	65,1						65,1	
Diameter (mm)	99,5						99,5	

Cross-sectional area (mm²): 7778,8

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4
 Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 0,939000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	5706	5436	5278	5245	5202	5373	184,29	3,43
Total recoverable horiz. deform. (µm)	6,14	6,45	6,63	6,69	6,74	6,53	0,22	3,31
Peak loading force (N)	3406	3405	3401	3408	3405	3405	2,16	0,06
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	4,59	4,63	4,75	4,75	4,72	4,69	0,07	1,42
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	1,56	1,81	1,88	1,94	2,01	1,84	0,16	8,49
Seating force (N)	340	341	340	340	341	340	0,31	0,09



QUADRO C.26 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 3 da Faixa 2 CP2. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. tvlts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Arimateia\Giratorio\F2M3 - CP2.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 22/03/2011 08:27:42
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 3403
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F2M3 - CP2
 Remarks...

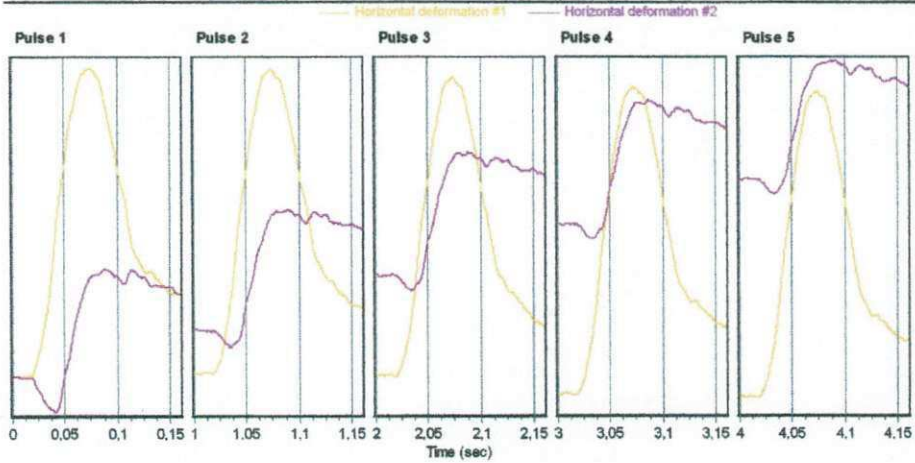
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	64,8						64,8	
Diameter (mm)	99,7						99,7	
Cross-sectional area (mm ²): 7806,9								

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm¹ horzt¹ defn/pulse (µm): 1,827000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	4305	4202	4003	3980	3864	4071	159,64	3,92
Total recoverable horiz. deform. (µm)	8,17	8,37	8,79	8,84	9,10	8,65	0,34	3,89
Peak loading force (N)	3403	3401	3402	3404	3402	3402	0,78	0,02
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	6,94	7,01	7,23	7,06	7,37	7,12	0,16	2,20
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	1,24	1,36	1,56	1,78	1,73	1,53	0,21	13,72
Seating force (N)	340	340	340	340	340	340	0,23	0,07



QUADRO C.27 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 3 da Faixa 2 CP3. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. mdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRV\Arimateia\Giratorio\F2M3 - CP3.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 16:21:42
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50
 Peak loading force (N): 3403
 Estimated Poisson's ratio: 0.4
 Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F2M3 - CP3
 Remarks...

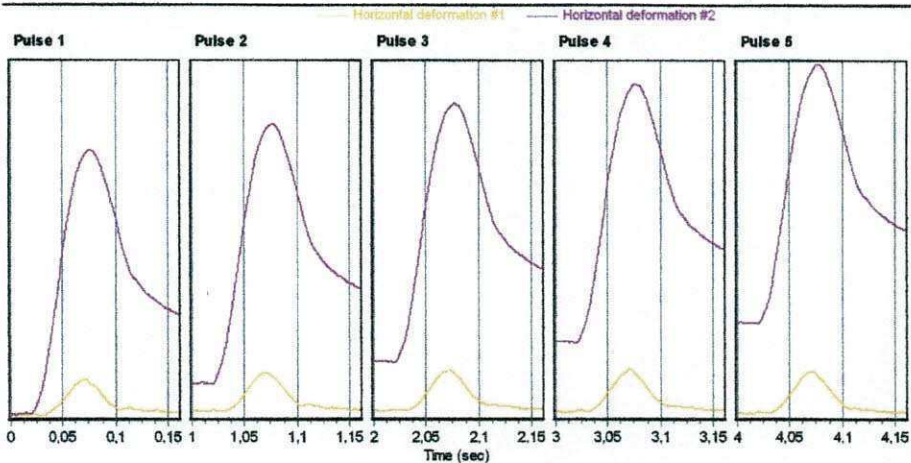
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	65,3						65,3	
Diameter (mm)	100,0						100,0	

Cross-sectional area (mm²): 7854,0

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4
 Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 1,706000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	3370	3246	3199	3159	3133	3221	83,49	2,59
Total recoverable horiz. deform. (µm)	10,37	10,76	10,91	11,06	11,15	10,85	0,28	2,54
Peak loading force (N)	3406	3403	3402	3407	3406	3405	2,04	0,06
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	1,19	1,46	1,56	1,67	1,72	1,52	0,19	12,40
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	9,18	9,30	9,35	9,39	9,43	9,33	0,09	0,94
Seating force (N)	340	340	340	340	340	340	0,16	0,05



QUADRO C.28 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 1 da Faixa 3 CP1. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. mdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Armatela\Giratorio\F3M1 - CP1.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 16:11:56
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 3215
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F3M1 - CP1
 Remarks...

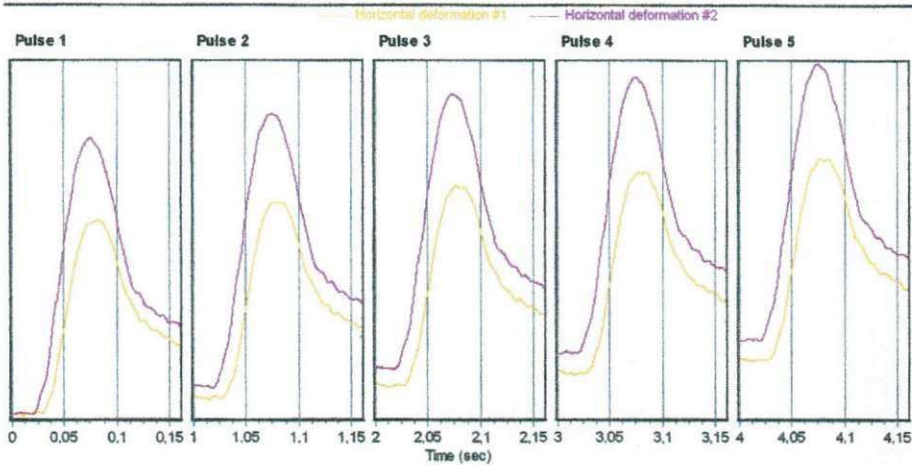
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	66,3						66,3	
Diameter (mm)	99,9						99,9	
Cross-sectional area (mm ²): 7832,0								

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz'l defn/pulse (µm): 1,166000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	4032	3908	3818	3762	3744	3853	106,16	2,76
Total recoverable horiz. deform. (µm)	8,07	8,32	8,50	8,63	8,67	8,44	0,22	2,64
Peak loading force (N)	3217	3216	3212	3211	3213	3214	2,53	0,08
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	3,33	3,47	3,54	3,57	3,57	3,49	0,09	2,61
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	4,74	4,85	4,96	5,06	5,10	4,94	0,13	2,72
Seating force (N)	321	321	321	322	321	321	0,30	0,09



QUADRO C.29 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 1 da Faixa 3 CP2. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRV\Arimateia\Giratorio\F3M1 - CP2.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 22/03/2011 08:14:21
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 3215
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F3M1 - CP2
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	66,2						66,2	
Diameter (mm)	99,7						99,7	

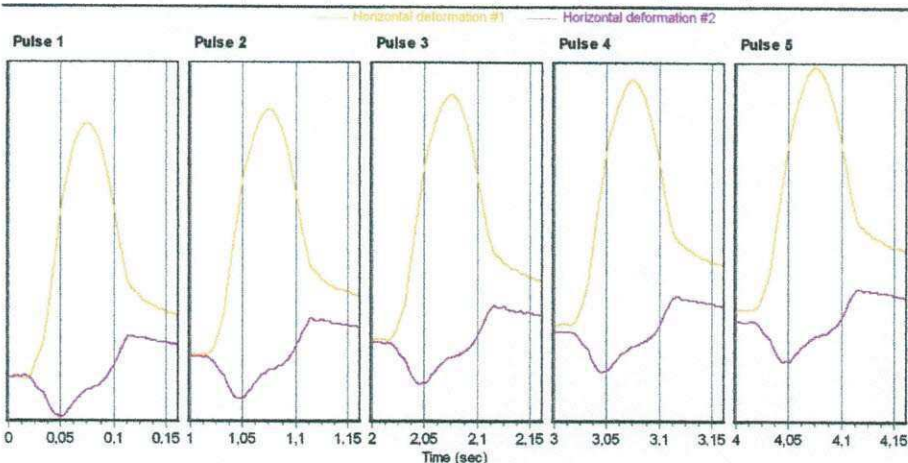
Cross-sectional area (mm²): 7806,9

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz'l defrn/pulse (µm): 2,251000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	3210	3291	3302	3317	3400	3304	60,70	1,84
Total recoverable horiz. deform. (µm)	10,11	9,89	9,85	9,79	9,57	9,84	0,17	1,77
Peak loading force (N)	3206	3216	3212	3207	3215	3211	4,07	0,13
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	8,85	8,83	8,84	8,84	8,75	8,82	0,04	0,42
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	1,26	1,06	1,01	0,94	0,82	1,02	0,15	14,35
Seating force (N)	321	321	321	322	321	321	0,29	0,09



QUADRO C.30 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 1 da Faixa 3 CP3. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRV\Arimateia\Giratorio\F3M1 - CP3.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 22/03/2011 08:33:19
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 3215
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F3M1 - CP3
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	66,3						66,3	
Diameter (mm)	99,9						99,9	

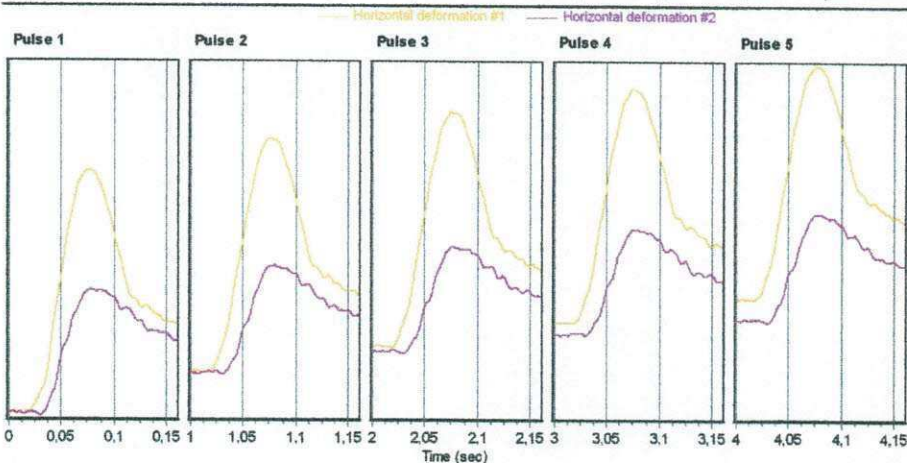
Cross-sectional area (mm²): 7838,3

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 2.556000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	4387	4251	4168	4118	4108	4206	103,30	2,46
Total recoverable horiz. deform. (µm)	7,40	7,64	7,80	7,90	7,91	7,73	0,19	2,47
Peak loading force (N)	3212	3212	3215	3217	3215	3214	2,11	0,07
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	5,24	5,41	5,52	5,54	5,49	5,44	0,11	2,00
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	2,17	2,23	2,28	2,36	2,43	2,29	0,09	4,02
Seating force (N)	321	321	321	321	321	321	0,27	0,08



QUADRO C.31 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 2 da Faixa 3 CP1. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\REsultado MRVArimateia\Giratorio\F3M2 - CP1.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 16:03:57
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2896
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F3M2 - CP1
 Remarks...

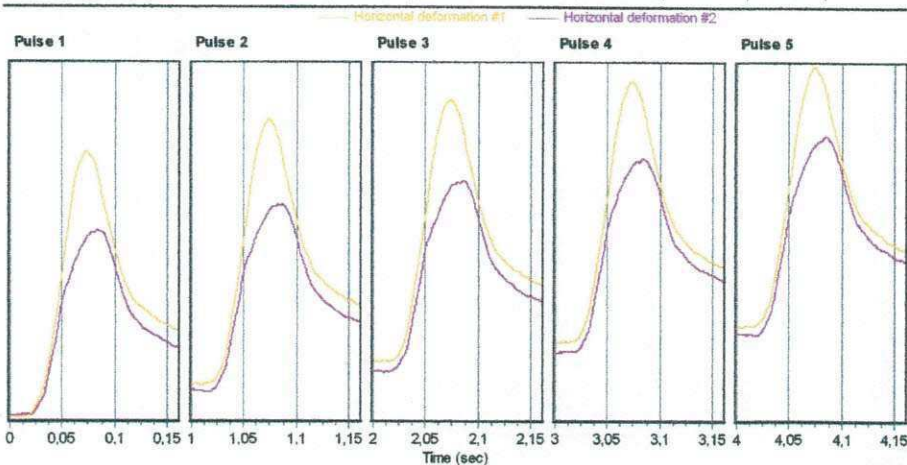
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	68,0						68,0	
Diameter (mm)	99,7						99,7	
Cross-sectional area (mm ²): 7806,9								

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm1 horiz'l defn/pulse (µm): 2,126000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2891	2763	2713	2695	2683	2749	75,97	2,76
Total recoverable horiz. deform. (µm)	9,87	10,32	10,50	10,57	10,62	10,38	0,27	2,64
Peak loading force (N)	2895	2895	2892	2892	2892	2893	1,52	0,05
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	5,92	6,18	6,21	6,25	6,26	6,16	0,12	2,02
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	3,95	4,15	4,29	4,32	4,36	4,21	0,15	3,61
Seating force (N)	290	290	290	290	289	290	0,29	0,10



QUADRO C.32 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 2 da Faixa 3 CP2. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. Indts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MR\Arimateia\Giratorio\F3M2 - CP2.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 16:33:46
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2896
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F3M2 - CP2
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	68,0						66,0	
Diameter (mm)	99,7						99,7	

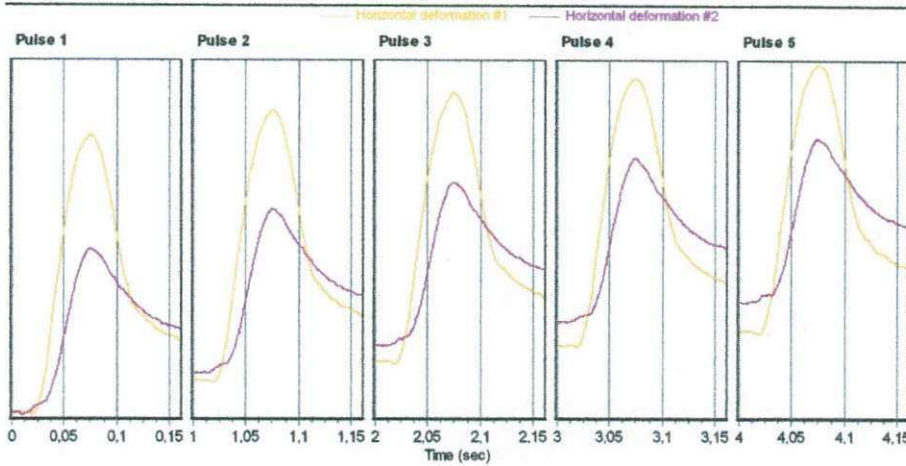
Cross-sectional area (mm²): 7806,9

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm¹ horiz¹ defn/pulse (µm): 2,130000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	3285	3138	3091	3048	3054	3123	87,24	2,79
Total recoverable horiz. deform. (µm)	8,69	9,09	9,24	9,38	9,36	9,15	0,25	2,78
Peak loading force (N)	2896	2896	2898	2901	2902	2899	2,48	0,09
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	5,78	5,91	5,95	5,97	6,00	5,92	0,08	1,31
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	2,91	3,18	3,28	3,41	3,36	3,23	0,18	5,53
Seating force (N)	290	290	289	289	289	289	0,49	0,17



QUADRO C.33 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 2 da Faixa 3 CP3. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRV\Arimateia\Giratorio\F3 M2 - CP 3.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 22/03/2011 08:44:11
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 2896
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F3 M2 - CP 3
 Remarks...

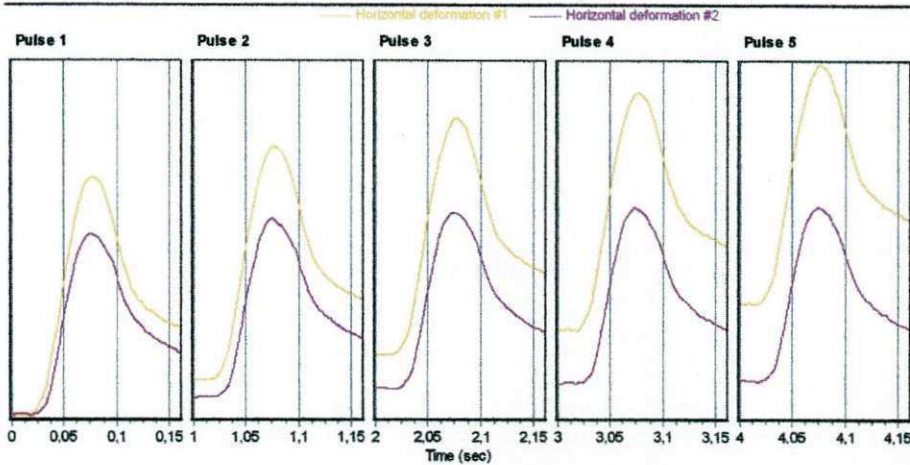
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	67,8						67,8	
Diameter (mm)	99,8						99,8	
Cross-sectional area (mm ²): 7822,6								

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 2,006000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	2654	2577	2533	2540	2510	2563	50,45	1,97
Total recoverable horiz. deform. (µm)	10,79	11,11	11,30	11,29	11,42	11,18	0,22	1,98
Peak loading force (N)	2897	2898	2898	2901	2901	2899	1,84	0,06
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	5,96	6,13	6,27	6,19	6,31	6,17	0,12	1,98
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	4,82	4,98	5,03	5,10	5,12	5,01	0,10	2,08
Seating force (N)	290	290	290	290	290	290	0,14	0,05



QUADRO C.34 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 3 da Faixa 3 CP1. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. htdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRI\Armatelia\Giratorio\F3 M3 - CP 1.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 22/03/2011 08:51:02
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimatéia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 3575
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F3 M3 - CP 1
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	64,7						64,7	
Diameter (mm)	99,7						99,7	

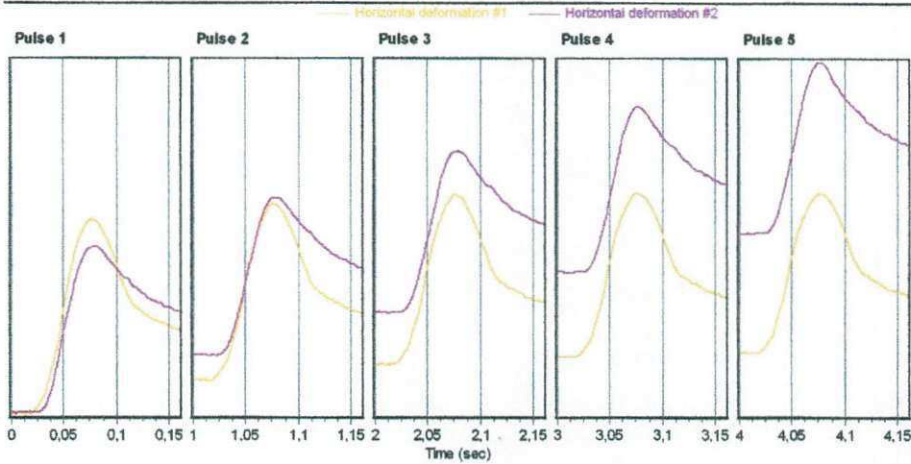
Cross-sectional area (mm²): 7806,9

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm1 horiz1 defn/pulse (µm): 4,029000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	3689	3747	3656	3591	3559	3684	112,49	3,05
Total recoverable horiz. deform. (µm)	9,57	9,88	10,13	10,31	10,40	10,06	0,30	3,01
Peak loading force (N)	3575	3573	3577	3576	3574	3575	1,41	0,04
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	5,69	5,77	5,83	5,75	5,60	5,73	0,08	1,36
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	3,88	4,10	4,31	4,56	4,80	4,33	0,33	7,53
Seating force (N)	357	357	357	357	357	357	0,12	0,03



QUADRO C.35 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 3 da Faixa 3 CP2. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdls only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRV\Arimateia\Giratorio\F3M3 - CP2.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 22/03/2011 08:21:08
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 3575
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F3M3 - CP2
 Remarks...

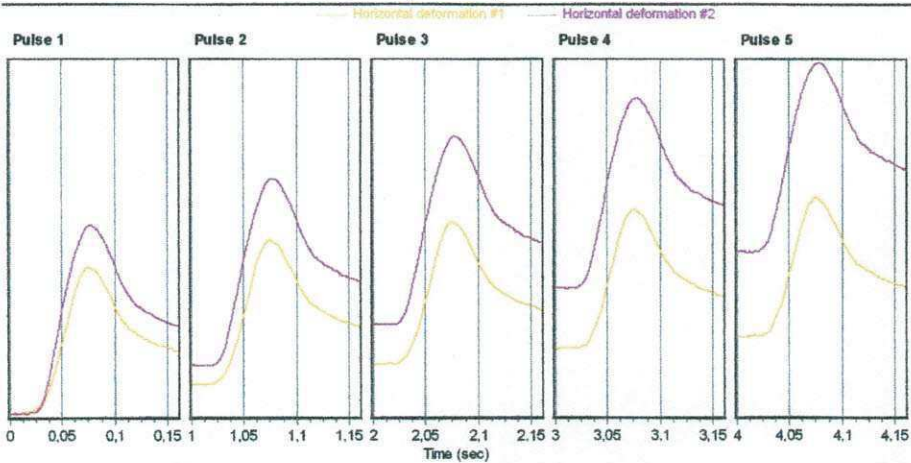
Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	64,8						64,8	
Diameter (mm)	99,5						99,5	
Cross-sectional area (mm ²):							7775,6	

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horz1 defn/pulse (µm): 3,824000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	4251	4056	3934	3886	3846	3995	146,25	3,66
Total recoverable horz. deform. (µm)	8,69	9,11	9,41	9,53	9,63	9,27	0,34	3,67
Peak loading force (N)	3571	3575	3579	3582	3581	3578	4,01	0,11
Recoverable horz. deform. #1 (µm)	3,97	4,20	4,29	4,36	4,38	4,24	0,15	3,52
Recoverable horz. deform. #2 (µm)	4,72	4,92	5,12	5,17	5,25	5,03	0,19	3,83
Seating force (N)	357	358	357	358	358	358	0,27	0,07



QUADRO C.36 – Resultado do ensaio de Módulo de Resiliência para a Mistura 3 da Faixa 3 CP3. (Compactação Superpave).

Indirect Tensile Modulus Test

Test method: ASTM D4123-82 / AASHTO TP31 (horiz. lvdts only, assumed Poisson's ratio)
 Data fileName: F:\Resultado MRI\Arimateia\Giratorio\F3M3 - CP3.D003
 Template file name: 122
 Test date & time: 21/03/2011 15:40:35
 Project: Dissertação Mestrado
 Operator: Arimateia
 Comments:

Setup Parameters

Target temperature (°C): 25
 Loading pulse width (ms): 100
 Pulse repetition period (ms): 1000
 Conditioning pulse count: 50

Peak loading force (N): 3575
 Estimated Poisson's ratio: 0.4

Seating force: AASHTO TP31 (10% of peak)

Specimen Information

Identification: F3M3 - CP3
 Remarks...

Dimensions	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Average	Std Dev
Length (mm)	64,7						64,7	
Diameter (mm)	99,6						99,6	

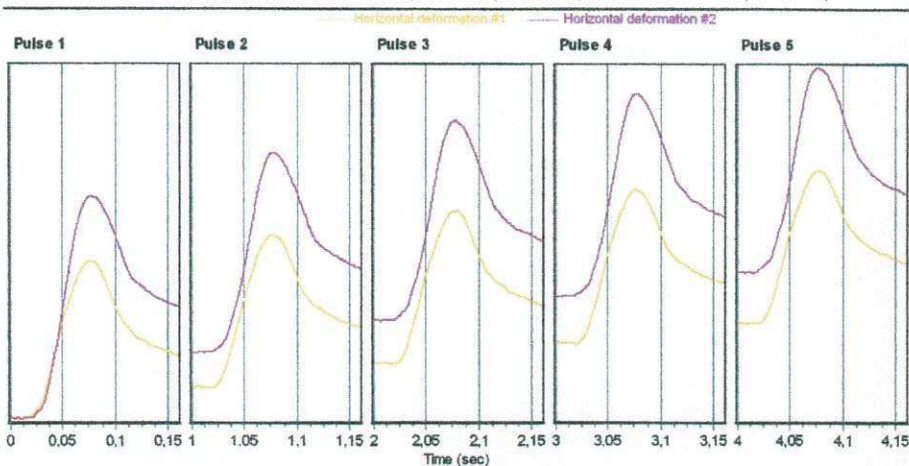
Cross-sectional area (mm²): 7791,3

Test Results

Conditioning pulses: 50
 Core temperature (°C): 29,4
 Skin temperature (°C): 29,4

Perm't horiz'l def'n/pulse (µm): 3,597000

	Pulse 1	Pulse 2	Pulse 3	Pulse 4	Pulse 5	Mean	Std. Dev.	%CV
Resilient modulus (MPa)	4106	3904	3788	3720	3675	3839	154,20	4,02
Total recoverable horiz. deform. (µm)	9,02	9,48	9,79	9,96	10,07	9,66	0,38	3,92
Peak loading force (N)	3577	3573	3582	3576	3575	3577	2,95	0,08
Recoverable horiz. deform. #1 (µm)	4,00	4,11	4,18	4,28	4,26	4,16	0,10	2,30
Recoverable horiz. deform. #2 (µm)	5,02	5,37	5,61	5,70	5,82	5,50	0,28	5,16
Seating force (N)	357	357	357	357	357	357	0,35	0,10



ANEXO D

Compactação por Amassamento (Superpave)

Constam os relatórios de cálculo resultante do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave).

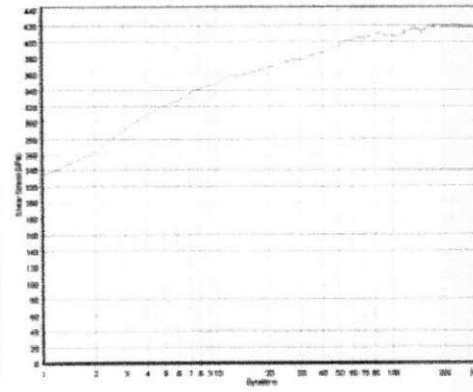
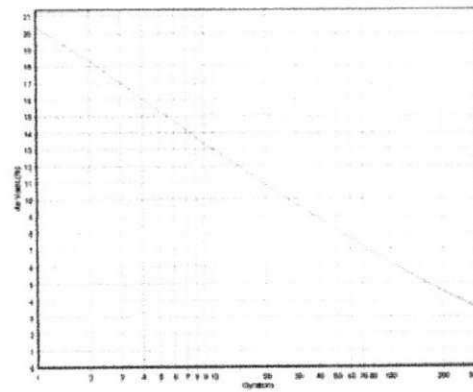
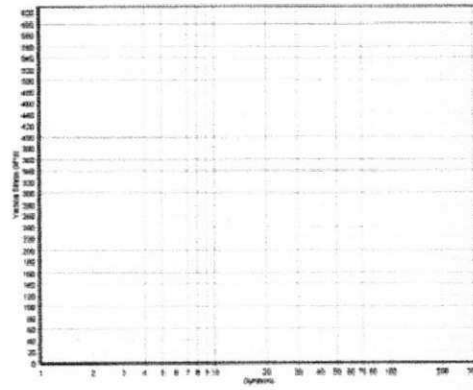
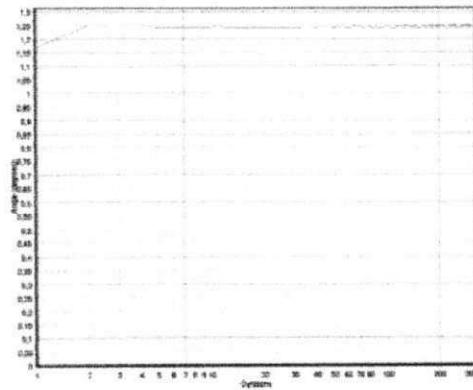
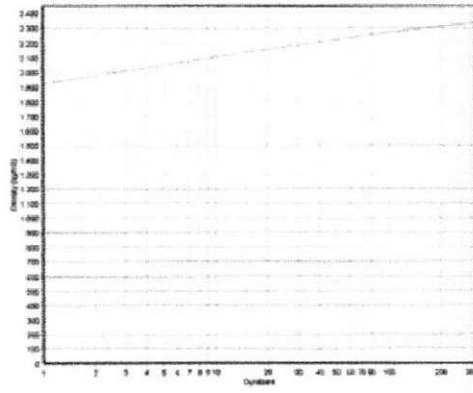
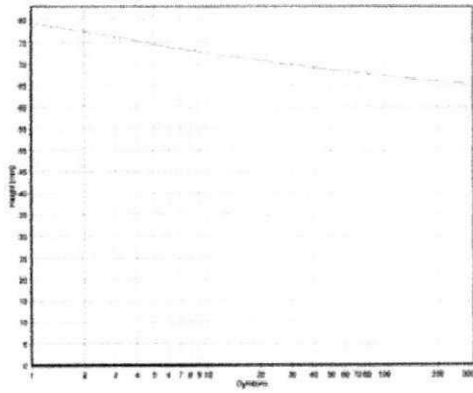
QUADRO D1 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 1 da Faixa 2 CP1.

SERVOPAC Version 1.26

Run number: 40 Date: 10/12/15
 Batch: F2M1 Weight: 1200(g)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min)
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 65.4mm height
 At termination: Gyration=319 Density=2336,22kg/m³ Height=65,40mm

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Time: 02:00
 Diameter: 100mm MaxDensity: 2420(kg/m³)
 Comment:



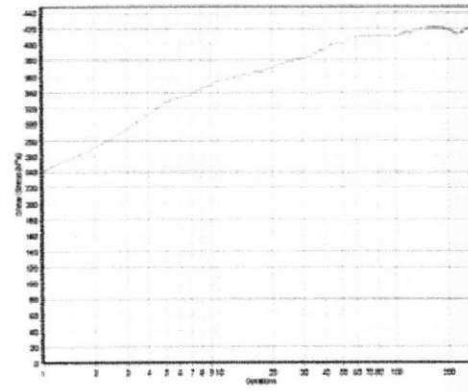
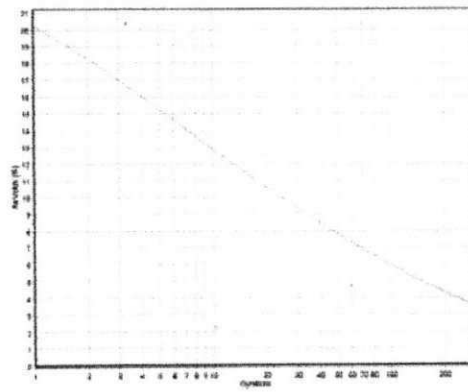
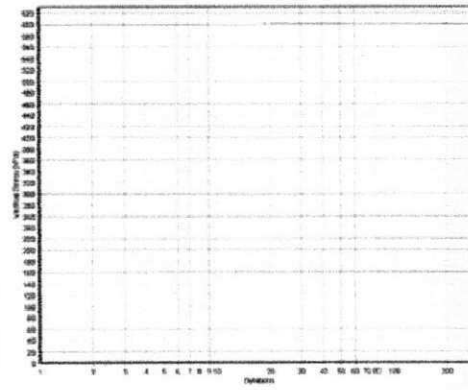
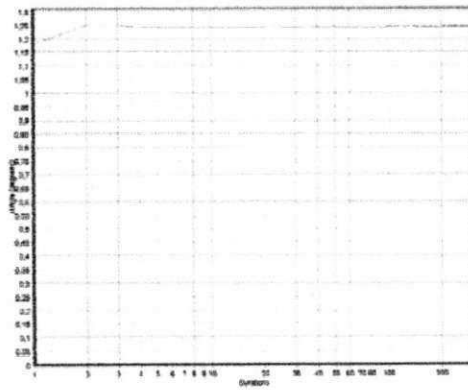
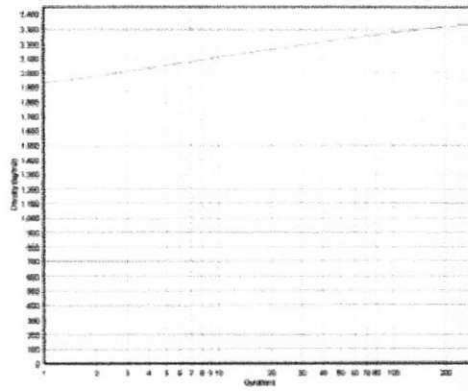
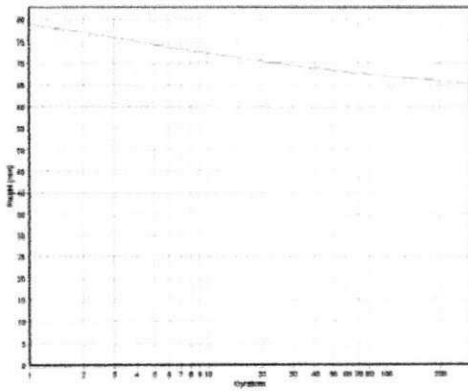
QUADRO D2 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 1 da Faixa 2 CP2.

SERVOPAC Version 1.26

Run number: 42 Date: 10/12/15
 Batch: F2M1 Weight: 1200(g)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min)
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 65.4mm height
 At termination: Gyration=297 Density=2336,22kg/m³ Height=65,40mm

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Time: 02:00
 Diameter: 100mm MaxDensity: 2420 (kg/m³)
 Comment:



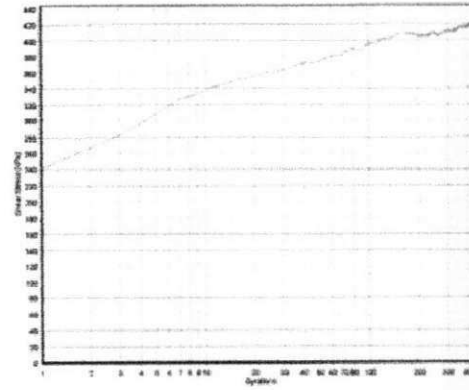
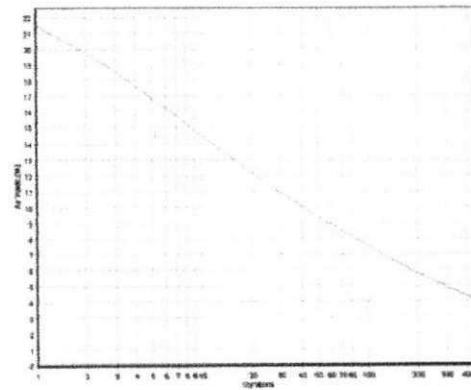
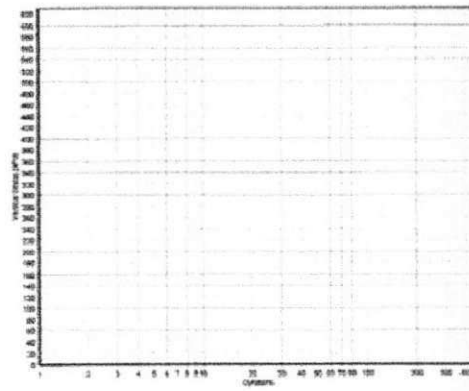
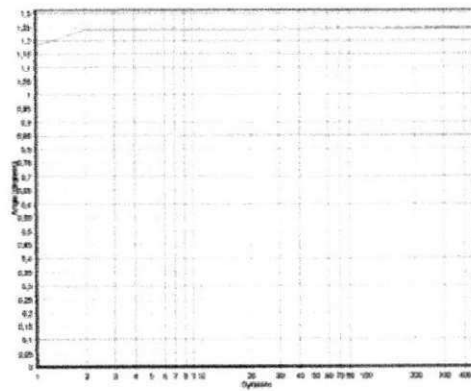
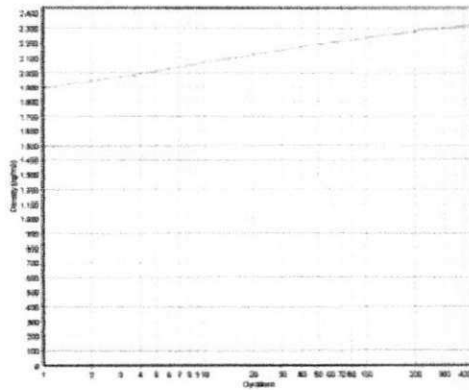
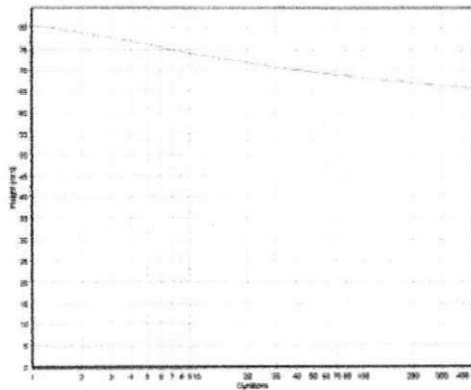
QUADRO D3 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 1 da Faixa 2 CP3.

SERVOPAC Version 1.26

Run number: 48 Date: 10/12/15
 Batch: F2M1 Weight: 1200(g)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min)
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 65.4mm height
 At termination: Gyration=470 Density=2322,37kg/m3 Height=65,79mm

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Time: 02:00
 Diameter: 100mm MaxDensity: 2420(kg/m3)
 Comment:



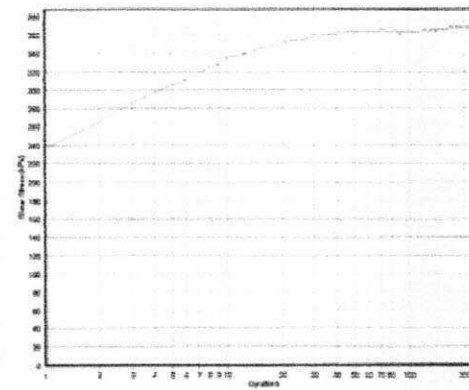
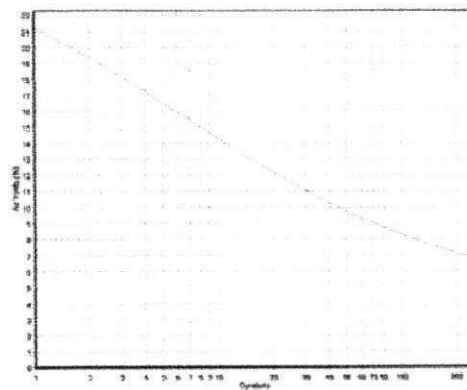
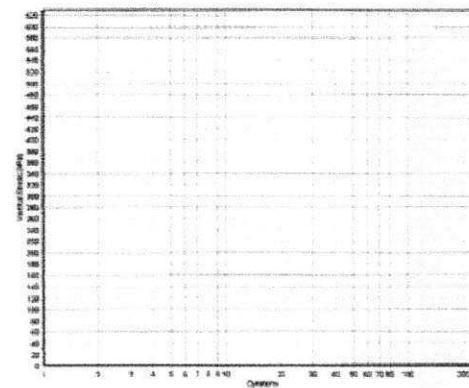
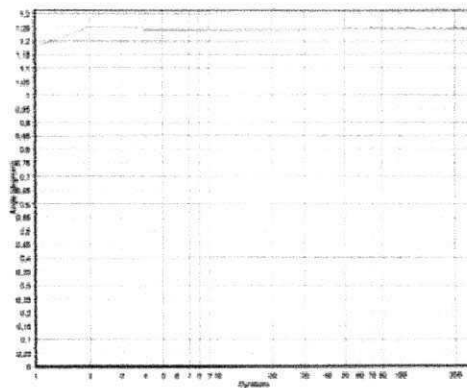
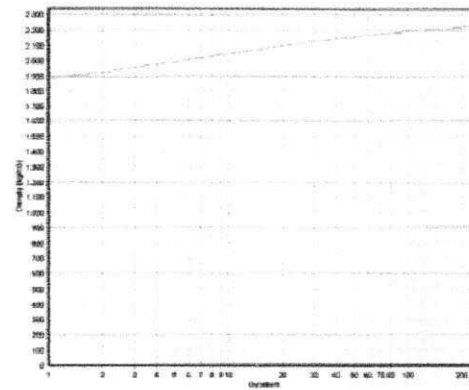
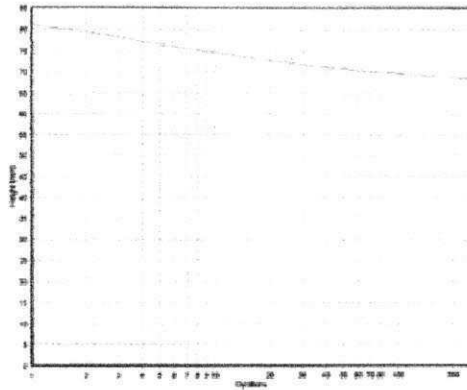
QUADRO D4 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 2 da Faixa 2 CP1.

SEKTOPAC Version 1.26

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Run number: 41
 Batch: F2M2
 Vertical stress: 600kPa
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 67.8mm height
 At termination: Gyration=251 Density=2226,92kg/m³ Height=68,61mm

Date: 10/12/15
 Time: 02:00
 Diameter: 100mm
 MaxDensity: 2390(kg/m³)
 Comment:



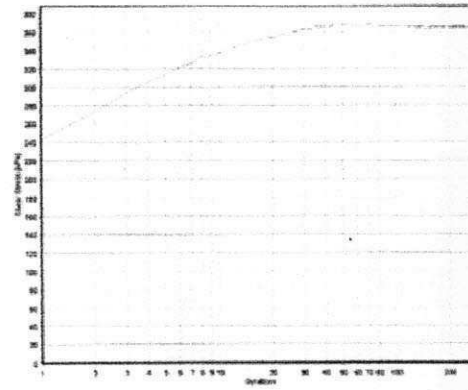
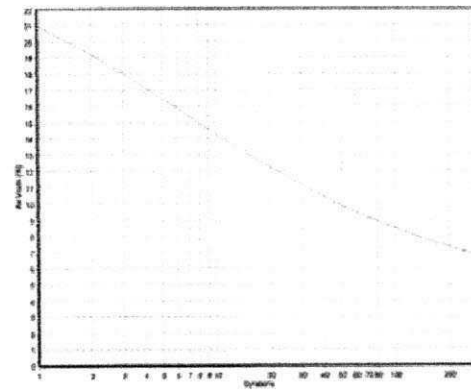
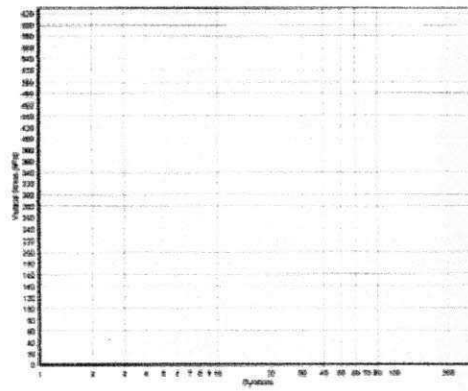
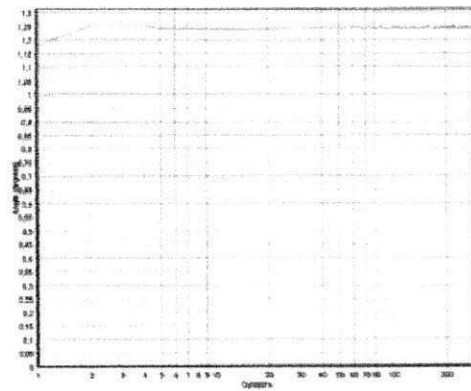
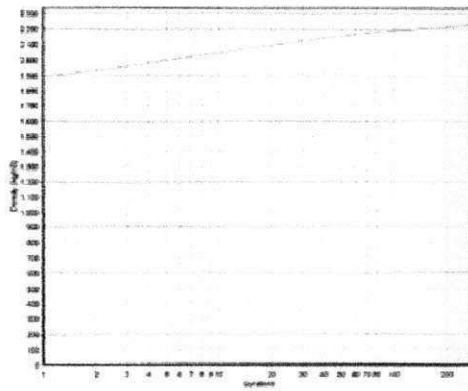
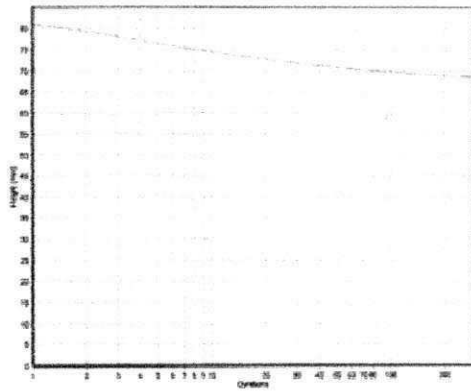
QUADRO D5 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 2 da Faixa 2 CP2.

SERVOPAC Version 1.26

Run number: 54 Date: 10/12/15
 Batch: F2M2 Weight: 1200(g)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min)
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 67.8mm height
 At termination: Gyration=290 Density=2227,24kg/m3 Height=68,60mm

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Time: 02:00
 Diameter: 100mm MaxDensity: 2390(kg/m3)
 Comment:



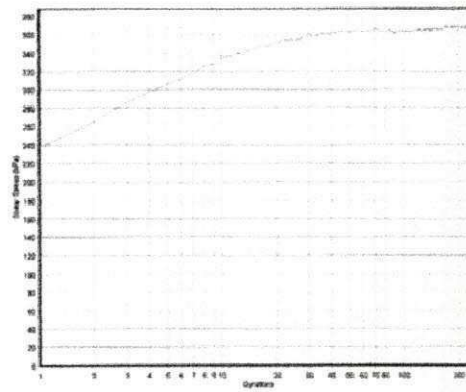
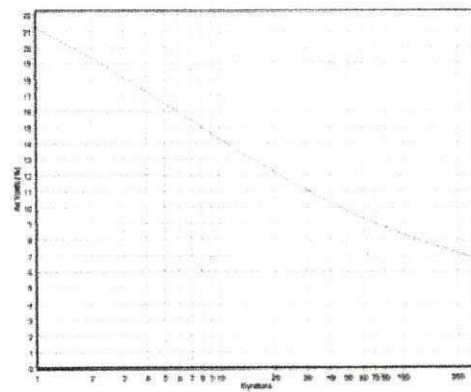
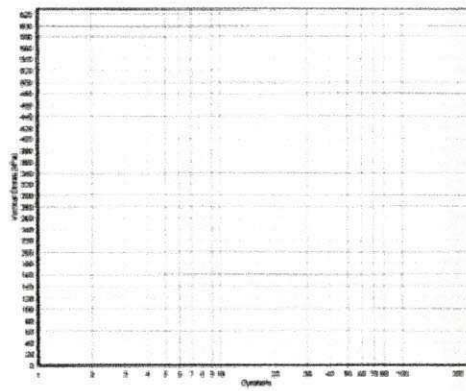
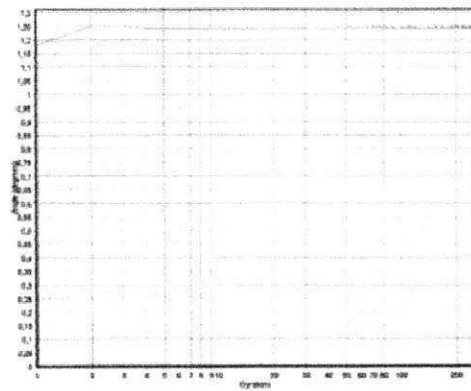
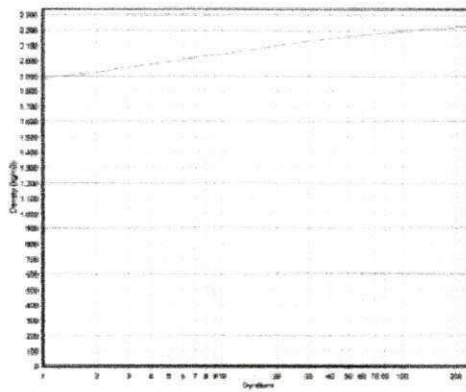
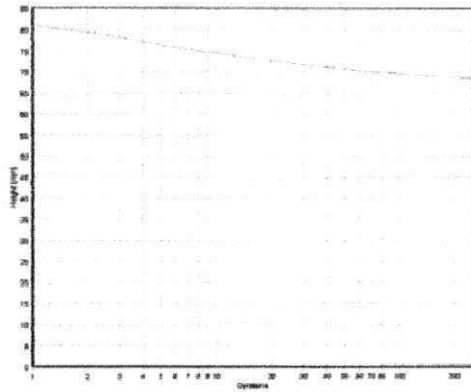
QUADRO D6 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 2 da Faixa 2 CP3.

SERVOPAC Version 1.26

Run number: 41 Date: 10/12/15
 Batch: F2M2 Weight: 1200(g)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min)
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 67.8mm height
 At termination: Gyration=251 Density=2226,92kg/m³ Height=68,61mm

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Time: 02:00
 Diameter: 100mm MaxDensity: 2390(kg/m³)
 Comment:



QUADRO D7 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 3 da Faixa 2 CP1.

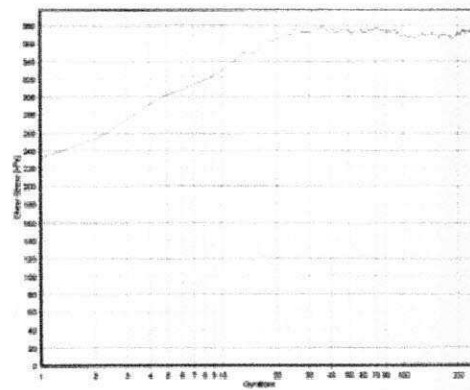
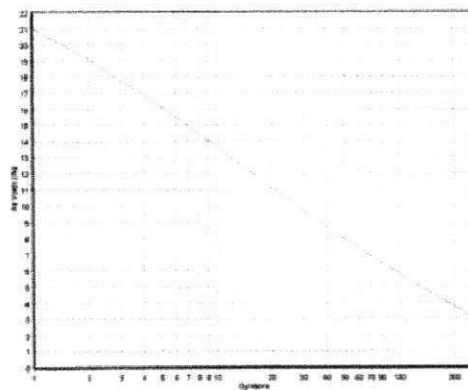
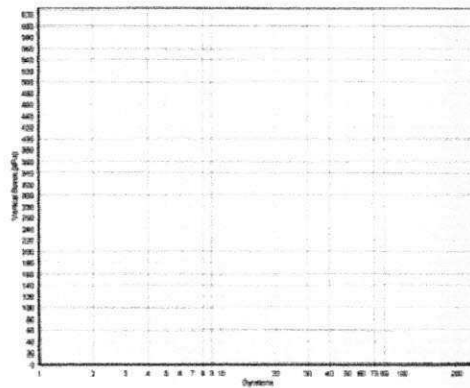
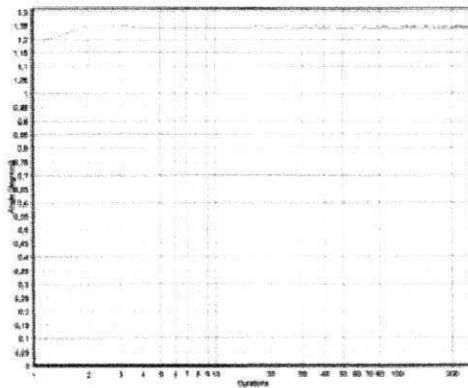
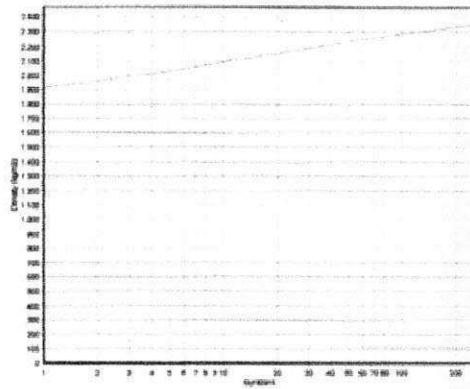
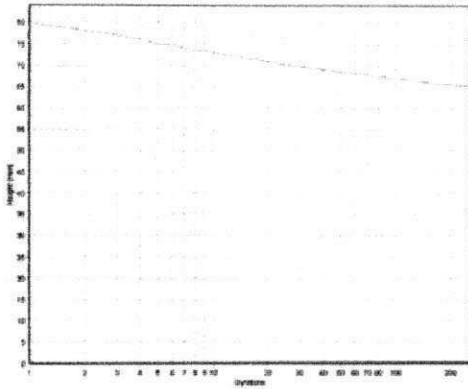
SERVOPAC Version 1.26

Run number: 51 Date: 10/12/15
 Batch: F2M3 Weight: 1200(g)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min)
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 65.0mm height

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Time: 02:00
 Diameter: 100mm MaxDensity: 2425(kg/m3)
 Comment:

At termination: Gyration=257 Density=2350,96kg/m3 Height=64,99mm



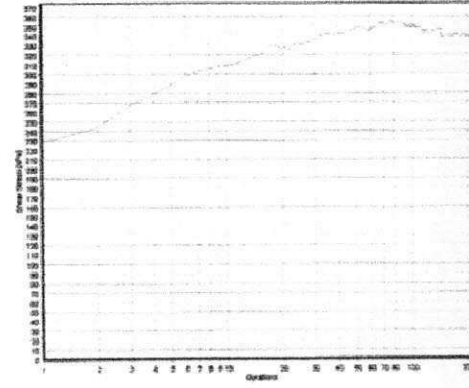
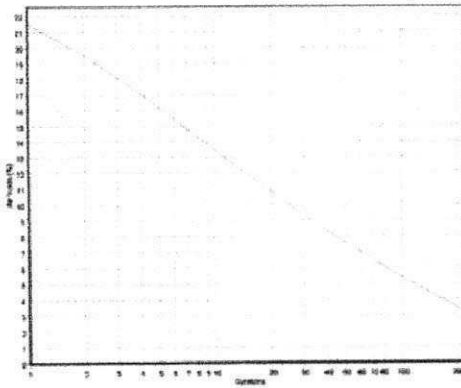
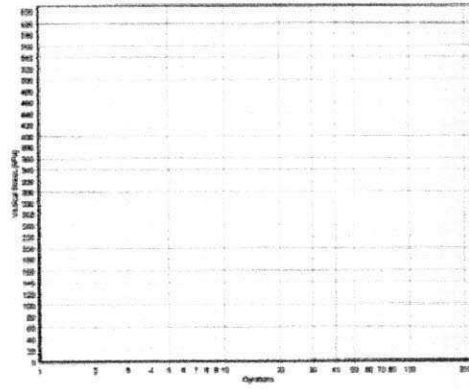
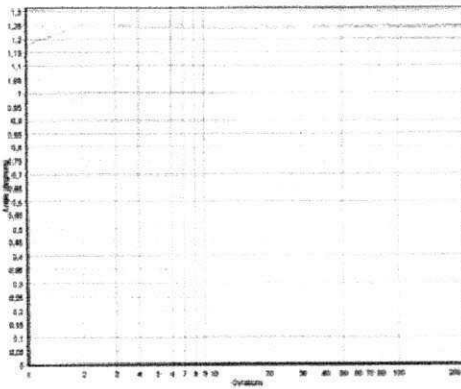
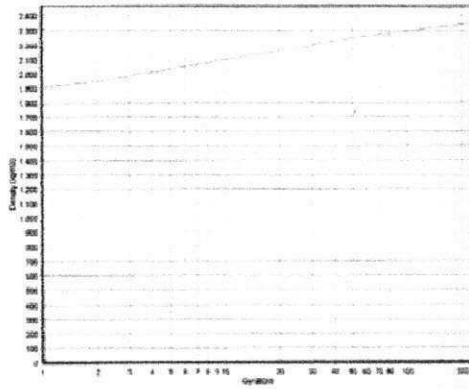
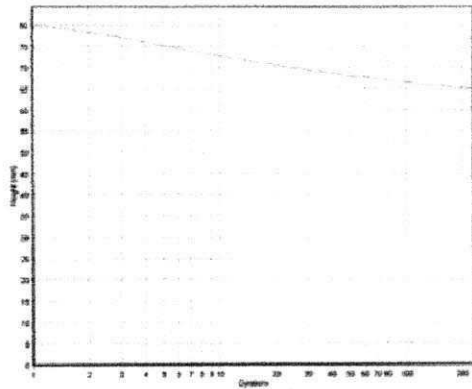
QUADRO D8 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 3 da Faixa 2 CP2.

SERVOPAC Version 1.26

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Run number: 49 Date: 10/12/15
 Batch: F2M3 Weight: 1200(g)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min)
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 65.0mm height
 At termination: Gyration=230 Density=2350,96kg/m3 Height=64,99mm

Time: 02:00
 Diameter: 100mm MaxDensity: 2425(kg/m3)
 Comment:

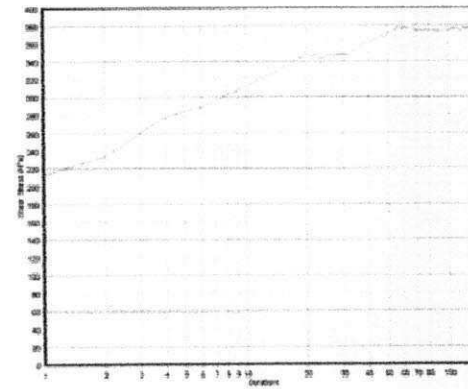
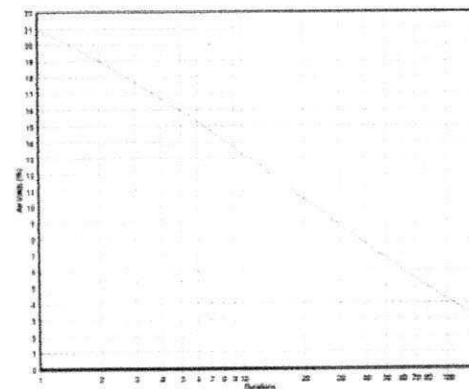
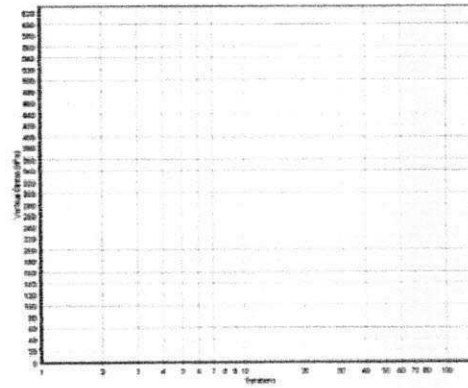
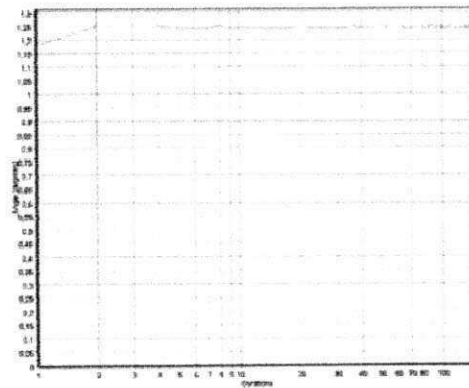
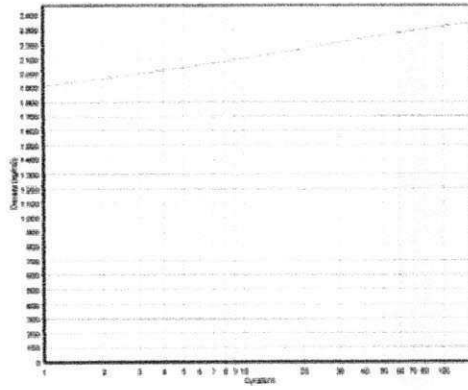
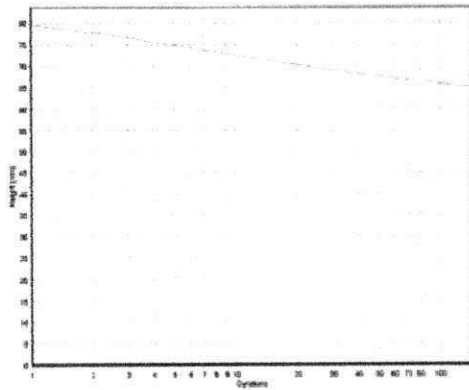


QUADRO D9 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 3 da Faixa 2 CP3.

SEKTOPAC Version 1.26

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Run number: 43 Date: 10/12/15 Time: 02:00
 Batch: F2M3 Weight: 1200(g) Diameter: 100mm MaxDensity: 2425(kg/m3)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min) Comment:
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 65.0mm height
 At termination: Gyration=143 Density=2350,60kg/m3 Height=65,60mm

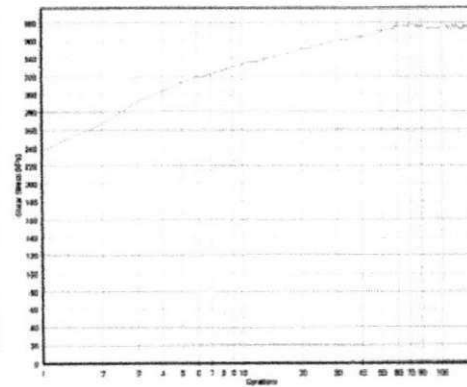
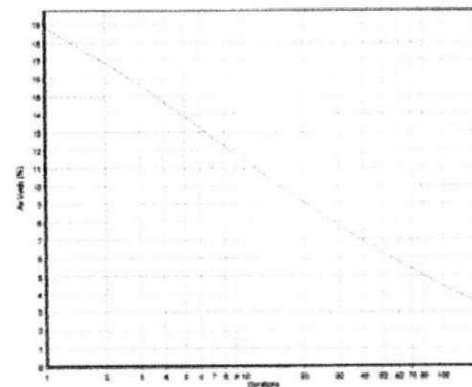
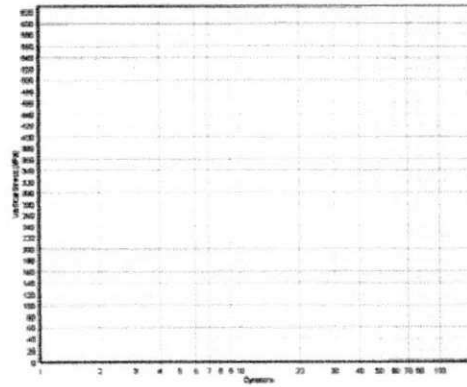
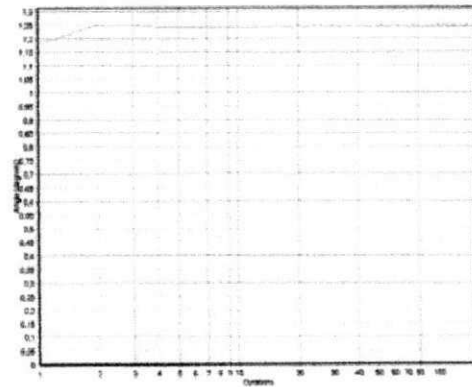
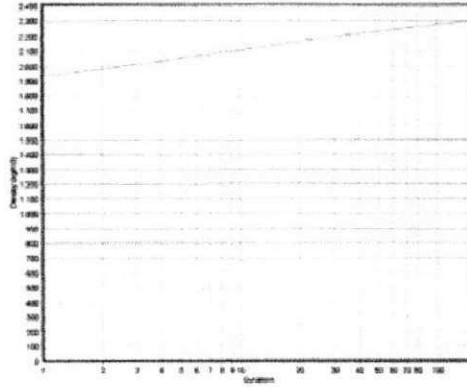
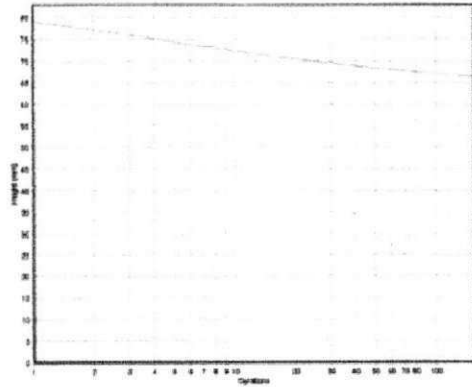


QUADRO D10 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 1 da Faixa 3 CP1.

SERVOPAC Version 1.26

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Run number: 37 Date: 10/12/15 Time: 02:00
 Batch: MF30 Weight: 1200(g) Diameter: 100mm MaxDensity: 2382(kg/m3)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrs/min) Comment:
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 66.4mm height
 At termination: Gyration=154 Density=2301,04kg/m3 Height=66,40mm

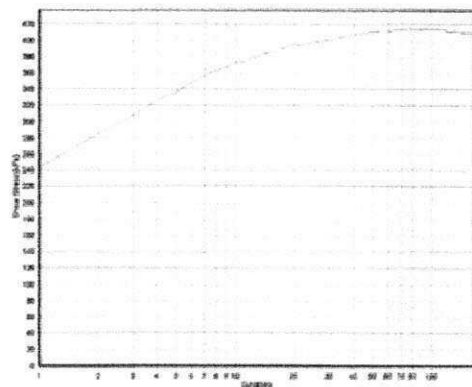
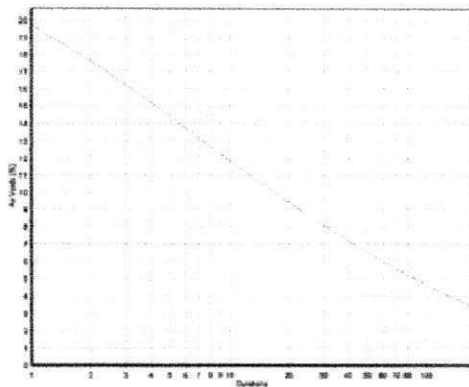
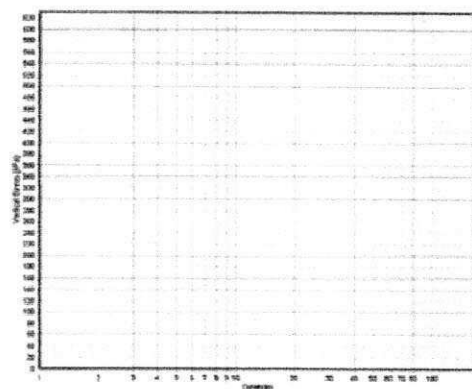
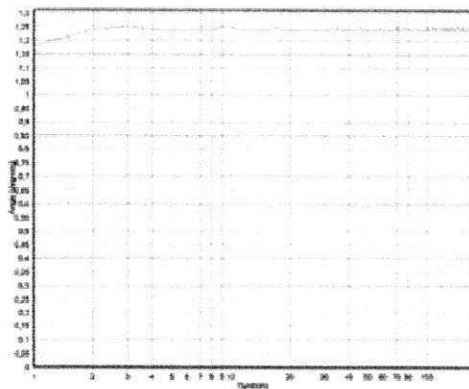
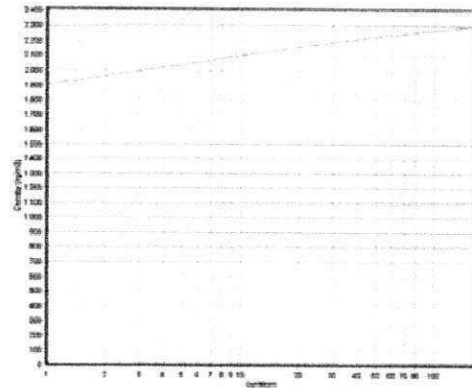
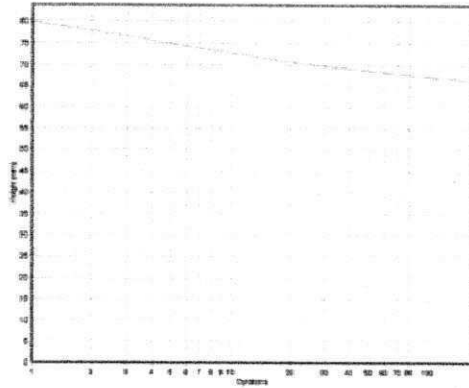


QUADRO D11 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 1 da Faixa 3 CP2.

SERVOPAC Version 1.26

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Run number: 47 Date: 10/12/15 Time: 02:00
 Batch: F3M1 Weight: 1200(g) Diameter: 100mm MaxDensity: 2382(kg/m³)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min) Comment:
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 66.4mm height
 At termination: Gyration=169 Density=2301,04kg/m³ Height=66,40mm



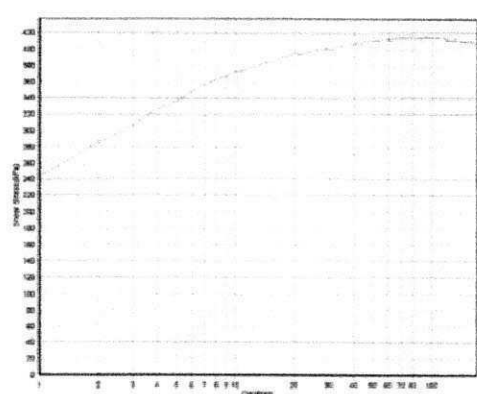
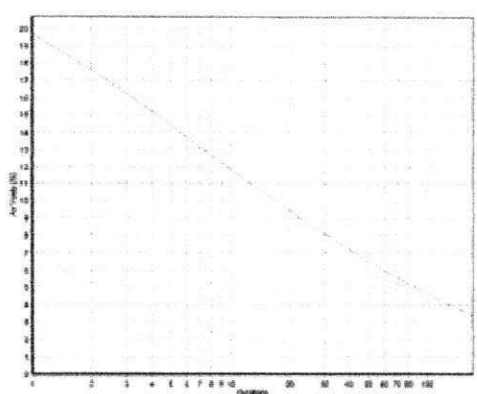
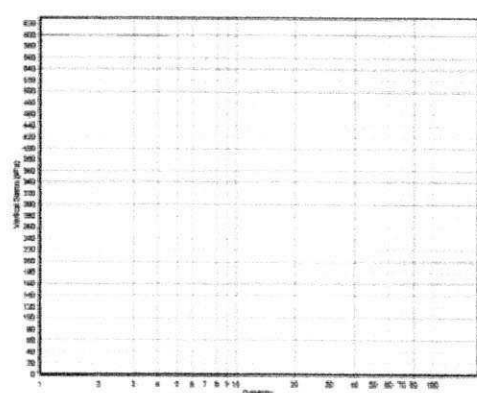
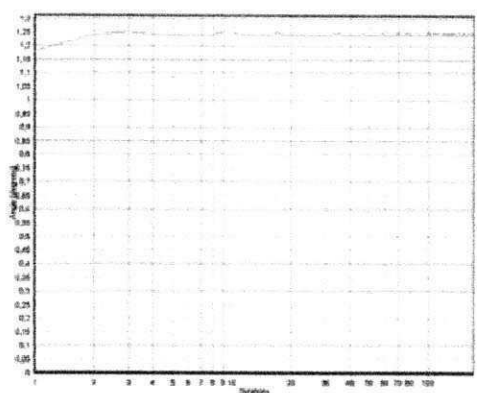
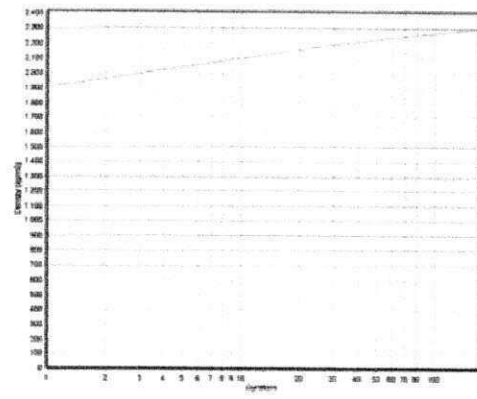
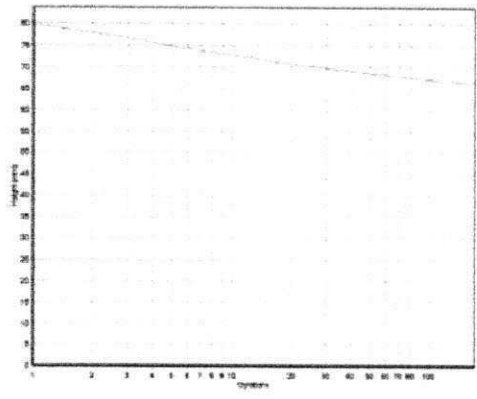
QUADRO D12 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 1 da Faixa 3 CP3.

SERVOPAC Version 1.26

Run number: 47 Date: 10/12/15
 Batch: F3M1 Weight: 1200(g)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min)
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 66.4mm height
 At termination: Gyration=169 Density=2301,04kg/m³ Height=66,40mm

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Time: 02:00
 Diameter: 100mm MaxDensity: 2382(kg/m³)
 Comment:



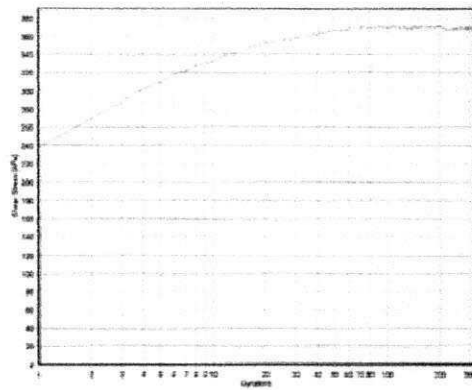
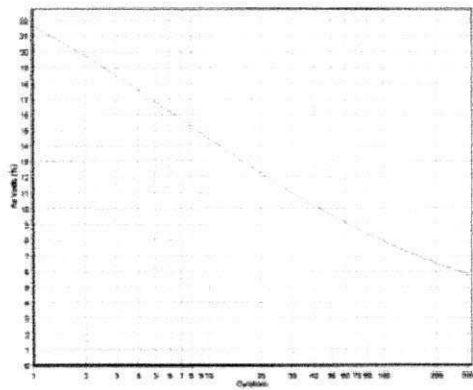
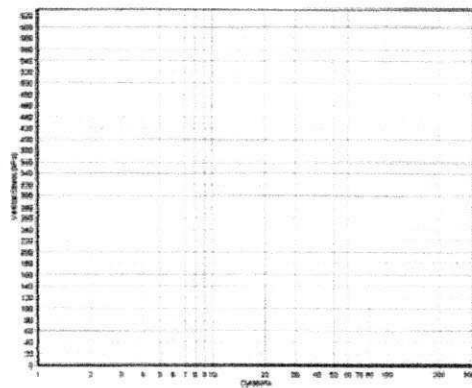
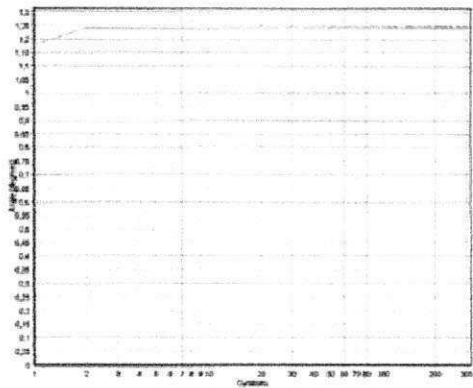
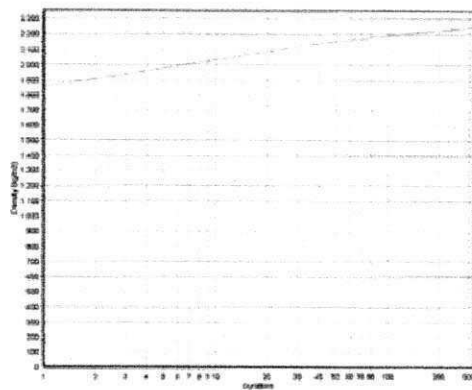
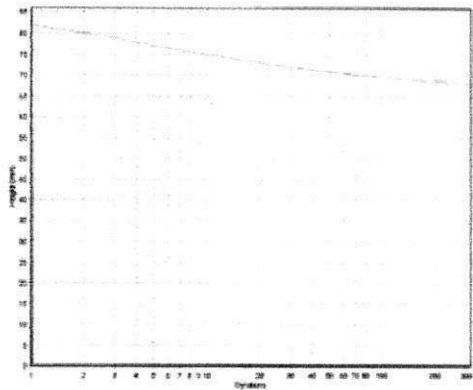
QUADRO D13 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 2 da Faixa 3 CP1.

SERVOPAC Version 1.26

Run number: 44 Date: 10/12/15
 Batch: FMM2 Weight: 1200(g)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrs/min)
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 68.1mm height
 At termination: Gyration=318 Density=2243,59kg/m3 Height=68,10mm

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Time: 02:00
 Diameter: 100mm MaxDensity: 2380(kg/m3)
 Comment:



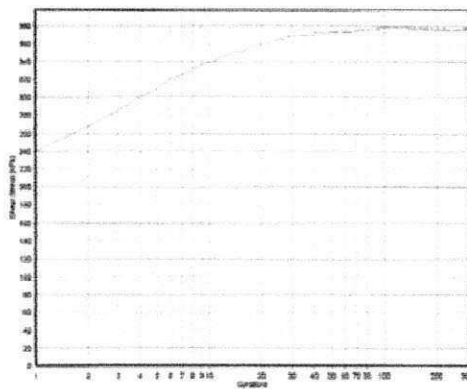
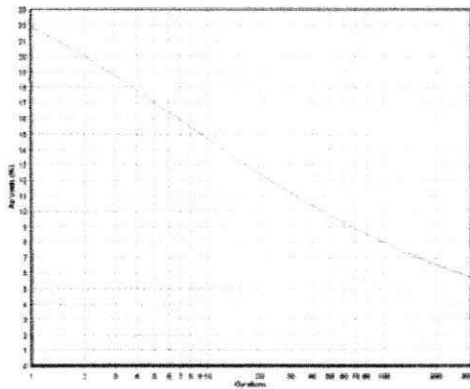
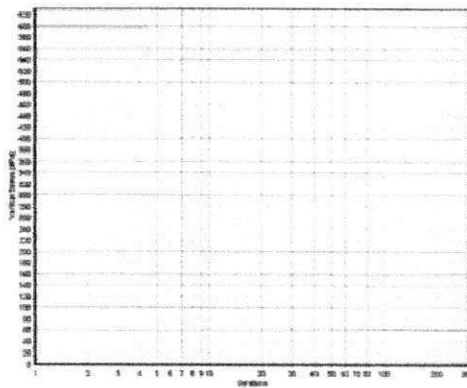
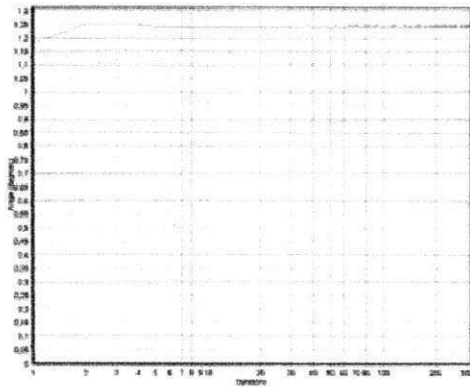
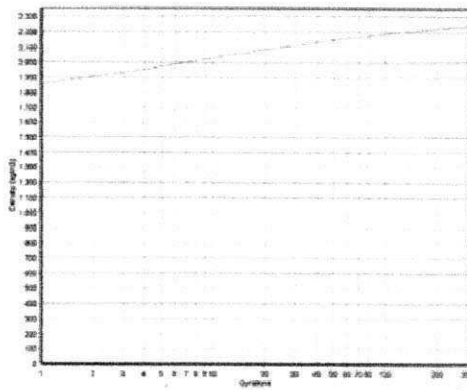
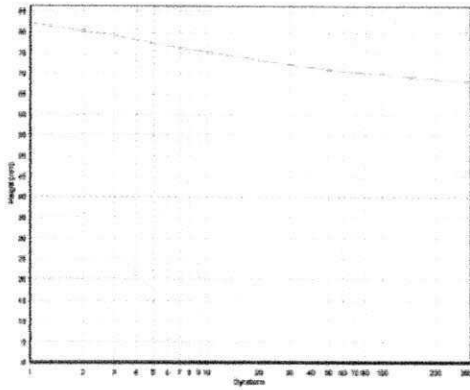
QUADRO D14 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 2 da Faixa 3 CP2.

SERVOPAC Version 1.26

Run number: 45
 Batch: F3M2
 Vertical stress: 600kPa
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 68.1mm height
 At termination: Gyration=316 Density=2243,59kg/m3 Height=68,10mm

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Time: 02:00
 Diameter: 100mm
 MaxDensity: 2390(kg/m3)
 Comment:



QUADRO D15 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 2 da Faixa 3 CP3.

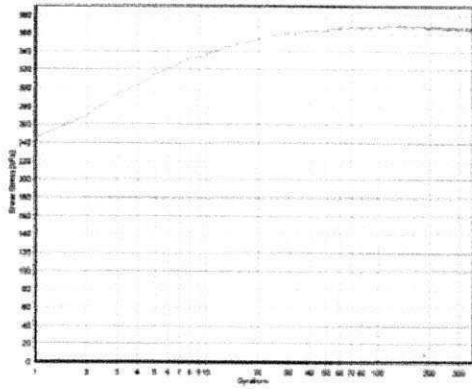
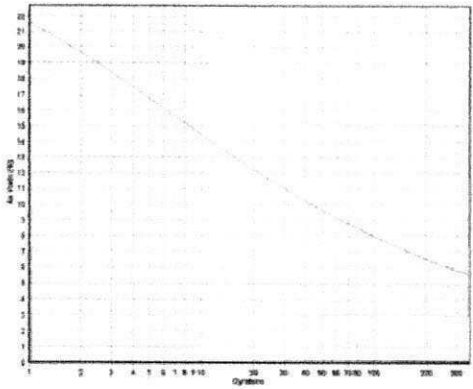
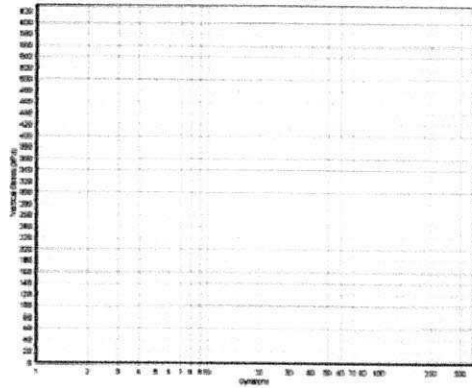
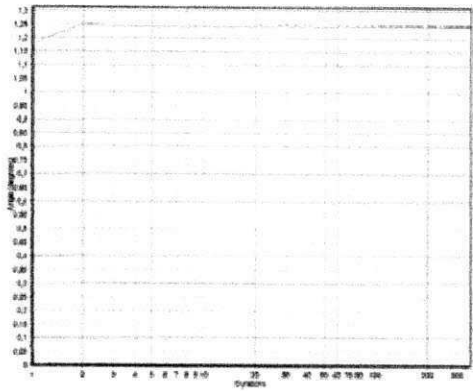
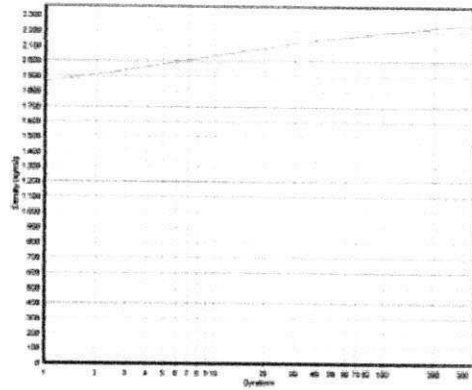
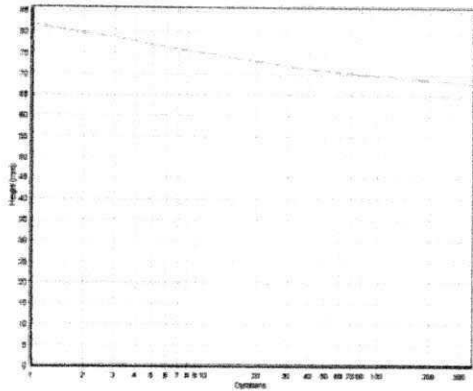
SERVOPAC Version 1.26

Run number: 53 Date: 10/12/15
 Batch: E3M2 Weight: 1290(g)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min)
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 68.0mm height

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Time: 02:00
 Diameter: 100mm MaxDensity: 2380(kg/m³)
 Comment:

At termination: Gyration=356 Density=2246,89kg/m³ Height=68,00mm



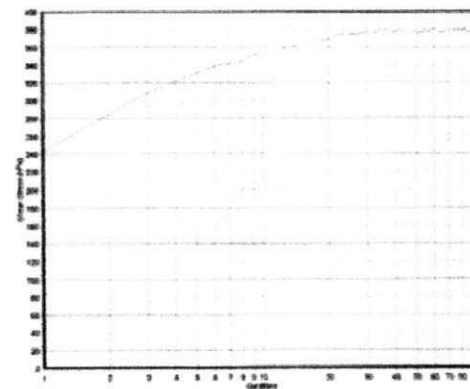
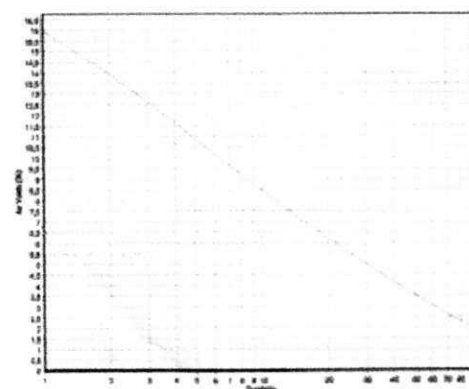
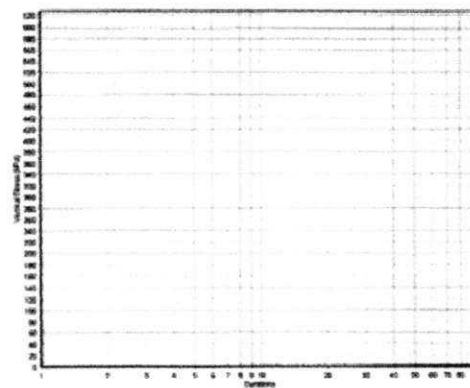
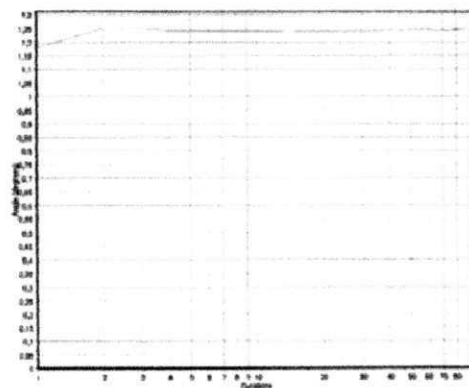
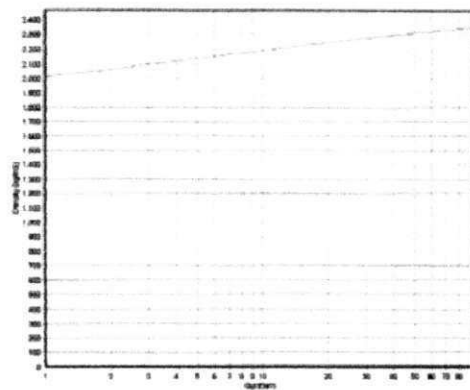
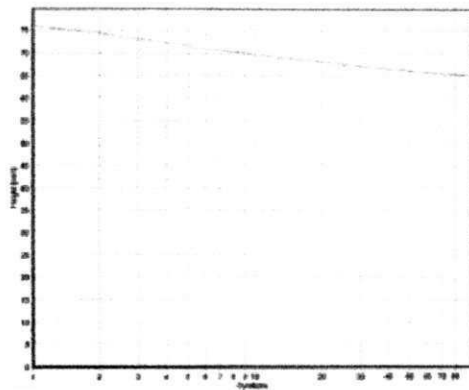
QUADRO D16 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 3 da Faixa 3 CP1.

SERVOPAC Version 1.26

Run number: 50 Date: 10/12/15
 Batch: F3M3 Weight: 1200(g)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min)
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 65.0mm height
 At termination: Gyration=96 Density=2350,60kg/m3 Height=65,00mm

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Time: 02:00
 Diameter: 100mm MaxDensity: 2385(kg/m3)
 Comment:



QUADRO D17 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 3 da Faixa 3 CP2.

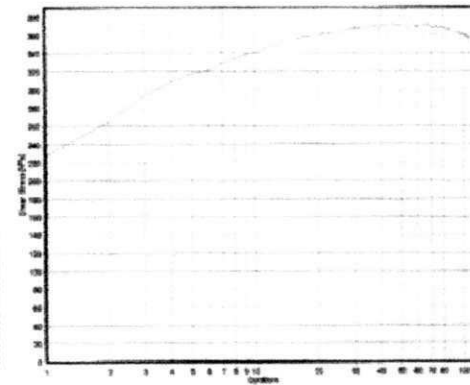
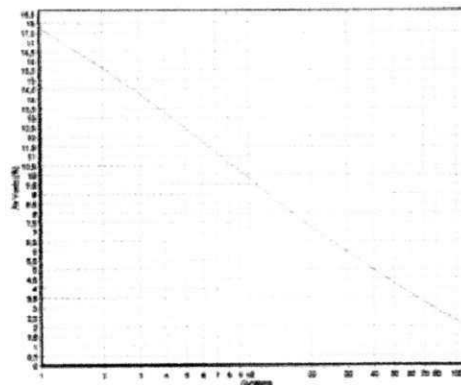
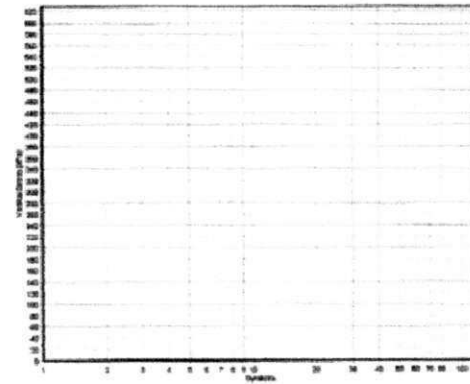
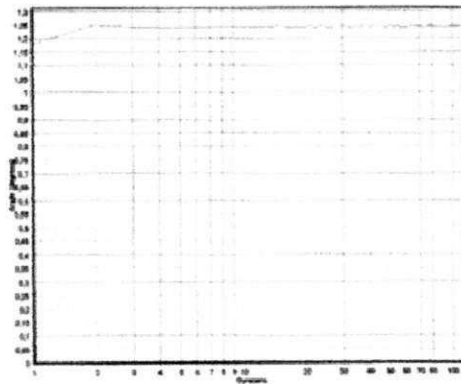
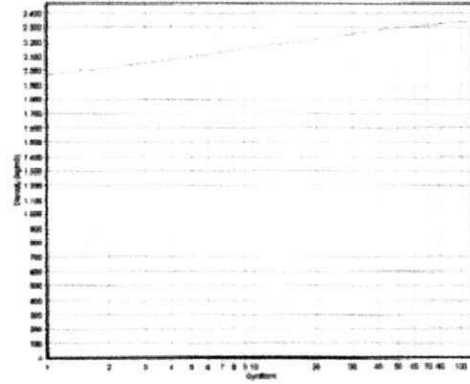
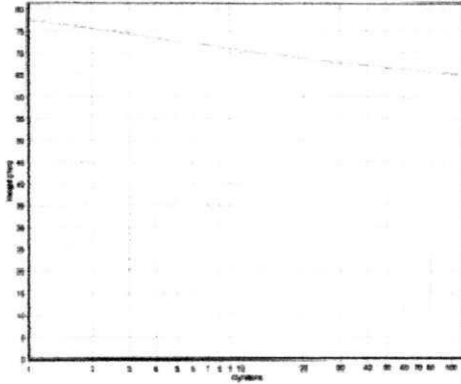
SERVOPAC Version 1.26

Run number: 52 Date: 10/12/15
 Batch: F3M3 Weight: 1200(g)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min)
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 65.0mm height

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Time: 02:00
 Diameter: 100mm MaxDensity: 2395(kg/m3)
 Comment:

At termination: Gyration=118 Density=2351,32kg/m3 Height=64,98mm



QUADRO D18 – Relatório do ensaio de Compactação por Amassamento (Superpave) para a Mistura 3 da Faixa 3 CP3.

SERVOPAC Version 1.26

Run number: 46 Date: 10/12/15
 Batch: F3M3 Weight: 1200(g)
 Vertical stress: 600kPa Rate: 30 (gyrn/min)
 Control mode: 1.25 degrees (gyratory angle)
 Termination: 65.0mm height
 At termination: Gyration=108 Density=2390,96kg/m3 Height=64,99mm

Industrial Process Controls (Australia) Limited

Time: 02:00
 Diameter: 100mm MaxDensity: 2395(kg/m3)
 Comment:

