

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

Curso de Engenharia Civil

Jacson Johnson Kern Beck

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE MISTURAS
ASFÁLTICAS CONVENCIONAIS E MODIFICADAS
PREPARADAS COM DIFERENTES TEORES DE FÍLER**

Ijuí/RS

2005

Jacson Johnson Kern Beck

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE MISTURAS
ASFÁLTICAS CONVENCIONAIS E MODIFICADAS
PREPARADAS COM DIFERENTES TEORES DE FÍLER**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

**Ijuí
2005**

Jacson Johnson Kern Beck

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS
CONVENCIONAIS E MODIFICADAS PREPARADAS COM
DIFERENTES TEORES DE FÍLER**

**Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil
Aprovação na disciplina e formação de nível superior no curso de
Engenharia Civil.
Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul**

M. Eng. Prof. Luis Eduardo Modler
Coordenador do Curso de Engenharia Civil da UNIJUÍ

Aprovado em Junho de 2005

Dr. Eng. Prof. Luciano Pivoto Specht
Orientador

M. Eng. Prof. Cristina Eliza Pozzobom
Banca Examinadora

M. Eng. Prof. Luis Eduardo Modler
Banca Examinadora

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha esposa, Grazielle, aos meus pais, Vilmar e Angela e a minha irmã, Jaqueline.

AGRADECIMENTOS

Agradeço de coração...

A Deus, pelo Dom da vida e proteção.

À minha esposa Grazielle, pelo companheirismo de todas as horas, paciência, incentivo e amor expresso sempre e de várias maneiras.

À meus pais, Angela e Vilmar, pelo incansável apoio que sempre dedicaram á mim, mesmo quando as coisas não fluíam como de esperado; por serem meu exemplo de perseverança e união.

À Vó Cacilda, por manter as portas de sua casa sempre abertas pra mim e acompanhar de perto minha caminhada diária.

Aos meus avós Célia e Rudi, pelo incentivo e carinho dispensado sempre.

Ao Luciano, mestre de muitos momentos, agradeço pela paciência e dedicação que dispensa a mim.

Ao Tiago e Fábio, pelo auxílio na execução dos ensaios que deram base a este trabalho, e pelo companheirismo.

Ao Leandro, Gláucio, Ederli, Marlo, Pablo, Turíbio e Ivam pela parceria e amizade conquistada ao longo dos anos de academia. Sentirei Saudades...

À Cláudia, Salete e Luiz por toda a dedicação e disponibilidade.

RESUMO

Este estudo visa avaliar as propriedades volumétricas e mecânicas do concreto asfáltico preparado com diferentes teores de fíler (4, 7 e 9%) e com dois tipos de ligantes, o CAP 50/60 e o asfalto-borracha. A metodologia de dosagem e a confecção dos corpos-de-prova estudados foi realizada através do Método Marshall. Foram determinados o teor de ligante de projeto, volume de vazios, relação betume vazios, vazios do agregado mineral, massa específica aparente, estabilidade e fluência e para a determinação da relação entre o teor de betume e o teor de fíler da mistura. Os materiais pétreos empregados no projeto se enquadraram perfeitamente na granulometria. As misturas feitas com asfalto-borracha tiveram um consumo maior de ligante se comparadas com as feitas com CAP 50/60. Com a adição de fíler nas misturas, houve uma melhora nas propriedades físicas, pois quanto maior for a adição de fíler, menor será o consumo de ligante da mistura e maior será sua massa específica. Os valores da estabilidade também aumentam na medida em que se aumenta o teor de fíler e, as misturas feitas com CAP 50/60 obtiveram valores de estabilidade maiores que as feitas com asfalto-borracha. As misturas feitas com CAP 50/60 obtiveram valores de fluência maiores na medida em que se aumentou o teor de fíler.

Palavras-chaves: Misturas Asfálticas; Asfalto-Borracha; Fíler .

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE QUADROS	XII
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	13
1.2 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO.....	13
1.3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DO ESTUDO.....	13
1.3.1 Objetivo geral.....	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 JUSTIFICATIVA.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 O PNEU.....	16
2.1.1 Pneus inservíveis.....	17
2.1.2 Utilização dos pneus inservíveis.....	18
2.2 CONCRETO ASFÁLTICO.....	21
2.2.1 Ligantes asfálticos.....	21
2.2.2 Agregados para misturas asfálticas.....	25
2.2.3 Fíler.....	26
2.3 DOSAGENS DE MISTURAS ASFÁLTICAS.....	28
2.3.1 Método de dosagem dos agregados.....	28
2.3.2 Método de dosagem da mistura asfáltica.....	29
2.3.3 Método de dosagem Marshall.....	30
3 METODOLOGIA	32
3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO.....	32
3.2 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS.....	32
3.3 MATERIAIS UTILIZADOS.....	34
3.3.1 Agregados minerais.....	34
3.3.2 Cimento asfáltico.....	36
3.4 ENSAIOS REALIZADOS.....	37
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	42
4.1 MISTURA COM CAP 50/60, TEOR DE FÍLER 4%.....	42
4.2 MISTURA COM ASFALTO-BORRACHA, TEOR DE FÍLER 4%.....	46
4.3 MISTURA COM CAP 50/60, TEOR DE FÍLER 7%.....	51
4.4 MISTURA COM ASFALTO-BORRACHA, TEOR DE FÍLER 7%.....	55
4.5 MISTURA COM CAP 50/60, TEOR DE FÍLER 9%.....	60
4.6 MISTURA COM ASFALTO-BORRACHA, TEOR DE FÍLER 9%.....	64
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	69
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
6.1 CONCLUSÕES.....	75
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	76
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
8 APÊNDICE A – Ficha do Ensaio de Granulometria dos Agregados e Índice de Lamelaridade.....	79

9 APÊNDICE B – Ficha do Ensaio Marshall para o Ligante Tipo CAP 50/60 com 4% de Fíler.....	81
10 APÊNDICE C – Ficha do Ensaio Marshall para o Ligante Tipo Asfalto-Borracha com 4% de Fíler.....	83
11 APÊNDICE D – Ficha do Ensaio Marshall para o Ligante Tipo CAP 50/60 com 7% de Fíler.....	85
12 APÊNDICE E – Ficha do Ensaio Marshall para o Ligante Tipo Asfalto-Borracha com 7% de Fíler.....	87
13 APÊNDICE F – Ficha do Ensaio Marshall para o Ligante Tipo CAP 50/60 com 9% de Fíler.....	89
14 APÊNDICE G – Ficha do Ensaio Marshall para o Ligante Tipo Asfalto-Borracha com 9% de Fíler.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Curva Granulométrica das Misturas com 4% de Fíler.....	33
Figura 3.2: Curva Granulométrica das Misturas com 7% de Fíler.....	33
Figura 3.3: Curva Granulométrica das Misturas com 9% de Fíler.....	34
Figura 3.4: Localização da jazida e do derrame basáltico.....	35
Figura 3.5: Curva Granulométrica dos Agregados Utilizados.....	36
Figura 3.6: Separação e pesagem dos agregados.....	39
Figura 3.7: Separação e pesagem dos agregados.....	39
Figura 3.8: Extração dos corpos-de-prova dos moldes metálicos.....	40
Figura 3.9: Imersão dos corpos-de-prova em banho-maria.....	40
Figura 3.10: Rompimento dos corpos-de-prova em prensa Marshall.....	41
Figura 4.1: Curva de volume de vazios, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%.....	42
Figura 4.2: Curva de vazios do agregado mineral, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%.....	43
Figura 4.3: Curva relação de betume/vazios, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%.....	43
Figura 4.4: Curva de Densidade Aparente, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%.....	44
Figura 4.5: Curva de Estabilidade, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%.....	44
Figura 4.6: Curva de Fluência, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%.....	45
Figura 4.7: Curva Relação Estabilidade/Fluência, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%.....	45
Figura 4.8: Curva de volume de vazios, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%.....	47
Figura 4.9: Curva de vazios do agregado mineral, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%.....	47
Figura 4.10: Curva relação de betume/vazios, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%.....	48
Figura 4.11: Curva de Densidade Aparente, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%.....	48
Figura 4.12: Curva de Estabilidade, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%.....	49

Figura 4.13: Curva de Fluência, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%....	49.
Figura 4.14: Curva Relação Estabilidade/Fluência, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%.....	50
Figura 4.15: Curva de volume de vazios, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%.....	51
Figura 4.16: Curva de vazios do agregado mineral, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%.....	52
Figura 4.17: Curva relação de betume/vazios, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%.....	52
Figura 4.18: Curva de Densidade Aparente, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%.....	53
Figura 4.19: Curva de Estabilidade, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%.....	53
Figura 4.20: Curva de Fluência, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%.....	54
Figura 4.21: Curva Relação Estabilidade/Fluência, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%.....	54
Figura 4.22: Curva de volume de vazios, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%.....	56
Figura 4.23: Curva de vazios do agregado mineral, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%.....	56
Figura 4.24: Curva relação de betume/vazios, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%.....	57
Figura 4.25: Curva de Densidade Aparente, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%.....	57
Figura 4.26: Curva de Estabilidade, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%.....	58
Figura 4.27: Curva de Fluência, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%.....	58
Figura 4.28: Curva Relação Estabilidade/Fluência, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%.....	59
Figura 4.29: Curva de volume de vazios, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%.....	60
Figura 4.30: Curva de vazios do agregado mineral, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%.....	61
Figura 4.31: Curva relação de betume/vazios, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%.....	61
Figura 4.32: Curva de Densidade Aparente, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%.....	62

Figura 4.33: Curva de Estabilidade, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%.....62

Figura 4.34: Curva de Fluência, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%.....63

Figura 4.35: Curva Relação Estabilidade/Fluência, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%.....63

Figura 4.36: Curva de volume de vazios, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%.....65

Figura 4.37: Curva de vazios do agregado mineral, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%.....65

Figura 4.38: Curva relação de betume/vazios, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%.....66

Figura 4.39: Curva de Densidade Aparente, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%.....66

Figura 4.40: Curva de Estabilidade, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%.....67

Figura 4.41: Curva de Fluência, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%.....67

Figura 4.42: Curva Relação Estabilidade/Fluência, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%.....68

Figura 5.1: Resultado do teor de ligante em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado.....70

Figura 5.2: Resultado da relação betume/vazios em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado.....71

Figura 5.3: Resultado do volume de vazios dos agregados minerais em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado.....71

Figura 5.4: Resultado da massa específica aparente em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado.....72

Figura 5.5: Resultado da estabilidade em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado.....73

Figura 5.6: Resultado da fluência em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado.....73

Figura 5.7: Resultado da relação estabilidade/fluência em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado.....74

Figura 5.8: Resultado da relação fíler/betume em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado.....74

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Prazos e quantidades para coleta e destinação de pneumáticos.....	18
Quadro 2.2: Classificação atual dos materiais betuminosos.....	23
Quadro 3.1: Índice de Lamelaridade do Agregado Graúdo (DAER108/01).....	36
Quadro 3.2: Caracterização do ligante ECOFLEX B.....	36
Quadro 4.1: Resumo dos resultados das propriedades finais da mistura de CAP 50/60 com teor de 4% de fíler.....	46
Quadro 4.2: Resumo dos resultados das propriedades finais da mistura de asfalto borracha com teor de 4% de fíler.....	50
Quadro 4.3: Resumo dos resultados das propriedades finais da mistura de CAP 50/60 com teor de 7% de fíler.....	55
Quadro 4.4: Resumo dos resultados das propriedades finais da mistura de asfalto-borracha com teor de 7% de fíler.....	59
Quadro 4.5: Resumo dos resultados das propriedades finais da mistura de CAP 50/60 com teor de 9% de fíler.....	64
Quadro 4.6: Resumo dos resultados das propriedades finais da mistura de asfalto-borracha com teor de 9% de fíler.....	68

1. INTRODUÇÃO

1.1. Delimitação do Tema

Tendo em mente a importância do transporte rodoviário no país, realizar-se-á um estudo buscando verificar a importância de diferentes ligantes e teores de fíler no comportamento de misturas em concreto asfáltico utilizando-se, para isso, dois tipos de ligantes e três teores de fíler.

1.2. Formulação da Questão de Estudo

QUAL A INFLUÊNCIA DO ASFALTO-BORRACHA E DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TEORES DE FÍLER NO COMPORTAMENTO DO CONCRETO ASFÁLTICO?

1.3. Definição dos Objetivos do Estudo

1.3.1. Objetivo Geral

Este estudo visa avaliar as propriedades volumétricas e mecânicas do concreto asfáltico preparado com diferentes teores de fíler com ligante convencional e modificado com borracha.

1.3.2. Objetivos Específicos

Este estudo tem como objetivos específicos avaliar as propriedades volumétricas e mecânicas das seguintes misturas de concreto asfáltico:

- Concreto asfáltico utilizando ligante convencional com 4% de fíler;
- Concreto asfáltico utilizando ligante convencional com 7% de fíler;
- Concreto asfáltico utilizando ligante convencional com 9% de fíler;
- Concreto asfáltico utilizando asfalto borracha com 4% de fíler;
- Concreto asfáltico utilizando asfalto borracha com 7% de fíler;
- Concreto asfáltico utilizando asfalto borracha com 9% de fíler;

1.4. Justificativa

Ao se analisar o meio de transporte rodoviário, percebe-se que o número de rodovias pavimentadas no país é muito pequeno, cerca de 9,5% do total da malha rodoviária existente. Isso se deve, essencialmente, pela escassez de recursos públicos e pelos altos custos dos materiais empregados na pavimentação de estradas.

O desenvolvimento econômico de uma região está diretamente relacionado aos transportes, uma vez que não existe um aproveitamento pleno da produção, sem que essa possa atingir, por exemplo, os mercados consumidores e fornecedores. Dessa forma pode-se considerar que os transportes precisam adequar-se às necessidades dos produtores e consumidores.

Por permitir um transporte de “porta a porta”, ou seja, por ligar o produtor até o consumidor final, além de ser bastante flexível, tanto em relação à qualidade das vias quanto ao tamanho e valor das cargas, o transporte rodoviário acabou prevalecendo sobre os demais, no contexto brasileiro. Pode-se dizer ainda que esse destaque deve-se principalmente pela deficiência dos demais modais do que por suas próprias qualidades.

O atual quadro de construções de rodovias, em âmbito nacional, demonstra que apesar de haver um investimento maior em vias que rodeiam regiões mais desenvolvidas, está havendo um empenho na tentativa de corrigir este desequilíbrio, procurando interligar a rede rodoviária existente através da pavimentação da rede rodoviária secundária. Com isso há uma tendência de melhora das condições de acesso a regiões isoladas, pois propicia uma melhor ligação entre os centros produtores e os de consumo.

No Brasil, cerca de 63% dos transportes são feitos por rodovias (MELLO, 2001), o que dá uma noção da magnitude dos veículos existentes no país, e da importância que essa frota tem.

O crescimento da frota de veículos é significativo e, diretamente ligado a esse crescimento, está o problema ambiental causado pela geração de pneus usados. Sua disposição final é um problema de difícil solução, por serem volumosos e necessitarem de condições especiais de armazenamento, a fim de que evitem a proliferação de insetos, roedores e outros animais nocivos à saúde humana. Além disso, a sua deposição em aterros sanitários não é viável, devido a sua baixa compressibilidade e lenta decomposição.

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Pneumáticos em Bertollo (2002), o Brasil produziu, no ano de 1999, cerca de 43,4 milhões de pneus. Devido à

ausência de dados sobre o destino dos pneus no Brasil, estima-se que cerca de 100 milhões de pneus estejam abandonados, anualmente em todo o país.

Tendo em vista as considerações feitas, em relação a grande produção de pneus, torna-se imprescindível à indicação de meios de reaproveitamento de pneus inservíveis. Conforme Morilha e Greca (2003) este se constitui em um desafio em todo o mundo, em virtude da peculiaridade que este material apresenta, principalmente no que diz respeito a uma destinação ecológica e economicamente viável.

Nesse contexto, a construção de rodovias utilizando ligantes asfálticos misturados com borracha de pneus está se tornando cada vez mais pertinente. O concreto asfáltico, largamente utilizado como revestimento de rodovias e vias urbanas, é um material altamente complexo, cujo comportamento depende de uma série de fatores, dos quais destacam-se os materiais (ligantes, agregados e fillers) e as condições de compactação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O PNEU

O pneu, conforme Gobbi (2002) *apud* Silva (2004), é um composto polimérico de alta performance, possuindo características que garantem aderência, conforto e segurança adequada na rodagem, além da elasticidade, que lhe permite uma boa vida útil.

Sua origem foi a partir do invento da borracha vulcanizada, em meados de 1839, uma vez que, até então, a borracha existente não possuía elasticidade adequada à sua finalidade. Os pioneiros na produção de pneus automotivos foram os irmãos Michellin, em meados de 1895 (SILVA 2004).

Quanto à estrutura, o pneu possui basicamente os seguintes ingredientes (TORCC 1999 *apud* BERTOLLO 2002):

- Arames e malhas de aço;
- Lonas de nylon e poliéster;
- Borracha natural e sintética;
- Substâncias químicas de reforço (negro de fumo, sílica e resinas);
- Substâncias antioxidantes;
- Aceleradores de cura;
- Óleos e agentes promotores de adesão e flexibilidade.

Segundo Bertollo (2002), um pneu de automóvel novo, pesando cerca de 10 kg, é constituído percentualmente por: 85% de borracha, 10% de aço, 5% de lona. Após o término de sua vida útil, ele ainda pesa 8,5 kg e possui a mesma quantidade de aço e lona.

Para Silva (2004) a borracha, principal componente do pneu, pode ser classificada como:

- Natural: extraída da seringueira, possui sua estrutura química como poliisopreno. Sua característica confere flexibilidade e resistência adequada ao corte e rasgamento.
- Sintética: derivada do petróleo ou gás natural: SBR (copolímetro de butadieno e estireno), borracha nitrílica (copolímetro de butadieno e acrílonitrila), policloropreno, conhecido como neopreno (polímetro do cloropreno) e outros.

A produção de pneus é controlada principalmente pelas companhias Bridgestone, Michellin, Continental, Goodyear, Sumitoma, Pirelli e Yokohama (SILVA 2004).

No Brasil, anualmente, são produzidos cerca de 46 milhões de pneus (SILVA 2004), e sua vida útil varia em torno de 40.000 km quando novos, podendo sua carcaça durar até 100.000 km após recauchutagens. Um pneu pode ser recauchutado até 3 vezes, de acordo com o estado da carcaça, sendo que no Brasil são recauchutados 8 milhões de pneus de caminhões por ano e 4 milhões de pneus de veículos de passeio (SPECHT 2004).

Bertollo (2002) acrescenta que, em alguns países, a durabilidade dos pneus é aumentada pelos fabricantes através do aprimoramento das técnicas de recauchutagem, podendo chegar a 130.000 Km para pneus de passeio e 300.000 a 600.000 km em veículos de carga.

Vale acrescentar que a recauchutagem constitui-se na substituição da banda de rodagem gasta por uma nova camada de borracha.

2.1.1. Pneus Inservíveis

Conforme descrito anteriormente, a principal matéria prima dos pneus é a borracha vulcanizada, a qual leva de 400 a 800 anos para degradar-se no meio ambiente, tornando-se fator de preocupação para a sociedade atual (SPECHT 2004).

O que se percebe hoje, é que os pneus são descartados em aterros sanitários ou estocados em terrenos baldios a céu aberto. Esta forma de descarte gera diversos impactos ambientais

negativos, pela possibilidade de proliferação de roedores e insetos vetores de doenças nocivas aos seres humanos; além de riscos de incêndios (GUIMARÃES 2002 *apud* TAKATU 2004).

A deposição de pneus em aterros dificulta sua compactação, o que compromete sua vida útil, além do que, os resíduos provenientes da decomposição dos pneus podem afetar o lençol freático e comprometer a qualidade da água (GUIMARÃES 2002 *apud* TAKATU 2004).

Na tentativa de minimizar estes agravos, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, colocou em vigor a resolução CONAMA nº 258 de 26 de agosto de 1999, que obriga as empresas fabricantes e importadoras de pneus a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis existentes no território nacional, de acordo com cronograma exposto no Quadro 2.1. Desde então, as empresas são obrigadas a comprovar junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente - IBAMA, anualmente, a destinação realizada (SPECHT 2004).

Quadro 2.1 – Prazos e quantidades para coleta e destinação de pneumáticos

A partir de:	Pneus novos	Quantidade a ser destinada de pneus inservíveis
1º de janeiro de 2002	4	1
1º de janeiro de 2003	2	1
1º de janeiro de 2004	1	1
1º de janeiro de 2005	4	5

Fonte: Resolução CONAMA 258 de 26 de agosto de 1999.

2.1.2. Utilização dos Pneus Inservíveis

Em todo o mundo tornou-se imprescindível à criação de meios de reciclagens para os resíduos dos pneus. Conforme Specht (2004), além da recauchutagem, já citada, algumas técnicas de reciclagem já estão sendo adotadas:

- Fonte de energia: utilizado em termoelétricas, o poder calorífico do pneu varia de 3000 kcal/kg a 9000 kcal/kg, enquanto o carvão varia de 4200 kcal/kg a 6700kcal/kg;

- Muros de gravidade em obras de contenção: os pneus são utilizados amarrados lado a lado com arame ou corda e preenchidos com solo do local;
- Estruturas de absorção de energia ou barreiras de inércia: servem para amortecer impactos quando montados em estrutura tipo muro, nas laterais das rodovias, autódromos e pistas de corrida;
- Construção de edificações: os pneus são preenchidos com material granular formando estruturas com excelente isolamento térmico e acústico além de conferir boa flexibilidade;
- Drenagem: utilizados amarrados uns aos outros, formam módulos que servem como tubos de drenagem;
- Concreto de baixo desempenho: aplicação de farelo de pneus em pavimentação como reforço do subleito ou camadas de pouca sollicitação estrutural, ou ainda na construção civil como isolante térmico ou acústico.
- Agregados para placas de concreto: raspas de pneus são utilizadas em placas de concreto que servem para construção de habitações populares de baixo custo;
- Pavimentação: Utilização de farelo de pneu para melhorar as características dos ligantes asfálticos e do concreto asfáltico. Pode-se considerar esta uma das melhores formas de reutilização de pneumáticos devido ao grande volume de material usado. Tema este que será melhor explicitado nos capítulos que seguem.
- Impermeabilização: utilizado como impermeabilizante de aterros em aterros sanitários, resíduos de extração de minérios e solos contaminados, na forma de mistura semelhante ao asfalto borracha;
- Cobertura de aterros sanitários: utiliza-se de pó ou farelo de pneus como cobertura diária de aterros sanitários, evitando a proliferação de roedores e insetos, bem como evitando o espalhamento do lixo pelo vento e, auxiliando também na drenagem interna dos aterros;

- Extração de óleos e voláteis: Pneus misturados ao xisto são expostos a uma temperatura de 500°C, liberando assim matéria orgânica em forma de óleo em gás. Estima-se que cada pneu contenha a energia de 9,4 litros de petróleo;
- Absorção de óleos: utilizado para absorção ou filtragem de óleos ou produtos químicos;
- Barreira contra ruído: o pneu é utilizado em placas moldadas com borracha moída, como barreira de absorção de ruído em rodovias;
- Produção de artefatos: o pneu triturado e acrescentado a óleos aromáticos e produtos químicos desvulcanizantes produzem uma pasta que serve de matéria prima para produção de tapetes automotivos, solados de sapatos, pisos industriais e borrachas de vedação;
- Co-processamento em fábricas de cimento: quando expostos a uma temperatura de 1700°C, os pneus não emitem resíduos poluentes como a fumaça negra, e as cinzas resultantes deste processo são agregadas à produção de cimento (ODA, 2000 e, TAKATU, 2004).

Cada tonelada de mistura asfáltica pode incorporar de um a quatro pneus de veículos de passeio. Logo, para consumir cerca de 10 milhões de pneus por ano, necessita-se 2,5 a 8 milhões de toneladas de mistura asfáltica modificada com borracha para a pavimentação de aproximadamente 7000 Km de rodovias (BERTOLLO, 2002).

De acordo com pesquisa realizada em 2001 pela Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2001), o estado geral de conservação da malha rodoviária pavimentada Federal e Estadual foi considerada péssima a deficiente em 52,2 % da extensão pesquisada. O restante apresentou estado de conservação entre bom e ótimo. A pesquisa rodoviária CNT avaliou 40217 Km de rodovias federais pavimentadas (71,9% da malha federal) e 5077 Km da malha rodoviária estadual. De um modo geral, o estado de conservação dos pavimentos urbanos no Brasil é deteriorado (BERTOLLO, 2002).

A pavimentação de apenas 0,5% (cerca de 7800 Km) do total de quilômetros de rodovias não pavimentadas poderia consumir mais de 11 milhões de pneus usados. A utilização de

pneus triturados em obras de pavimentação, no Brasil, não deveria ser considerado como uma utopia, pois já é realidade na cidade de Santos, São Paulo, onde raspas de pneus (provenientes do processo de recauchutagem), são incorporadas nas misturas asfáltica (“processo seco”) utilizadas nas atividades de reabilitação e construção de pavimentos (BERTOLLO, 2002).

Conforme Bertollo (2002), é preciso destacar que muitos pavimentos construídos com borracha não apresentaram desempenho satisfatório, gerando muita desconfiança por parte das administrações públicas. Logo, é fundamental que haja um constante aperfeiçoamento das técnicas disponíveis e pesquisa para o desenvolvimento de novos ensaios e especificações para misturas que contêm borracha triturada de pneus.

2.2. CONCRETO ASFÁLTICO

Segundo o Instituto do Asfalto (2002), concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) ou concreto asfáltico (CA), é uma mistura uniforme de agregado mineral graduado, material de enchimento (fíler) e material betuminoso, espalhado e comprimido a quente.

Na seqüência são descritos os materiais componentes do concreto asfáltico.

2.2.1. Ligantes Asfálticos

O asfalto é o material impermeabilizante mais antigo utilizado pelo homem, seu emprego data de antes dos tempos da Bíblia (BAUER, 1999).

Materiais betuminosos são hidrocarbonetos de cor, dureza e volatilidade variáveis, que se encontram, às vezes, associados a materiais naturais. Em geral, são solúveis no bissulfeto de carbono, S_2C , (SENÇO, 1997).

Revisando a história, Senço (1997) aponta que o uso de asfaltos naturais, provenientes de jazidas, foi usado primeiramente pelos franceses, em 1802. Os americanos, em 1838, e os ingleses, em 1869, executaram pavimentações de ruas e pátios. Somente em 1870 os americanos executaram o primeiro pavimento com mistura fina, o *sheet asphalt*, também como asfalto natural.

No Brasil a produção de asfalto começou em 1944, na refinaria de Ipiranga. Até então eram utilizados nos serviços de pavimentação os asfaltos importados de Trinidad, acondicionados em tambores de 200 litros (SENÇO, 1997).

A produção de asfalto se dá pela destilação do petróleo, o qual é feito por uma torre, onde, por diferenças de temperaturas de topo até a base, obtém-se produtos como gasolina, nafta, querosene, diesel e complementos com o resíduo, o asfalto (SENÇO, 1997).

Segundo Senço (1997), a destilação pode ser feita de três formas:

- Destilação seca: é usada quando se pretende produzir o máximo de gasolina e combustíveis, por esse motivo, alguns constituintes de alto ponto de ebulição são decompostos e se quebram.
- Destilação a vapor: também conhecida como destilação fracionada, consiste na introdução de vapor seco que vaporiza os constituintes voláteis, reduzindo a decomposição e controlando a consistência do resíduo.
- Destilação a vácuo: é a que se processa em pressões mais baixas do que a pressão atmosférica e, tem por finalidade, com temperaturas mais baixas, obter as mesmas quantidades de voláteis que os outros processos de destilação.

Neste estudo será focada a parte mais grosseira, mais especificamente o Cimento Asfáltico de petróleo (CAP) que, segundo Bauer (1999), se apresenta no estado sólido ou semi-sólido, e com consistência adequada à pavimentação.

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNER (1996), cimento asfáltico é o asfalto obtido especialmente para apresentar características adequadas para uso em construção de pavimentos, podendo ser produzido pela destilação do petróleo, ou do asfalto encontrado nas jazidas. São semipetróleos à temperatura ambiente e necessitam de aquecimento para terem consistência apropriada ao envolvimento de agregados. Possuem características como: flexibilidade, durabilidade, aglutinação, impermeabilização e levada resistência à ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis.

Os cimentos asfálticos de petróleo são classificados de acordo com: o seu grau de dureza que, no Brasil, se classificam em CAP 30/45, CAP 50/60, CAP 85/100 e CAP 150/200; e sua viscosidade, que no país é encontrada em três tipos, o CAP – 7, CAP – 20 e o Cap – 40, sendo dentre eles o CAP – 50/60 será utilizado neste estudo.

De acordo com Senço (1997), a classificação atual dos materiais betuminosos se apresenta conforme o quadro 2.2:

Quadro 2.2 – Classificação atual dos materiais betuminosos

Cimentos asfálticos de petróleo (IBN/ABNT - 78).	CAP 50/60, CAP 85/100, CAP 100/120 e CAP 150/200
Asfáltico diluídos (IBP/ABN-P-EB 651) e IBP/ABNT-p-eb-652)	Cura rápida: CR – 70, CR – 250, CR – 800 e CR 3000 Cura Média: CM – 70, CM – 250, CM – 800, CM - 3000
Emulsão asfálticas catiônicas IBP/ABN-P-EB-472 Para lama asfáltica (IBP-ABNT-T-EB-599)	Emulsões asfálticas catiônicas: Ruptura rápida: RR – 1C, RR – 2C e RR – MC(2) Ruptura lenta: RL – 1C Emulsões para lama asfáltica: Aniônicas: LA – 1 e LA – 2 Catiônicas: LA – 1C e LA- 2C Especial: LA - E

Fonte: SENÇO, 1997.

De acordo com Bauer (1999), asfalto é um material constituído predominantemente por betumes que, em temperatura ambiente, apresentam-se em estado sólido ou quase sólido, tem cor preta ou pardo-escuro, cheiro de óleo queimado e densidade em torno de 1000 kg/m³.

Ainda Bauer (1999) as principais características dos betumes e o que eles transmitem aos demais betuminosos em maior ou menor grau são:

a) Alta força adesiva: O betume, como o cimento, é um material aglomerante podendo formar argamassas e concretos, utilizando a temperatura para entrarem e saírem do estado plástico;

b) Ponto de fusão: O betume tem baixo ponto de fusão, por isso é sensível ao calor. O betume puro é sólido a temperaturas inferiores a 10 °C, viscoso de 10 até 50 °C, quando fica totalmente fluído. Quando atinge temperaturas abaixo de 0 °C, torna-se quebradiço;

- c) O betume é hidrofugante, repele água;
- d) O betume é quimicamente inerte em relação à maioria dos materiais utilizados na construção civil;
- e) O betume é muito plástico, amoldando-se até em baixas pressões;
- f) O betume envelhece rapidamente quando exposto ao ar livre;
- g) O betume é um mau condutor de calor; som e eletricidade;
- h) O betume arde com chama longa e fumaça preta espessa;
- i) O peso específico do betume varia entre 1000 e 1200 kg/m³;
- j) Todos os hidrocarbonetos do betume são inteiramente dissolvidos no dissulfeto de carbono.

De acordo com Senço (1997) para o confronto dos resultados de ensaios com as especificações citadas na Tabela 2.2, os ensaios mais correntes são: penetração, viscosidade, ductilidade, resistência à água, determinação do pH, ponto de amolecimento, ponto de fulgor, destilação de asfaltos diluídos, ruptura das emulsões asfálticas e resíduos das destilações.

Asfalto diluído é aquele que resulta da diluição do cimento asfáltico em destilados leves de petróleo, com o objetivo de reduzir temporariamente sua viscosidade a fim de facilitar sua aplicação (SENÇO, 1997). O que dá o nome a esse asfalto é o tipo de cura que ele possui.

Os asfaltos diluídos têm a seguinte classificação: *SC-slow curing* ou cura lenta, os quais usam principalmente como diluente o óleo diesel e tinham uma variação de SC 0 ao SC 6, variando de forma decrescente a quantidade de diluente; *MC-medium curing* ou cura média, os quais usam como diluente principalmente o querosene e têm uma variação de MC 0 ao MC 5, variando de forma decrescente o teor de diluente; *RC-rapid curing* ou cura rápida, os quais usam como diluente principalmente a gasolina ou nafta, variando de RC 0 ao RC 5 com teores decrescentes de diluentes (SENÇO, 1997).

Nos revestimentos de pré-misturados a frio, os asfaltos diluídos permitem que seja obtido um recobrimento uniforme dos grãos dos agregados. É amplamente usado devido sua facilidade de usinagem, tanto como capa de rolamento quanto camada intermediária entre a base e capa, ou binder (SENÇO, 1997).

Emulsão asfáltica é uma dispersão coloidal de uma fase asfáltica em uma fase aquosa (direta), ou, então, uma fase aquosa dispersa em uma fase asfáltica (inversa), com ajuda de um agente emulsificante (DNER, 1996).

A classificação das emulsões, tanto a antiga como a nova, baseia-se no tempo de quebra da mistura, atualmente são classificadas da seguinte forma: ruptura rápida, RR-1C, RR-2C e RR-MC; ruptura lenta, RL-1C; também temos lama asfáltica que é classificada como: aniônicas LA-1 e LA-2 e catiônicas LA-1C e LA-2C; e lama asfáltica especial, a LA-E (SENÇO, 1997).

A ruptura das emulsões se dá quando os glóbulos de asfalto das emulsões, dispersos na água, entrando em contato com a superfície dos agregados minerais, numa mistura betuminosa, sofrem uma ionização por parte destes agregados, dando origem à formação de um composto insolúvel em água, o qual se precipita sobre esta superfície. Parte da água é absorvida pelo agregado e parte se perde por evaporação. O agregado se recobre por uma película de graxa hidrófoba, que repele a água, fixando o ligante ao agregado, fazendo então valer suas propriedades aglutinantes (SENÇO, 1997).

2.2.2. Agregados para misturas asfálticas

Segundo Senço (1997), agregados são materiais inertes, granulares, sem forma e dimensões definidas, com propriedades adequadas a compor camadas ou misturas para utilização nos mais diversos tipos de obras.

A classificação dos agregados pode ser feita de acordo com sua origem, forma e dimensões.

De acordo com Senço (1997), os agregados para uso em misturas asfálticas devem atender os seguintes itens:

- Tamanho e graduação;
- Limpeza;
- Rigidez;
- Textura superficial;
- Forma das partículas;
- Absorção;
- Afinidade pelo asfalto.

Para qualquer tipo de mistura com agregados é importante saber a superfície específica dos mesmos, ou seja, a área das faces externas por m³ (SENÇO, 1997).

Conforme o autor, a superfície específica cresce à medida que o diâmetro do agregado diminui, sendo que estas superfícies estarão em contato com os materiais aglutinantes. Assim, o conhecimento de sua superfície específica permite uma previsão primeira do consumo de ligante.

2.2.3. Fíler

O filer é um material finamente dividido, constituído de partículas minerais provenientes de agregados graúdos e/ou miúdos empregados nas misturas asfálticas, tendo como finalidade principal, em misturas asfálticas, melhorar seu desempenho reológico, mecânico, térmico e de sensibilidade à água (SANTANA, 1993 *apud* TAKATU, 2004).

Caracteriza-se como filer o material que passa na peneira 200, ou seja, todo o material com diâmetro de 0,074 mm, geralmente é o pó de pedra, pó de calcáreo e eventualmente pó de cimento (SENÇO, 1997).

Por ser um material fino, e por conseqüência, com superfície específica bastante alta, é muito importante em misturas asfálticas, para preencher, da melhor forma, os vazios da capa selante.

De acordo com Wesseling (2002), o fíler tem recebido uma atenção especial dos pesquisadores, por ter grande influência nas características das misturas e, conseqüentemente, no desempenho dos concretos asfálticos. Segundo Bertollo (2002), o fíler, nas misturas, se divide em duas partes, uma fica inerte, atuando como material de preenchimento de vazios; enquanto outra, denominada fíler ativo, fica em suspensão no ligante asfáltico.

No comportamento das misturas asfálticas o índice de vazios assume particular importância. A influência da porcentagem de vazios no comportamento das misturas, quanto à fadiga, pode ser explicado pelos seus efeitos na rigidez e nas tensões de tração que se desenvolvem no ligante ou na combinação fíler-ligante, perdendo característica de flexibilidade, provocando assim, um aumento na resistência à fadiga do material (ROBERT, 1996 *apud* TAKATU, 2004).

O fíler, além de preencher os vazios, apresenta a propriedade de aumentar a viscosidade do asfalto espaçando-o e incorporando-o. Esta atividade faz com que o mástique tenha maior viscosidade que o asfalto correspondente. Simultaneamente tem-se o aumento do ponto de amolecimento, diminuição da suscetibilidade térmica, aumento na resistência aos esforços de cisalhamento (estabilidade), no módulo de rigidez e na resistência a tração na flexão (SANTANA, 1995 *apud* TAKATU, 2004).

Destaca-se sua grande importância na composição das misturas asfálticas, principalmente nas densas que têm estruturas formadas por esqueletos pétreos integrados por agregado graúdo e miúdo devidamente adensados em que os vazios deixados estão em partes preenchidos pelo conjunto coesivo formado pelo asfalto, no qual encontra-se disperso o fíler. Neste tipo de mistura o fíler enche os vazios deixados pelos agregados graúdos e miúdos, o que contribui para fechar as misturas, dando maior equilíbrio à estrutura e conseqüentemente, aumentando a estabilidade, sem que haja a necessidade de grandes aumentos no teor de asfalto (TAKATU, 2004).

De acordo com pesquisa realizada por Wesseling (2002), a adição de fíler em misturas asfálticas diminui a quantidade de ligante em até 12,60% em relação a um traço de referência, aumentando, assim, suas propriedades como módulo de resiliência e resistência à tração.

2.3. DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS

As misturas asfálticas são compostas basicamente por agregados e ligante. Estes agregados devem ter uma granulometria tal que resulte no menor número de vazios no interior de uma mistura, ou seja deve haver um arranjo dos grãos que a compõe.

Porém para fazer com que isso aconteça, é preciso misturar percentuais de materiais com diferentes granulometrias a fim de que o mesmo atenda uma faixa granulométrica balanceada.

2.3.1. Métodos de dosagem dos agregados

De acordo com Senço (1997), existem vários métodos de dosagem, dentre eles pode-se citar:

- Métodos algébricos;
- Métodos das tentativas;
- Método do gráfico de Rothfuchs
- Método do Instituto de Asfalto.

O Método Algébrico utiliza cálculos que definem o percentual de material a ser utilizado, de acordo com a granulometria de cada um a fim de obter uma mistura que se enquadre dentro de uma faixa granulométrica (SENÇO, 1997)

“O processo algébrico é muito moroso, em vista dos cálculos que exige, o que o torna pouco empregado” (SENÇO, 1997).

O método das tentativas é bastante usado pelos que já possuem experiência própria. Este método consiste em traçar no gráfico das curvas granulométricas dos materiais as curvas dos limites das faixas, após adota-se quantidades de cada material aos quais soma-se os valores granulométricos de acordo com o percentual “estimado” e traça-se a curva granulométrica resultante e, se estiver dentro da faixa, está pronta (SENÇO, 1997).

O método gráfico de Rothfuchs é o mais usado. Consiste, segundo Senço (1997), na marcação de curvas granulométricas, linhas e áreas que nos dão as proporções com que os materiais componentes devem entrar na mistura.

2.3.2. Método de dosagem da mistura asfáltica

Conforme Senço (2001), o projeto de concepção de um traço de concreto asfáltico para pavimentação é constituído de um estudo de seleção e dosagem dos materiais constituintes, tendo por finalidade enquadrá-los economicamente nas especificações estabelecidas.

As principais metodologias adotadas para o projeto de dosagem de concreto asfáltico são:

- Metodologia Marshall: de acordo com Wesseling (2002), este método utiliza como valores principais às medidas de estabilidade e fluência Marshall, além de propriedades volumétricas da mistura;
- Metodologia Hubbard-Field: um dos pioneiros, entre os ensaios, que buscam avaliar as propriedades mecânicas das misturas betuminosas. Consiste em determinar a carga máxima resistida por um corpo-de-prova quando forçado através de um orifício circular, acarretando um tipo de ruptura correspondente ao cisalhamento, sendo esta força considerada o valor da estabilidade Hubbard-Field (WESSELING, 2002).
- Metodologia Hveem: procedimento de laboratório que se baseia em duas propriedades de corpos-de-prova de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) compactados, a coesão e o atrito. A densidade e o volume de vazios são determinados pelo estabilômetro, aparelho de ensaio triaxial, o qual aplica cargas verticais fornecendo pressões laterais resultantes, (INSTITUTO DO ASFALTO, 2002). Este método é considerado, pelos técnicos de laboratório,

como sendo a melhor simulação da densificação que ocorre com o CBUQ em campo, devido à forma pulsante em que é compactado; também devido medir a deformação lateral em decorrência da aplicação de uma carga vertical, medida esta que nos fornece medidas diretas dos componentes de atrito interno da resistência de cisalhamento (MOTTA et al, *apud* WESSELING, 2002).

- Metodologia Triaxial de Smith: consiste na aplicação de uma carga triaxial ao longo da superfície lateral do corpo de prova cilíndrico, enquanto cargas axiais são aplicadas à sua base. Esse tipo de ensaio é geralmente aplicado para as classes de materiais que se apresentam plásticos em seu estado natural (WESSELING, 2002).

Cada uma das metodologias de ensaios citadas anteriormente, possui seus critérios próprios, os quais visam estabelecer relações entre os ensaios de laboratório e os resultados obtidos no campo, sob condições usuais de serviço.

2.3.3. Método de dosagem Marshall

No Brasil, quase que exclusivamente, a metodologia Marshall é utilizada para o desenvolvimento de projetos de misturas asfálticas. Desenvolvida por Bruce G. Marshall, do Departamento de Transporte do Estado do Mississippi nos Estados Unidos, na década de 30, esta metodologia foi criada para a determinação da quantidade ótima de ligante que deve ser usado na composição de misturas asfálticas para uso em serviços de pavimentação rodoviária, baseando-se para tanto, nos resultados de estabilidade obtidos por este ensaio (SPECHT, 2004).

Pode-se citar a simplicidade, rapidez de execução e o baixo custo dos equipamentos requeridos pelo ensaio Marshall como fatores que proporcionaram a propagação deste método para diversos organismos rodoviários do mundo todo, inclusive no Brasil (WESSELING, 2002).

Em resumo, a metodologia Marshall consiste em, por compactação a quente, moldar uma série de corpos-de-prova com diferentes teores de ligante asfáltico, no interior de moldes cilíndricos metálicos, os quais, depois de extraídos dos moldes metálicos, são armazenados ao

ar livre durante 24 horas. Em seguida, os mesmos são imersos em banho a uma temperatura de 60°C; após são submetidos a uma compressão diametral, aplicada por uma prensa, através de um molde de compressão cilíndrico, idealizado por Marshall. O valor da carga máxima suportada pelo corpo-de-prova é conhecido como estabilidade Marshall, e a deformação causada pela ruptura de fluência. Além destes valores, são calculadas também a densidade, volume de vazios e a relação entre vazios dos agregados preenchidos de betume (SPECHT, 2004).

3. METODOLOGIA

3.1. CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo tem como propósito pesquisar e analisar a influência do asfalto-borracha e da utilização de diferentes teores de fíler no comportamento do concreto asfáltico no que se refere as suas propriedades volumétricas e mecânicas.

A pesquisa realizada é quantitativa, uma vez que as amostras preparadas, foram ensaiadas no Laboratório de Engenharia Civil – LEC – UNIJUÍ, e os resultados analisados com auxílio de gráficos e tabelas.

3.2. PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

Para este estudo foram ensaiados corpos-de-prova de concreto asfáltico com dois diferentes tipos de ligantes, os quais foram denominados, neste trabalho, de: ligante tipo cimento asfáltico de petróleo com penetração a 25°C na ordem de 50/60 dmm de CAP 50/60; e, ligante asfalto-borracha, de AB.

Este experimento contempla a dosagem, pela metodologia Marshall, de seis misturas em concreto asfáltico, de acordo com a Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Matriz experimental

Ligante	Teor de Fíler		
	4%	7%	9%
CAP 50 – 60	15 amostras	15 amostras	15 amostras
Asfalto-Borracha	15 amostras	15 amostras	15 amostras

A composição granulométrica do material utilizado foi ajustada de tal forma que a curva granulométrica da mistura ficasse idêntica ao centro da faixa “B” do DAER ou IVB do Instituto do Asfalto, devido esta ser a mais usada em nosso estado, variando somente o teor de fíler, conforme mostram as Figuras 3.1, 3.2 e 3.3. Para tanto, foi feito o peneiramento e a

lavagem dos materiais utilizados em cada fração granulométrica, para que fosse respeitada exatamente a especificação adotada.

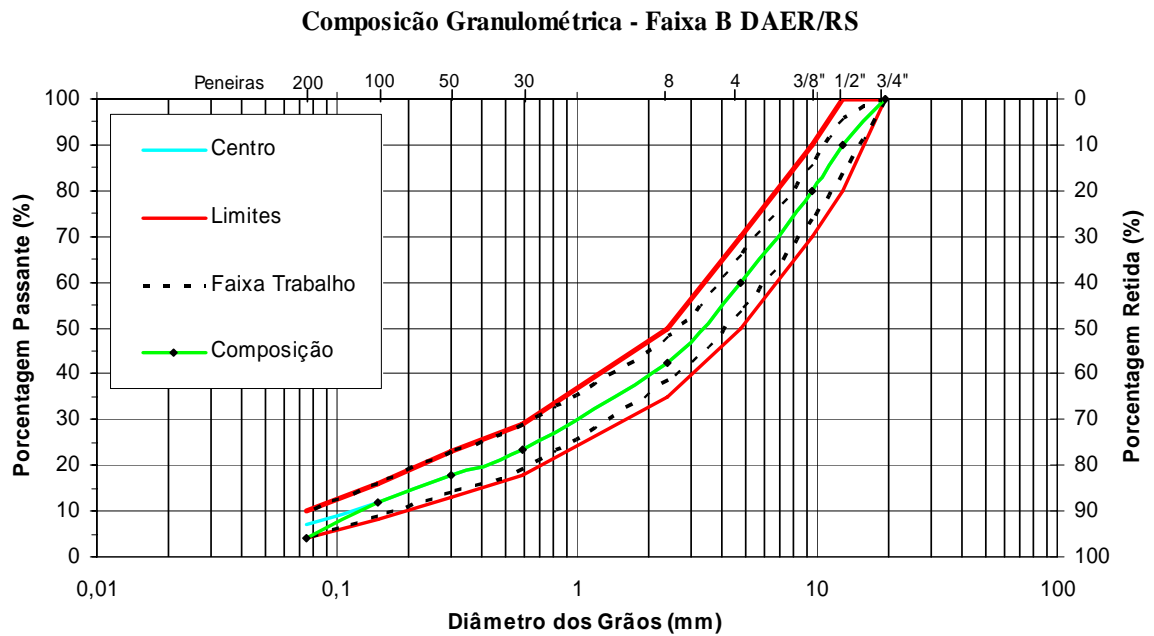


Figura 3.1: Curva Granulométrica das Misturas com 4% de Fíler

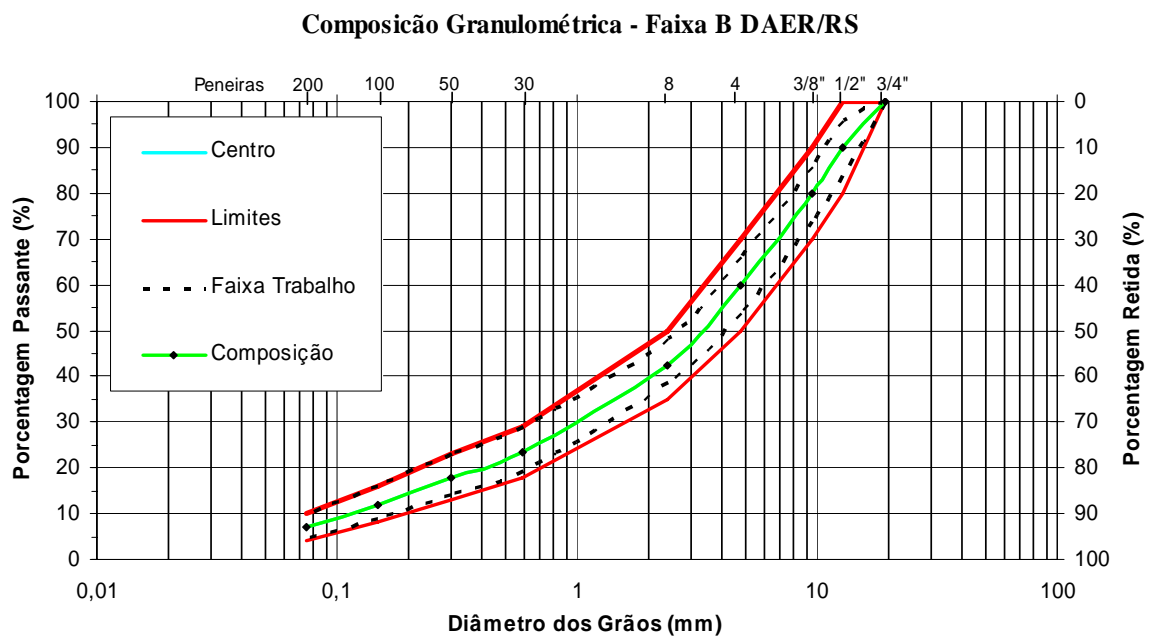


Figura 3.2: Curva Granulométrica das Misturas com 7% de Fíler

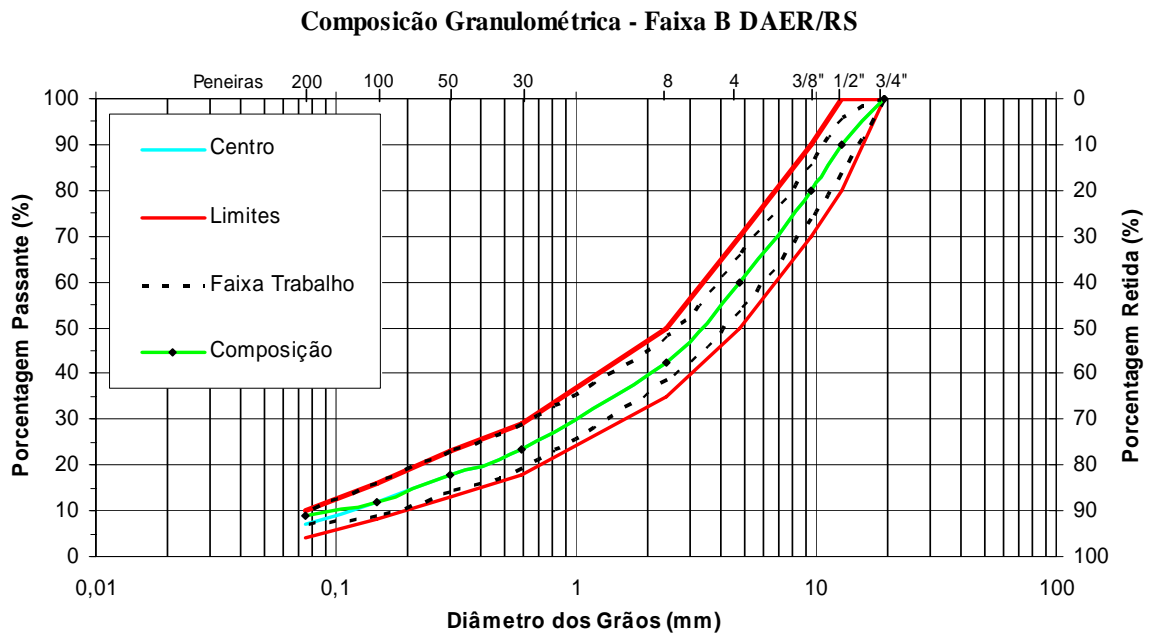


Figura 3.3: Curva Granulométrica das Misturas com 9% de Fíler

3.3. MATERIAIS UTILIZADOS

A seguir são apresentados os materiais utilizados no estudo, quais sejam: agregados minerais e cimento asfáltico.

3.3.1. Agregados Minerais

Os agregados utilizados neste estudo são provenientes da pedreira Tabile da cidade de Ijuí/RS, estando sua jazida situada na cidade de Coronel Barros. Originários de rocha basáltica da formação da Serra Geral, comumente encontrada em outros pontos do estado, sendo considerada a mais representativa desta região do país. Na Figura 3.4 esta a localização da jazida e a representatividade do derrame basáltico no Estado do Rio Grande do Sul. O derrame basáltico cobre aproximadamente 54% do território gaúcho (ABGE, *apud* WESSELING 2002).

A areia utilizada é do tipo areia de várzea, proveniente da região de Santa Maria/RS.

Neste estudo foram utilizados quatro diferentes tipos de materiais: a areia, pó-de-pedra, pedrisco e brita ¾". A curva granulométrica dos materiais utilizados está representada na Figura 3.5 e as fichas dos ensaios estão no Apêndice A.



Figura 3.4: Localização da jazida e do derrame basáltico

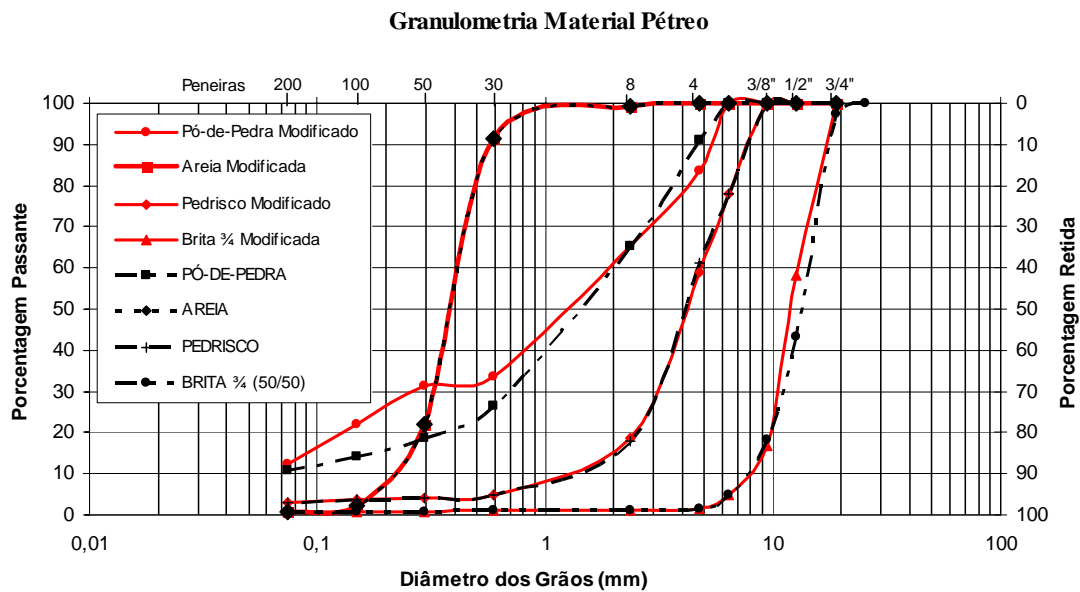


Figura 3.5: Curva Granulométrica dos Agregados Utilizados

No Quadro 3.1, são apresentados os valores dos índices de lamelaridade dos agregados utilizados. Como pode ser visto, tem-se um alto valor para este índice que, por norma (DAER108/01) não pode ultrapassar os 50% na mistura. Neste trabalho a lamelaridade da mistura foi de 30%..

Quadro 3.1: Índice de Lamelaridade do Agregado Graúdo (DAER108/01)

<i>Material</i>	<i>Valor obtido no ensaio (utilização da placa de lamelaridade)</i>
BRITA 3/4 (50/50)	30,81
PEDRISCO	50,90

3.3.2. Cimento Asfáltico

Foram utilizados dois tipos de cimento asfáltico: asfalto-borracha (ECOFLEX) e CAP 50/60. Ambos são provenientes da empresa GRECA ASFALTOS, localizada na cidade de Esteio/RS.

As caracterizações dos ligantes seguem descritas na Tabela 3.2 e 3.3, as quais foram realizadas pelas empresas GRECA ASFALTOS e PETROBRAS.

Tabela 3.2: Caracterização do ligante ECOFLEX B

ENSAIO	NORMA	ESPECIFICAÇÃO	RESULTADOS
Penetração (100g, 5s, 25°C), 0,1mm	DNER-ME 003/94	25 a 75	54
Ponto de Amolecimento, °C	DNER-ME 247/94	50 a 70	60
Recuperação Elástica, %	DNER-ME 382/99	40 a 70	63
Ponto de Fulgor, °C	DNER-ME 148/94	235 (mínimo)	256
Densidade Relativa, 25°C/25°C	DNER-ME 016/64	Anotar	1033
Viscosidade Brookfield à 175°C, cP	ASTM D 2669-87	1000 - 2000	1650

Tabela 3.3: Caracterização do cimento asfáltico tipo CAP 50/60.

ENSAIO	NORMA	ESPECIFICAÇÃO	RESULTADOS
Penetração (0,1 mm)	D 5	60 a 60	54
Ductilidade a 25°C (cm)	D 113	60 mín.	>147
ECA - % da penetração original (%)	X 021 (1)	50 mín.	72
ECA – Variação em massa (%)	D 1754	1,0 máx.	0,03
Índice de suscetibilidade térmica	X 018	-1,5 a 1,0	-0,8
Ponto de Fulgor (°C)	D 92	235 mín.	>236
Solubilidade no tricloroetileno (% massa)	D 2042	99,5 mín.	99,99
Viscosidade Saybolt Furol a 135°C (s)	E 102	110 mín.	217
Densidade Relativa a 20/4°C	D 70	Anotar	1,000
Aquecimento a 175°C	X 215	Não espuma	Não espuma

3.4. ENSAIOS REALIZADOS

Nesta pesquisa, foram realizados ensaios utilizando a metodologia Marshall para moldagem de corpos-de-prova de misturas betuminosas. A seguir será descrita, de forma sucinta, a seqüência para a execução do mesmo.

- I. Separação e pesagem dos materiais granulares para a confecção de 15 corpos-de-prova, sendo 3 para cada teor de ligante, conforme mostra a Figura 3.3;

Os agregados utilizados no estudo foram separados por peneiras, e devidamente lavados para eliminação de partículas de pó (\leq #200) que poderiam estar aderidas aos grãos maiores, permitindo assim que todas as misturas fossem ser moldadas exatamente com a mesma faixa granulométrica.

- II. Estimativa da percentagem ótima de ligante;

- III. Moldagem dos corpos-de-prova, por compactação dinâmica, através do equipamento de Marshall com os referidos teores de ligante estimados, conforme apresentada na Figura 3.6;

As temperaturas de moldagem foram: para CAP 50/60, a temperatura dos agregados de 155°C, a temperatura do ligante de 150°C, e a temperatura para compactação de 145°C; para o asfalto-borracha, a temperatura dos agregados de 180°C, a temperatura do ligante de 175°C e a temperatura para compactação de 170°C. As temperaturas foram determinadas de acordo com os valores fornecidos pelos ensaios de viscosidade. As amostras foram separadas em recipientes individuais, contendo em todos a mesma quantidade de material e aquecidos em estufa na temperatura já indicada; a compactação foi realizada com compactador manual, padrão da metodologia Marshall, com 75 golpes por face de cada amostra.

- IV. Extração dos corpos-de-prova dos moldes metálicos e, cura ao ar livre e em temperatura ambiente durante 24 horas, conforme Figura 3.7;
- V. Medição do volume e pesagem dos corpos-de-prova para que possamos obter suas características físicas (massa específica aparente, volume de vazios, relação betume vazios);
- VI. Imersão dos corpos-de-prova em banho-maria, a uma temperatura de 60°C, durante um período de 30 minutos e, após, submetidos imediatamente ao ensaio Marshall, conforme mostram as Figuras 3.9 e 3.10, para determinação de suas características mecânicas de estabilidade e fluência;
- VII. Plotagem das curvas de variação de suas características físicas e mecânicas em função da quantidade de ligante utilizada e, posterior determinação do teor ótimo de ligante, em função dos critérios definidos pelo DAER/RS.



Figura 3.6: Separação e pesagem dos agregados



Figura 3.7: Moldagem dos corpos-de-prova



Figura 3.8: Extração dos corpos-de-prova dos moldes metálicos

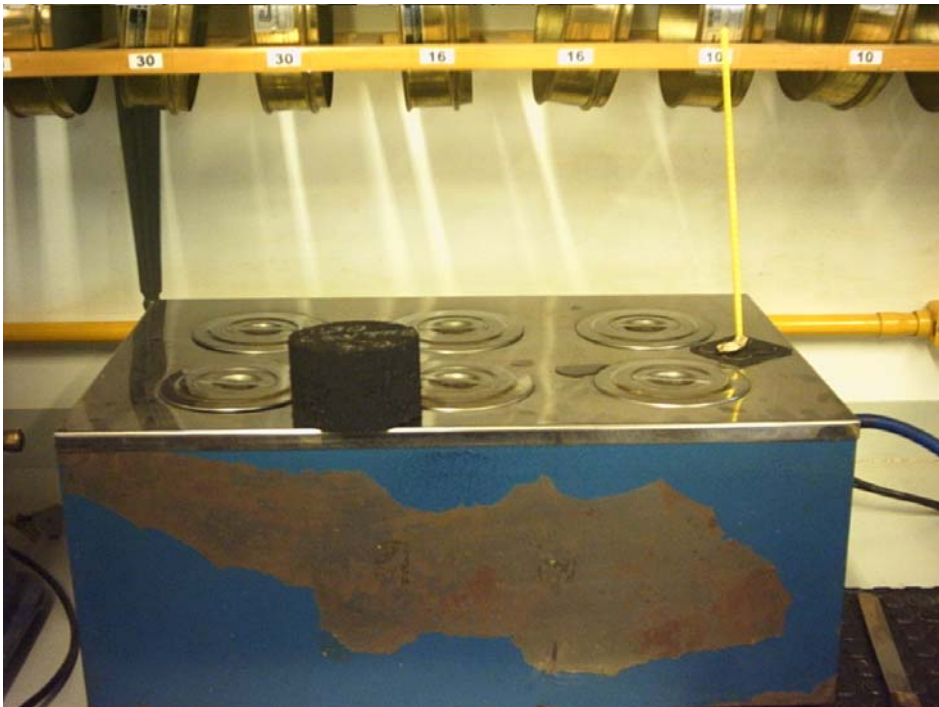


Figura 3.9: Imersão dos corpos-de-prova em banho-maria



Figura 3.10: Rompimento dos corpos-de-prova em prensa Marshall.

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1. Mistura com CAP 50/60, teor de fíler de 4%.

A seguir são apresentados os resultados obtidos para a mistura com cimento asfáltico de petróleo – CAP 50/60 utilizando 4% de fíler. As fichas resumos encontram-se no Apêndice B.

Na Figura 4.1 está representada a percentagem de vazios em relação à percentagem de ligante utilizado para a mistura com 4% de fíler, sendo que o volume de vazios diminui na medida que aumenta o teor de ligante. De acordo com as especificações, o volume de vazios fica entre 3 a 5%. Para este trabalho, foi adotado o valor de 4 % de vazios que equivale a 5,52% de ligante.

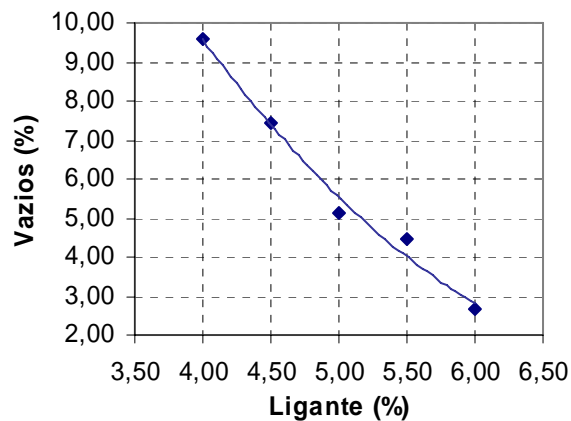


Figura 4.1: Curva de volume de vazios, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%

Estão representados, na Figura 4.2, os valores percentuais de vazios do agregado mineral, com o valor de 18,03% para uma quantidade de 5,52% de ligante, sendo que a norma estabelece valores acima de 16% de vazios do agregado mineral.

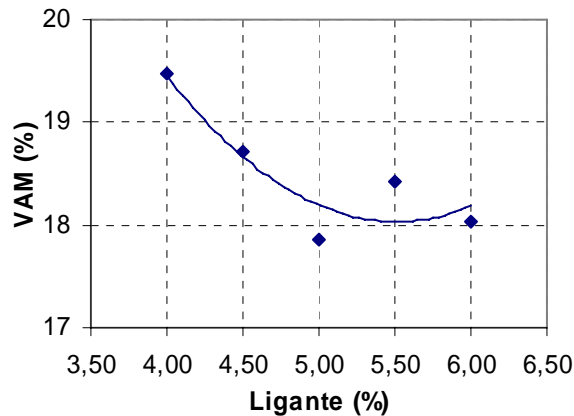


Figura 4.2: Curva de vazios do agregado mineral, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%

Verifica-se na Figura 4.3 que a relação betume/vazios aumenta com o acréscimo do teor de ligante para a mistura, o que já era esperado. As especificações fixam valores entre 75 e 82%. O valor encontrado foi de 77,92%.

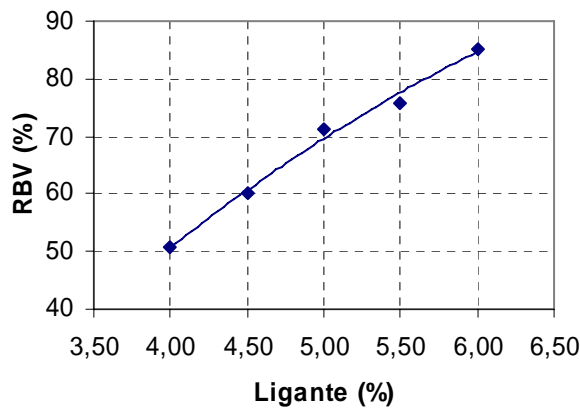


Figura 4.3: Curva relação de betume/vazios, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%

Na Figura 4.4 está representada a curva da massa específica aparente da mistura, podendo-se observar a tendência do aumento da densidade com o aumento do teor de ligante. Este parâmetro é utilizado para o controle de qualidade do CBUQ em campo. O valor encontrado em nosso projeto foi de 2,59 KN/m³.

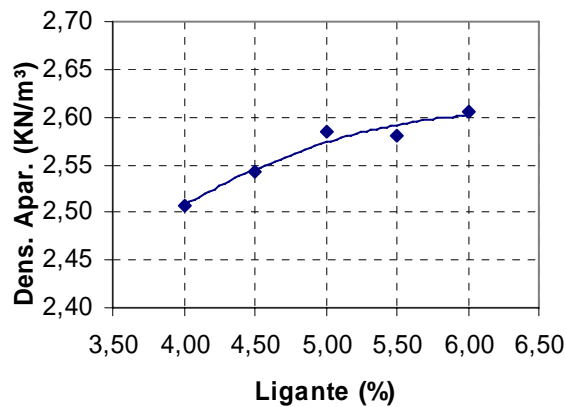


Figura 4.4: Curva de Densidade Aparente, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%

Verifica-se na Figura 4.5, a curva de estabilidade para a mistura, com os valores variando entre 835 e 890 kgf. A especificação recomenda valores acima de 800 kgf como desejáveis para a mistura.

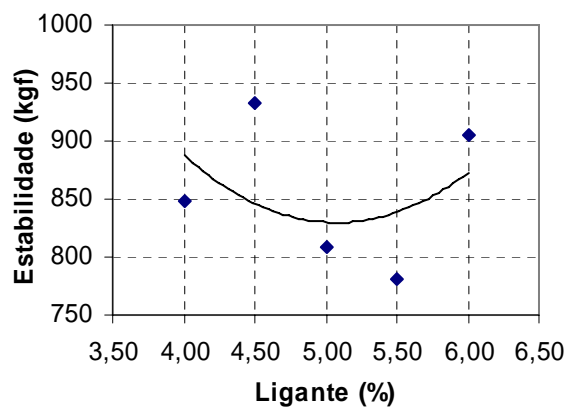


Figura 4.5: Curva de estabilidade, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%

Está representada na Figura 4.6 a curva de estabilidade para a mistura, sendo que os valores variam entre 9 e 16 $\frac{1}{100}$ in, e os valores especificados vão de 8 $\frac{1}{100}$ in e 18 $\frac{1}{100}$ in.

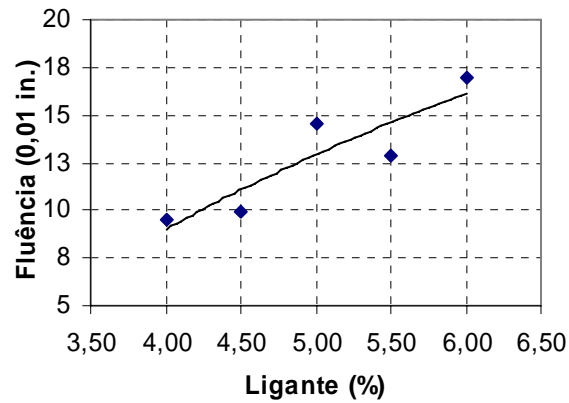


Figura 4.6: Curva de fluência, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%

Na Figura 4.7 está representada a curva da relação entre estabilidade e fluência, onde é possível observar uma pequena dispersão dos valores para os teores de 5,0 e 5,5% de ligante.

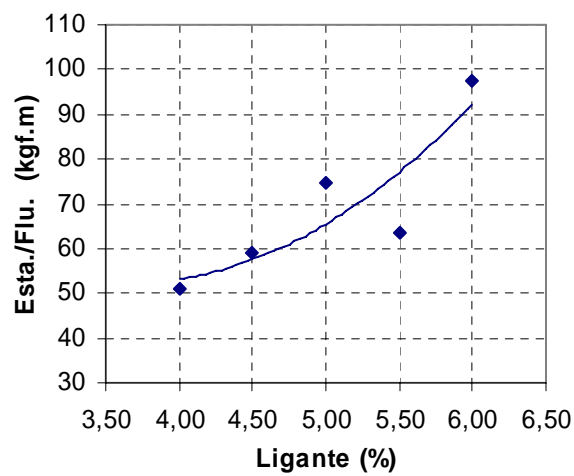


Figura 4.7: Curva relação estabilidade/fluência, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%

No Quadro 4.1 estão sumarizadas as propriedades finais da mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 4%.

Quadro 4.1: Resumo dos resultados das propriedades finais da mistura de CAP 50/60 com teor de 4% de fíler

PROPRIEDADE	ESP 16/91 DAER	VALOR DE PROJETO
Teor de Betume (%)	---	5,52
Volume de Vazios (%)	3 a 5	4,00
Relação Betume Vazios (%)	75 a 82	77,92
Vazios do Agregado Mineral (%)	>16	18,03
Massa Máxima Teórica (kN/m ³)	---	2,70
Massa Específica Aparente (kN/m ³)	97% (mínimo)	2,59
Estabilidade (kgf)	>800	840
Fluência (1/100 in)	8 a 16	15,00
Relação Est/Fluência (kgf.m)	---	77,00
Relação Fíler/Betume (%)	0,6 a 1,6 (Superpave)	0,72

4.2. Mistura com asfalto-borracha, teor de fíler de 4%

A seguir são apresentados os resultados obtidos para a mistura com asfalto-borracha. As fichas resumos encontram-se no Apêndice C.

Na Figura 4.8, está representada a percentagem de vazios em relação à percentagem de ligante utilizado para a mistura com 4% de fíler. O volume de vazios diminui na medida que aumenta o teor de ligante. De acordo com as especificações, o volume de vazios fica entre 3 a 5%. Para este trabalho, adotamos o valor de 4 % de vazios que equivale a 6,80% de ligante.

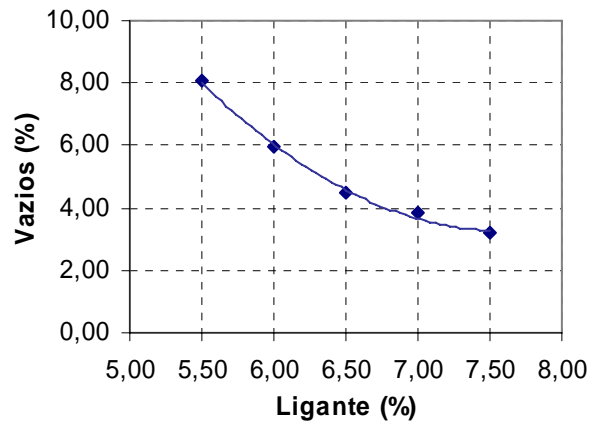


Figura 4.8: Curva de volume de vazios, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%

Estão representados na Figura 4.9 os valores percentuais de vazios do agregado mineral, com o valor de 20,80% para uma quantidade de 6,80% de ligante, sendo que a norma estabelece valores acima de 16% de vazios do agregado mineral.

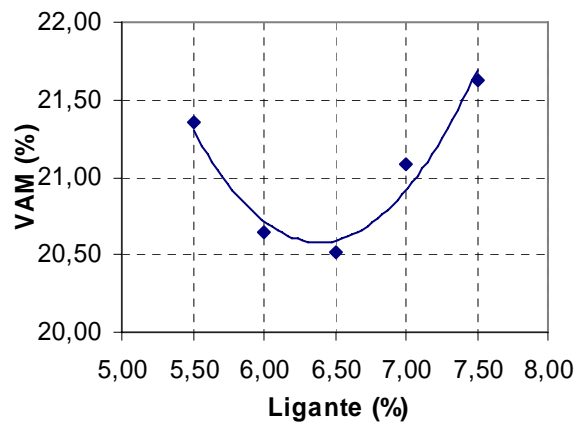


Figura 4.9: Curva de vazios do agregado mineral, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%

Verifica-se na Figura 4.10 que a relação betume/vazios aumenta com o acréscimo do teor de ligante para a mistura, o que já era esperado. As especificações fixam valores entre 75 e 82%. O valor de projeto foi de 81%.

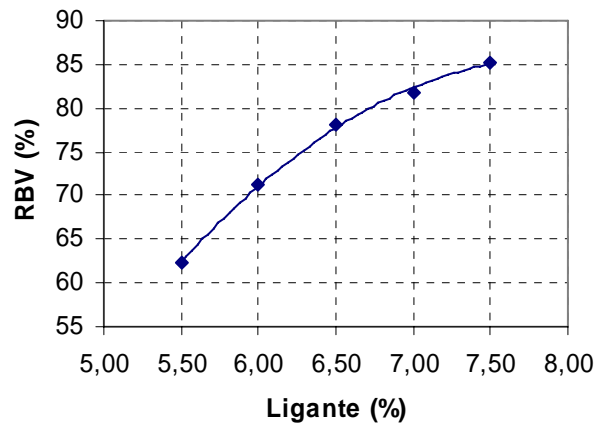


Figura 4.10: Curva relação de betume/vazios, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%

Na Figura 4.11 está representada a curva da massa específica aparente da mistura, podendo-se observar a tendência do aumento da densidade com o aumento do teor de ligante. Este parâmetro é utilizado para o controle de qualidade do CBUQ em campo. O valor encontrado neste trabalho foi de $2,54 \text{ KN/m}^3$.

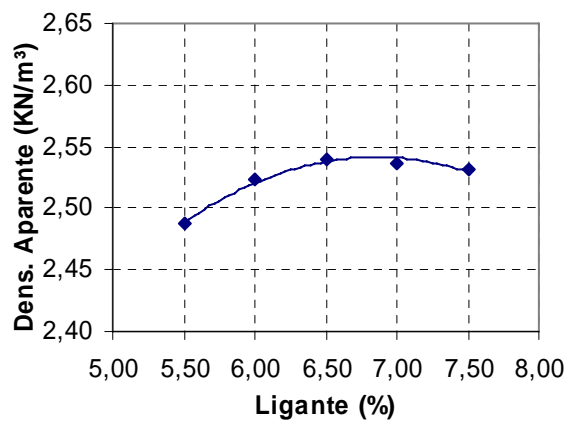


Figura 4.11: Curva de densidade aparente, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%

Verifica-se na Figura 4.12, a curva de Estabilidade para a mistura, com os valores variando entre 850 e 1000 kgf. A especificação recomenda valores acima de 800 kgf, como desejável para a mistura.

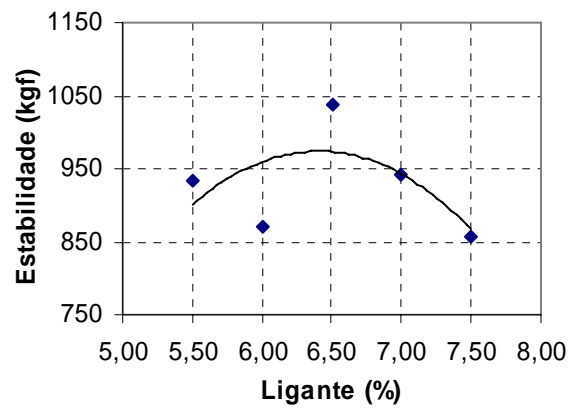


Figura 4.12: Curva de Estabilidade, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%

Está representada, na Figura 4.13, a curva de estabilidade para a mistura, sendo que os valores variam entre $11,8 \frac{1}{100}$ in e $18,8 \frac{1}{100}$ in, e os valores especificados vão de 9 e $16,5 \frac{1}{100}$ in.

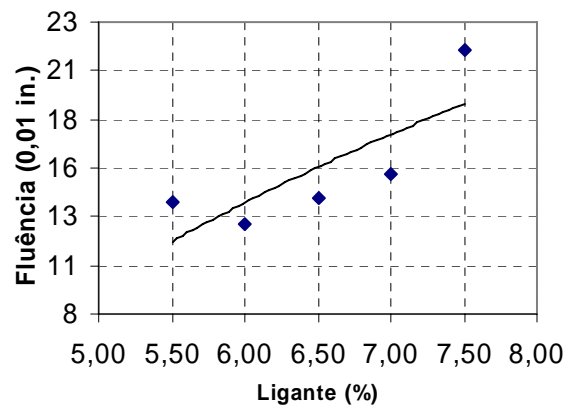


Figura 4.13: Curva de fluência, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%

Na Figura 4.14 está representada a curva da relação entre estabilidade e fluência, onde se observa uma pequena dispersão dos valores para os teores de 4,5 e 5,0% de ligante.

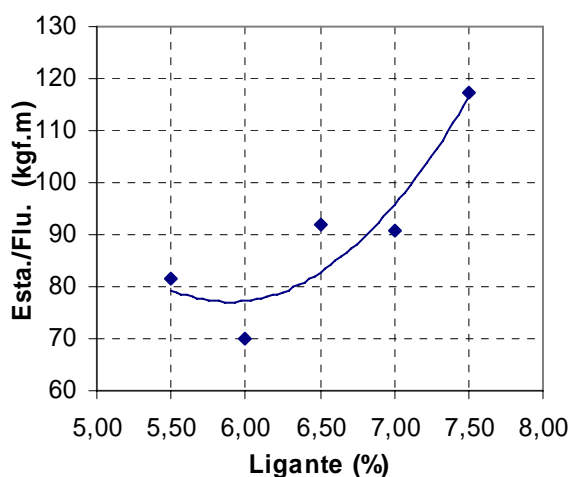


Figura 4.14: Curva Relação Estabilidade/Fluência, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%

No Quadro 4.2 estão sumarizadas as propriedades finais da mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 4%.

Quadro 4.2: Resumo dos resultados das propriedades finais da mistura de asfalto borracha com teor de 4% de fíler

PROPRIEDADE	ESP 16/91 DAER	VALOR DE PROJETO
Teor de Betume (%)	---	6,80
Volume de Vazios (%)	3 a 5	4,00
Relação Betume Vazios (%)	75 a 82	81,00
Vazios do Agregado Mineral (%)	>16	20,87
Massa Máxima Teórica (kN/m ³)	---	2,64
Massa Específica Aparente (kN/m ³)	97% (mínimo)	2,54
Estabilidade (kgf)	>800	960
Fluência (1/100 in)	8 a 16	16,00
Relação Est/Fluência (kgf.m)	---	90,00
Relação Fíler/Betume (%)	0,6 a 1,6 (Superpave)	0,59

4.3. Mistura com CAP 50/60, teor de fíler de 7%.

A seguir são apresentados os resultados obtidos para a mistura com cimento asfáltico de petróleo – CAP 50/60. As fichas resumos encontram-se no Apêndice D.

Na Figura 4.15 está representada a percentagem de vazios em relação à percentagem de ligante utilizado, para a mistura com 7% de fíler, sendo que o volume de vazios diminui na medida que aumenta o teor de ligante. De acordo com as especificações, o volume de vazios fica entre 3 a 5%, para este projeto, adotou-se o valor de 4 % de vazios que equivale a 5 % de ligante.

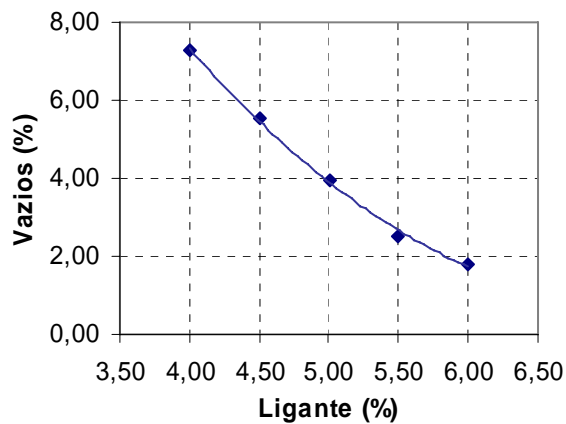


Figura 4.15: Curva de volume de vazios, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%

Estão representados na Figura 4.16, os valores percentuais de vazios do agregado mineral, com o valor de 16,80% para uma quantidade de 5 % de ligante, sendo que a norma estabelece valores acima de 16% de vazios do agregado mineral.

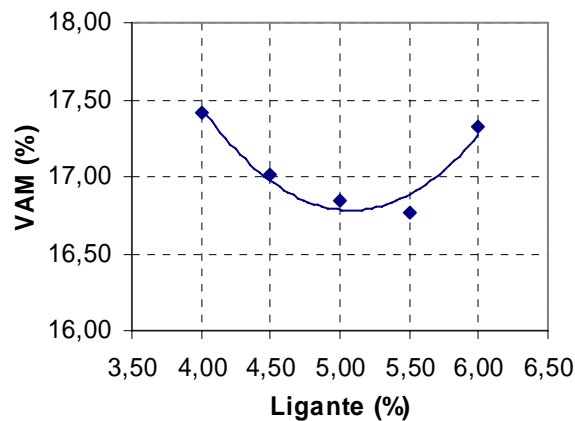


Figura 4.16: Curva de vazios do agregado mineral, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%

Verifica-se na Figura 4.17 que a relação betume/vazios aumenta com o acréscimo do teor de ligante para a mistura, o que já era esperado. As especificações fixam valores entre 75 e 82%. O valor de projeto foi de 76%.

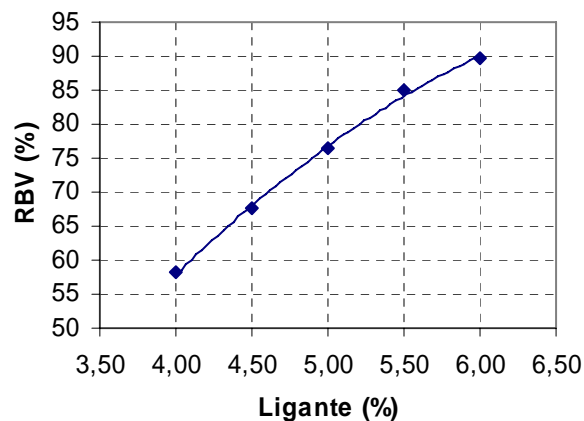


Figura 4.17: Curva relação de betume/vazios, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%

Na Figura 4.18 está representada a curva da massa específica aparente da mistura, podendo-se observar a tendência do aumento da densidade com o aumento do teor de ligante. Este parâmetro é utilizado para o controle de qualidade do CBUQ em campo. O valor encontrado neste projeto foi de $2,62 \text{ KN/m}^3$.

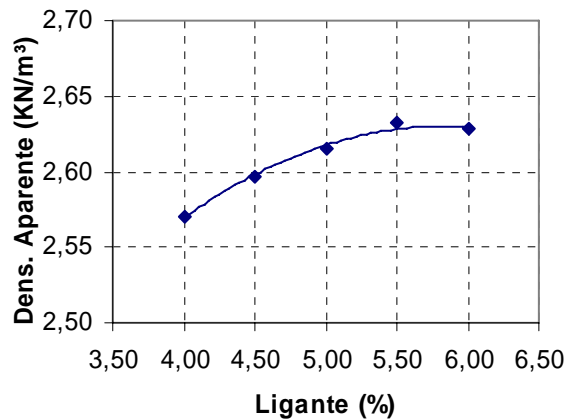


Figura 4.18: Curva de densidade aparente, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%

Verifica-se na Figura 4.19 a curva de estabilidade para a mistura, com os valores variando entre 950 e 1182 kgf. A especificação recomenda valores acima de 800 kgf, como desejável para a mistura.

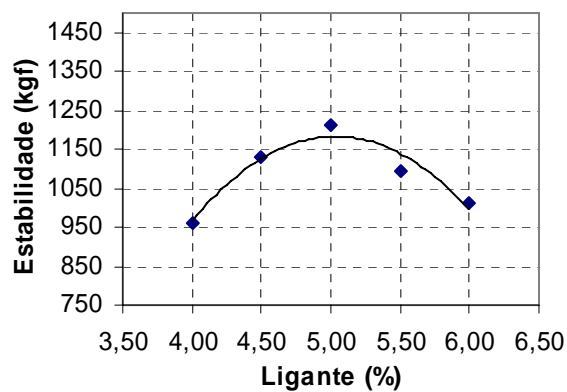


Figura 4.19: Curva de estabilidade, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%

Esta representada na Figura 4.20, a curva de fluência para a mistura, sendo que os valores variam entre 9 e 20 $\frac{1}{100}$ in, e os valores especificados vão de 8 $\frac{1}{100}$ in e 18 $\frac{1}{100}$ in. O valor encontrado em nosso projeto foi de 15 $\frac{1}{100}$ in.

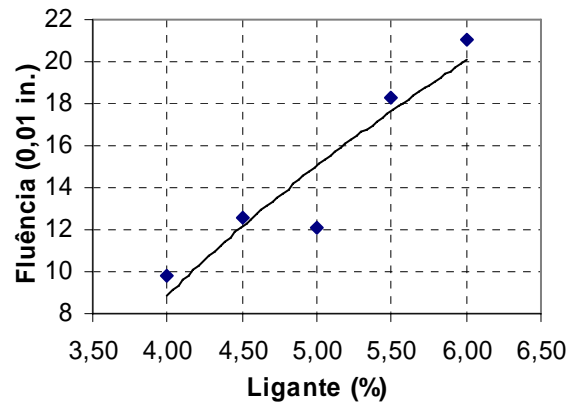


Figura 4.20: Curva de Fluência, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%

Na Figura 4.21 está representada a curva da relação entre estabilidade e fluência, onde podemos observar que o valor para o teor de 5%, é de 103 kgf.m.

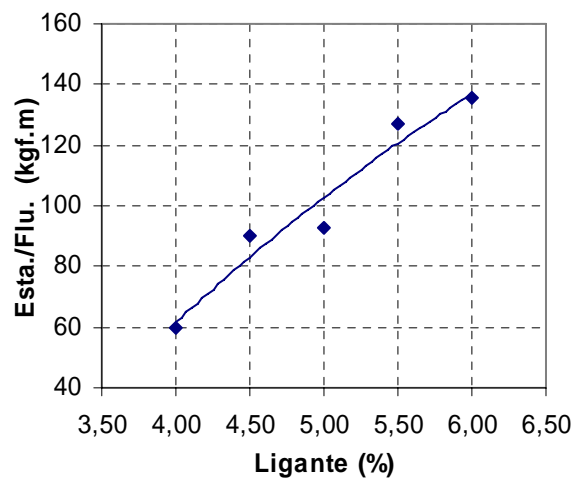


Figura 4.21: Curva Relação Estabilidade/Fluência, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%

No Quadro 4.3 estão sumarizadas as propriedades finais da mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 7%.

Quadro 4.3: Resumo dos resultados das propriedades finais da mistura de CAP 50/60 com teor de 7% de fíler

PROPRIEDADE	ESP 16/91 DAER	VALOR DE PROJETO
Teor de Betume (%)	---	5,00
Volume de Vazios (%)	3 a 5	4,00
Relação Betume Vazios (%)	75 a 82	76,00
Vazios do Agregado Mineral (%)	>16	16,80
Massa Máxima Teórica (kN/m ³)	---	2,72
Massa Específica Aparente (kN/m ³)	97% (mínimo)	2,62
Estabilidade (kgf)	>800	1183
Fluência (1/100 in)	8 a 16	15,00
Relação Est/Fluência (kgf.m)	---	103,00
Relação Fíler/Betume (%)	0,6 a 1,6 (Superpave)	1,40

4.4. Mistura com Asfalto-Borracha, teor de fíler de 7%.

A seguir são apresentados os resultados obtidos para a mistura com asfalto-borracha. As fichas resumos encontram-se no Apêndice E.

Na Figura 4.22 está representada a percentagem de vazios em relação à percentagem de ligante utilizado, para a mistura com 7% de fíler, mostrando que o volume de vazios diminui na medida que aumenta o teor de ligante. De acordo com as especificações, o volume de vazios fica entre 3 a 5%. Para este projeto, adotamos o valor de 4 % de vazios que equivale a 6,50 % de ligante.

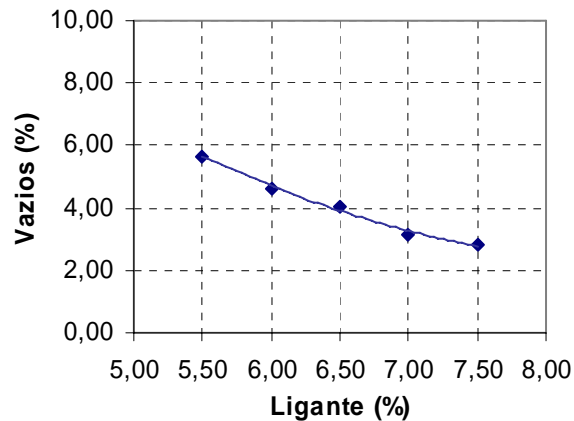


Figura 4.22: Curva de volume de vazios, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%

Estão representados, na Figura 4.23, os valores percentuais de vazios do agregado mineral, com o valor de 20% para uma quantidade de 6,50% de ligante, sendo que a norma estabelece valores acima de 16% de vazios do agregado mineral.

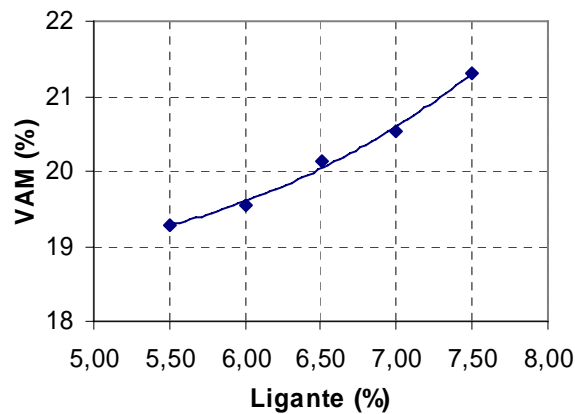


Figura 4.23: Curva de vazios do agregado mineral, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%

Verifica-se na Figura 4.24 que a relação betume/vazios aumenta com o acréscimo do teor de ligante para a mistura, o que já era esperado. As especificações fixam valores entre 75 e 82%. O valor de projeto foi de 76%.

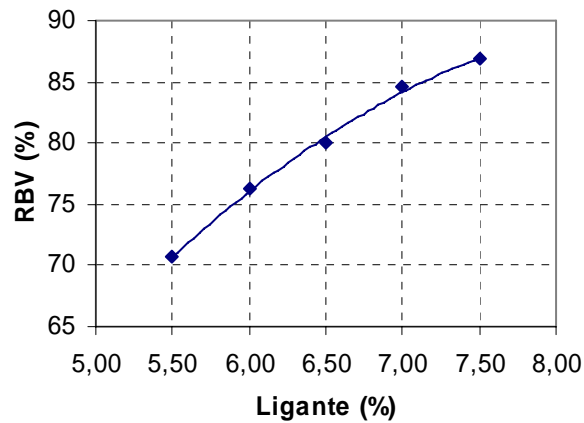


Figura 4.24: Curva relação de betume/vazios, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%

Na Figura 4.25 está representada a curva da massa específica aparente da mistura. Este parâmetro é utilizado para o controle de qualidade do CBUQ em campo. O valor encontrado neste projeto foi de $2,56 \text{ KN/m}^3$.

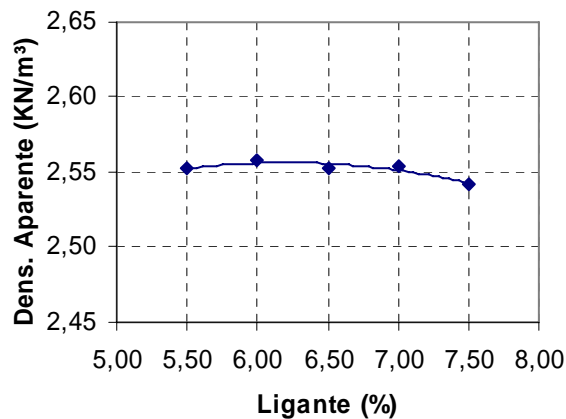


Figura 4.25: Curva de densidade aparente, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%

Verifica-se na Figura 4.26, a curva de Estabilidade para a mistura, com os valores variando entre 850 e 1150 kgf. A especificação recomenda valores acima de 800 kgf, como desejáveis para a mistura.

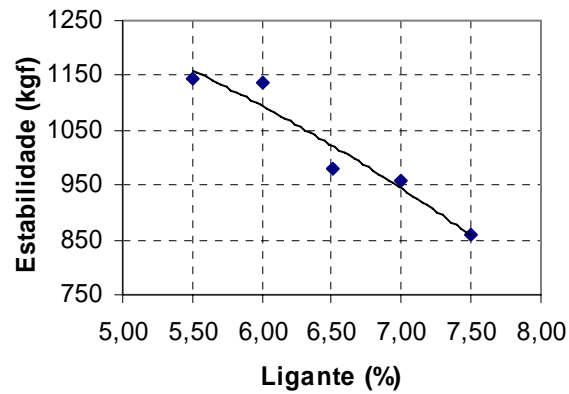


Figura 4.26: Curva de estabilidade, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%

Esta representada na Figura 4.27, a curva de estabilidade para a mistura, sendo que os valores variam entre 14,90 e 21 $\frac{1}{100}$ in, e os valores especificados vão de 8 $\frac{1}{100}$ in e 18 $\frac{1}{100}$ in.

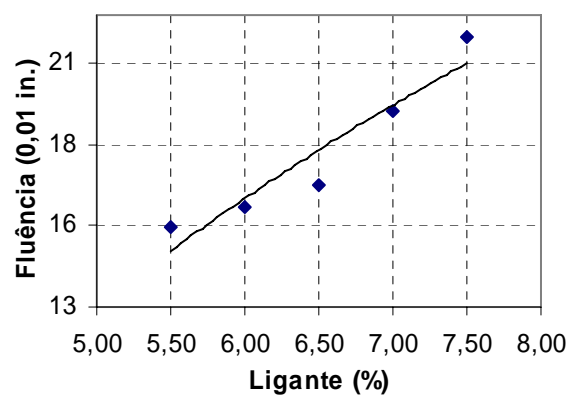


Figura 4.27: Curva de fluência, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%

Na figura 4.28 está representada a curva da relação entre estabilidade e fluência, onde se observa uma pequena dispersão para os valores dos teores de 6 e 6,5% de ligante.

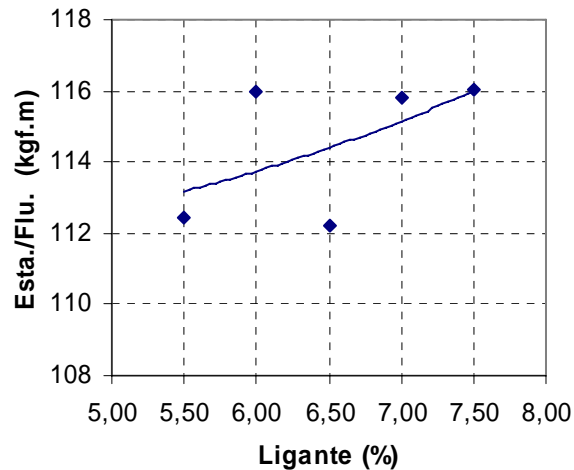


Figura 4.28: Curva Relação Estabilidade/Fluência, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%

No Quadro 4.4 estão sumarizadas as propriedades finais da mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 7%.

Quadro 4.4: Resumo dos resultados das propriedades finais da mistura de asfalto-borracha com teor de 7% de fíler

PROPRIEDADE	ESP 16/91 DAER	VALOR DE PROJETO
Teor de Betume (%)	---	6,50
Volume de Vazios (%)	3 a 5	4,00
Relação Betume Vazios (%)	75 a 82	81,00
Vazios do Agregado Mineral (%)	>16	20,00
Massa Máxima Teórica (kN/m ³)	---	2,66
Massa Específica Aparente (kN/m ³)	97% (mínimo)	2,56
Estabilidade (kgf)	>800	1020
Fluência (1/100 in)	8 a 16	18,00
Relação Est/Fluência (kgf.m)	---	114,50
Relação Fíler/Betume (%)	0,6 a 1,6 (Superpave)	1,08

4.5. Mistura com CAP 50/60, teor de fíler de 9%

A seguir são apresentados os resultados obtidos para a mistura com cimento asfáltico de petróleo – CAP 50/60. As fichas resumos encontram-se no Apêndice F.

Na Figura 4.29 está representada a percentagem de vazios em relação à percentagem de ligante utilizado, para a mistura com 9% de fíler. O volume de vazios diminui na medida que aumenta o teor de ligante. De acordo com as especificações, o volume de vazios fica entre 3 a 5%. Para este projeto, adotou-se o valor de 4,00% de vazios que equivale a 4,80% de ligante.

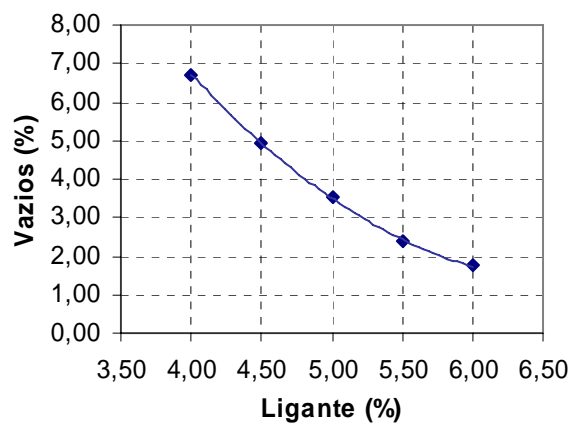


Figura 4.29: Curva de volume de vazios, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%

Estão representados na Figura 4.30, os valores percentuais de vazios do agregado mineral, com o valor de 16,40% para uma quantidade de 4,80% de ligante, sendo que a norma estabelece valores acima de 16% de vazios do agregado mineral.

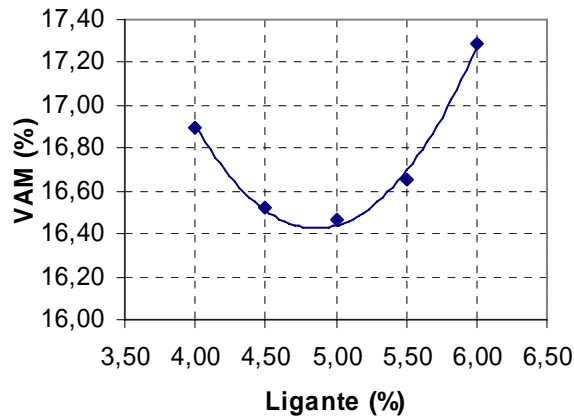


Figura 4.30: Curva de vazios do agregado mineral, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%

Verifica-se na Figura 4.31 que a relação betume/vazios aumenta com o acréscimo do teor de ligante para a mistura, o que já era esperado. As especificações fixam valores entre 75 e 82%. O valor de projeto foi de 76%.

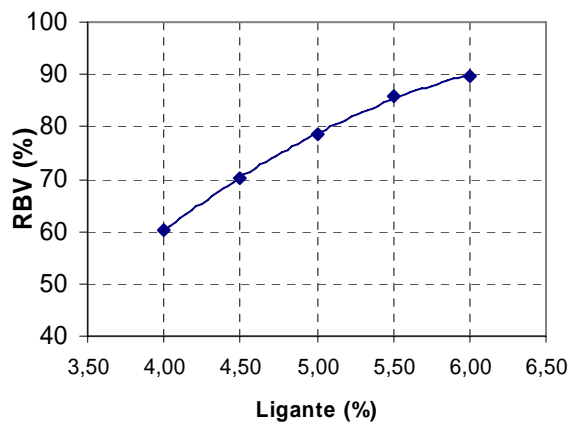


Figura 4.31: Curva relação de betume/vazios, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%

Na Figura 4.32 está representada a curva da massa específica aparente da mistura, podendo-se observar a tendência do aumento da densidade com o aumento do teor de ligante. Este parâmetro é utilizado para o controle de qualidade do CBUQ em campo. O valor encontrado neste projeto foi de $2,62 \text{ KN/m}^3$.

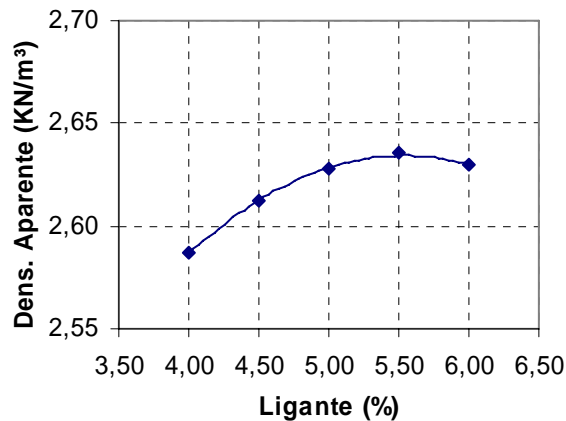


Figura 4.32: Curva de densidade aparente, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%

Verifica-se na Figura 4.33, a curva de Estabilidade para a mistura, com os valores variando entre 990 e 1330 kgf. A especificação recomenda valores acima de 800 kgf, como desejável para a mistura.

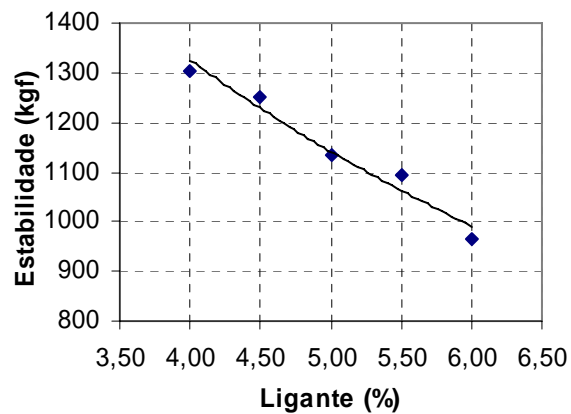


Figura 4.33: Curva de Estabilidade, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%

Esta representada na Figura 4.34, a curva de estabilidade para a mistura. Os valores variam entre 16,50 e 19,10 $\frac{1}{100}$ in, e os valores especificados vão de 8 $\frac{1}{100}$ in e 18 $\frac{1}{100}$ in. O valor encontrado neste projeto foi de 17 $\frac{1}{100}$ in, estando fora das especificações.

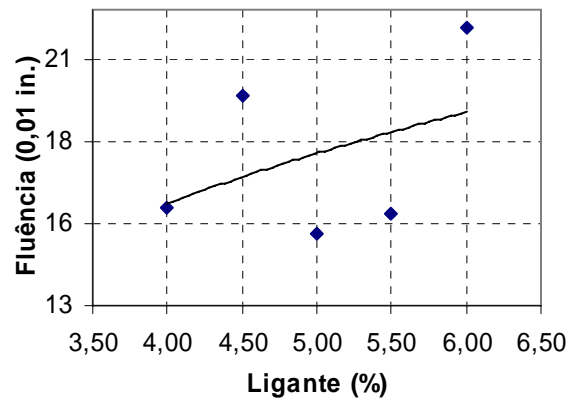


Figura 4.34: Curva de fluência, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%

Na Figura 4.35 está representada a curva da relação entre estabilidade e fluência, onde se pode observar uma pequena dispersão para o valor do teor de 4,50% de ligante.

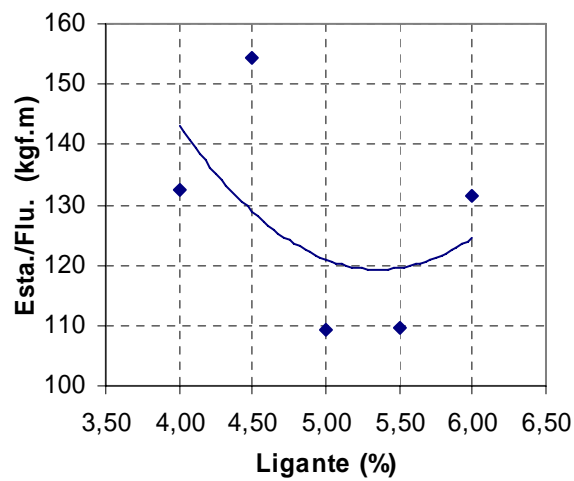


Figura 4.35: Curva relação estabilidade/fluência, para mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%

No Quadro 4.5 estão sumarizadas as propriedades finais da mistura de CAP 50/60 com teor de fíler de 9%.

Quadro 4.5: Resumo dos resultados das propriedades finais da mistura de CAP 50/60 com teor de 9% de fíler

PROPRIEDADE	ESP 16/91 DAER	VALOR DE PROJETO
Teor de Betume (%)	---	4,80
Volume de Vazios (%)	3 a 5	4,00
Relação Betume Vazios (%)	75 a 82	76,00
Vazios do Agregado Mineral (%)	>16	16,40
Massa Máxima Teórica (kN/m ³)	---	2,72
Massa Específica Aparente (kN/m ³)	97% (mínimo)	2,62
Estabilidade (kgf)	>800	1175
Fluência (1/100 in)	8 a 16	17,00
Relação Est/Fluência (kgf.m)	---	123,00
Relação Fíler/Betume (%)	0,6 a 1,6 (Superpave)	1,88

4.6. Mistura com asfalto-Borracha, teor de fíler de 9%.

A seguir são apresentados os resultados obtidos para a mistura com asfalto-borracha. As fichas resumos encontram-se no Apêndice G.

Na Figura 4.36 está representada a percentagem de vazios em relação à percentagem de ligante utilizado, para a mistura com 9% de fíler. O volume de vazios diminui na medida que aumenta o teor de ligante. De acordo com as especificações, o volume de vazios fica entre 3 a 5%. Para este projeto, adotou-se o valor de 4,00% de vazios que equivale a 6,60% de ligante.

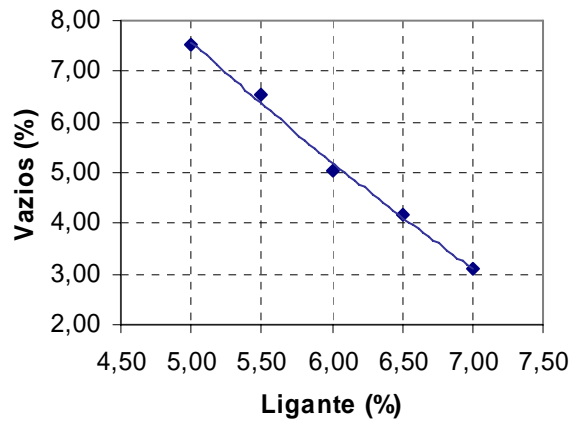


Figura 4.36: Curva de volume de vazios, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%

Estão representados na Figura 4.37, os valores percentuais de vazios do agregado mineral, com o valor de 20 % para uma quantidade de 6,60% de ligante, sendo que a norma estabelece valores acima de 16% de vazios do agregado mineral.

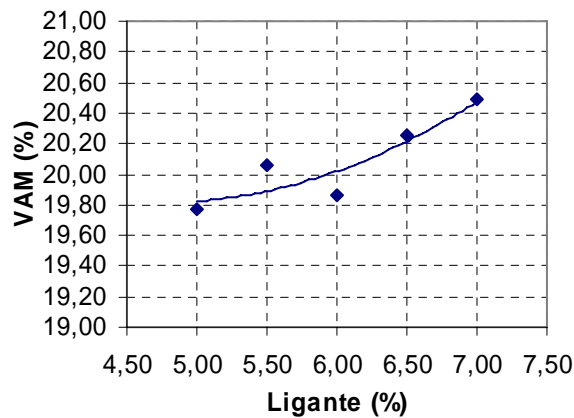


Figura 4.37: Curva de vazios do agregado mineral, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%

Verifica-se na Figura 4.38 que a relação betume/vazios aumenta com o acréscimo do teor de ligante para a mistura, o que já era esperado. As especificações fixam valores entre 75 e 82%. O valor de projeto foi de 81%.

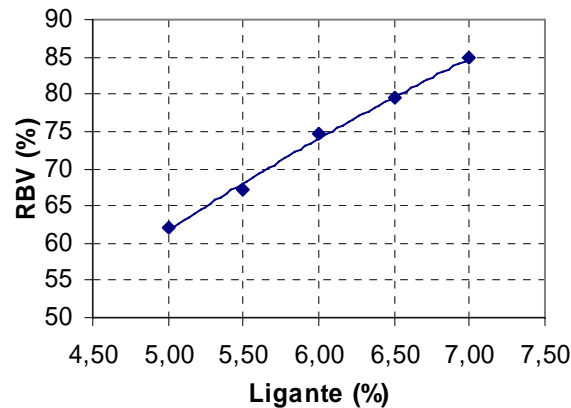


Figura 4.38: Curva relação de betume/vazios, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%

Na Figura 4.39 está representada a curva da massa específica aparente da mistura, podendo-se observar a tendência do aumento da densidade com o aumento do teor de ligante. Este parâmetro é utilizado para o controle de qualidade do CBUQ em campo. O valor encontrado neste projeto foi de $2,55 \text{ KN/m}^3$.

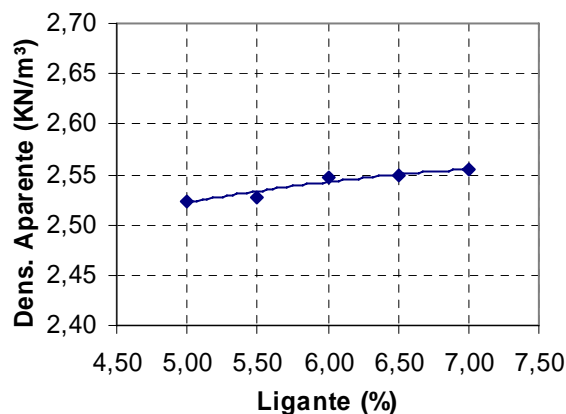


Figura 4.39: Curva de densidade aparente, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%

Verifica-se, na Figura 4.40, a curva de estabilidade para a mistura, com os valores variando entre 1033 e 1080 kgf. A especificação recomenda valores acima de 800 kgf, como desejáveis para a mistura.

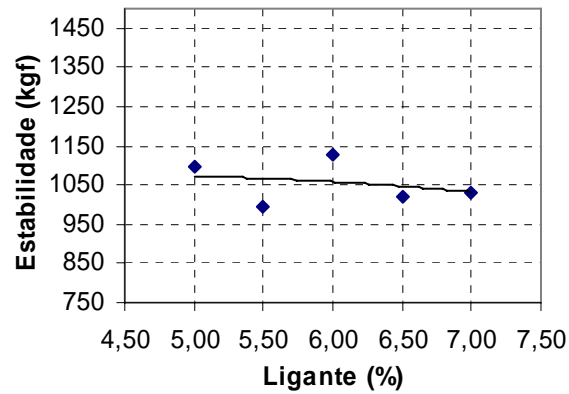


Figura 4.40: Curva de estabilidade, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%

Esta representada na Figura 4.41, a curva de estabilidade para a mistura, sendo que os valores variam entre 12,30 e 16,80 $\frac{1}{100}$ in, e os valores especificados vão de 8 $\frac{1}{100}$ in e 18 $\frac{1}{100}$ in. Pode-se observar uma pequena dispersão para os valores dos teores de 5,5 e 6,5% de ligante.

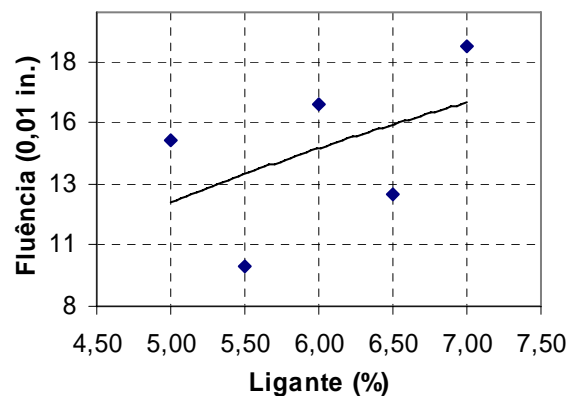


Figura 4.41: Curva de Fluência, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%

Na figura 4.42 está representada a curva da relação entre estabilidade e fluência, onde é possível observar dispersões em todos os seus valores.

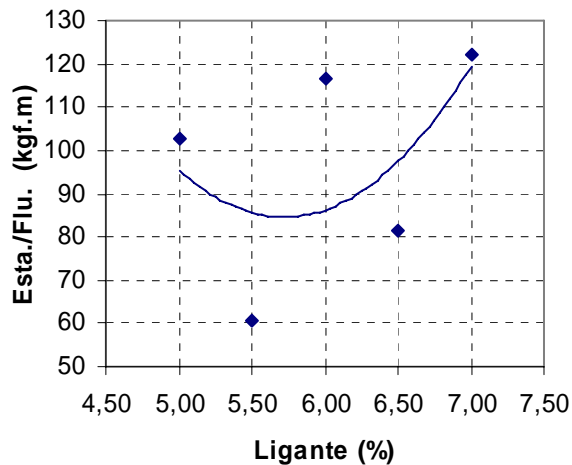


Figura 4.42: Curva Relação estabilidade/fluência, para mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%

No Quadro 4.6 estão sumarizadas as propriedades finais da mistura de asfalto-borracha com teor de fíler de 9%.

Quadro 4.6: Resumo dos resultados das propriedades finais da mistura de asfalto-borracha com teor de 9% de fíler

PROPRIEDADE	ESP 16/91 DAER	VALOR DE PROJETO
Teor de Betume (%)	---	6,60
Volume de Vazios (%)	3 a 5	4,00
Relação Betume Vazios (%)	75 a 82	81,00
Vazios do Agregado Mineral (%)	>16	20,00
Massa Máxima Teórica (kN/m ³)	---	2,66
Massa Específica Aparente (kN/m ³)	97% (mínimo)	2,55
Estabilidade (kgf)	>800	1050
Fluência (1/100 in)	8 a 16	16,00
Relação Est/Fluência (kgf.m)	---	101,00
Relação Fíler/Betume (%)	0,6 a 1,6 (Superpave)	1,36

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram apresentados no capítulo 4 os resultados encontrados, bem como os mesmos foram analisados de forma preliminar. Passamos agora a uma análise específica, comparando os teores de fíler e o tipo de ligante utilizado.

Para obtenção destes teores foram respeitados os valores da especificação ESP 16/91 DAER. Cabe salientar que a determinação do teor de ligante de projeto, foi feita utilizando um volume de vazios de 4%, pois, segundo Specht (2004), o volume de vazios é a propriedade mais importante do concreto asfáltico, sempre se faz necessário uma certa quantidade de vazios na mistura para permitir a expansão térmica dos ligantes e suportar a leve compactação causada pelo tráfego. Valores abaixo de 3%, de volume de vazios, comprometem o desempenho das misturas quanto ao afundamento em trilha de roda; e valores acima de 8%, comprometem a durabilidade.

Na Figura 5.1, é apresentado à variação do teor de ligante utilizado nas misturas estudadas. A mistura com 4% de fíler, feita com CAP 50/60 e com asfalto-borracha, obtiveram teores de ligante de projeto 5,52% e 6,80% respectivamente; com 7% de fíler, obtiveram valores de 5,00% e 6,50% respectivamente; já com 9%, os teores de ligante encontrados foram de 4,80% e 6,60%. Comparando os valores podemos concluir que, para as misturas feitas com asfalto-borracha, a adição de fíler influenciou pouco no teor de ligante, já as misturas feitas com CAP 50/60, a adição de fíler teve bastante influência nos teores de betume.

Como o ligante é mais viscoso, é necessário maior volume para o envolvimento de todos os agregados, em consequência, a espessura do filme de ligante sobre os agregados é maior para as misturas feitas com asfalto-borracha.

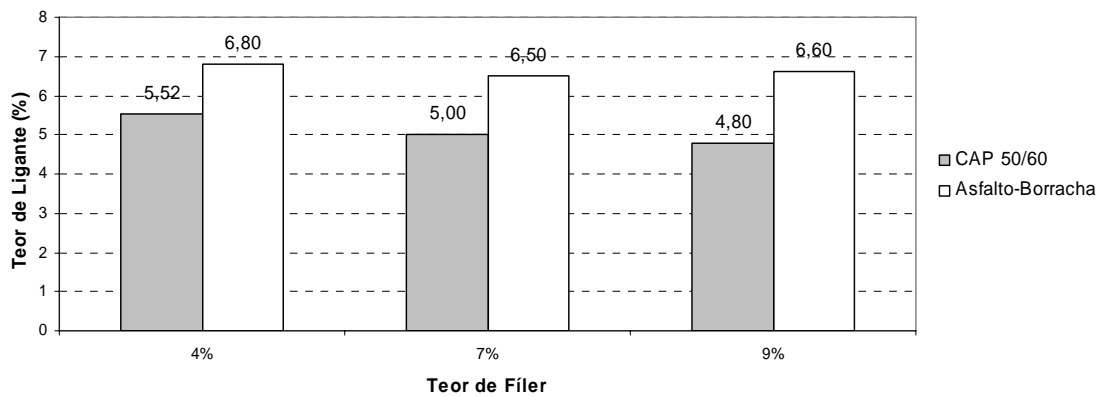


Figura 5.1: Resultado do teor de ligante em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado

Na Figura 5.2 é apresentada a relação betume/vazios em função do teor de fíler e do tipo de ligante utilizado. A mistura com 4% de fíler, feita com CAP 50/60 e com asfalto-borracha, apresentou valores da relação betume/vazio de 77,92% e 81,00% respectivamente; com 7% de fíler, obtiveram valores de 76,00% e 81,00% respectivamente; já com 9%, os valores encontrados foram de 76,00% e 81,00%.

A relação betume/vazios, ou RBV, nos fornece valores da quantidade percentual de vazios intergranulares preenchidos com asfalto, e serve para garantir uma quantidade razoável de ligante preenchendo vazios do agregado mineral; onde valores muito elevados comprometem a estabilidade da mistura, e muito baixos a durabilidade (SPECHT, 2004).

Esses resultados mostram que, ao variarmos o teor de fíler não encontramos variação na relação betume/vazios, mas há uma grande diferença se compararmos as amostras feitas com asfalto-borracha, as quais apresentaram valores maiores, em relação às feitas com CAP 50/60.

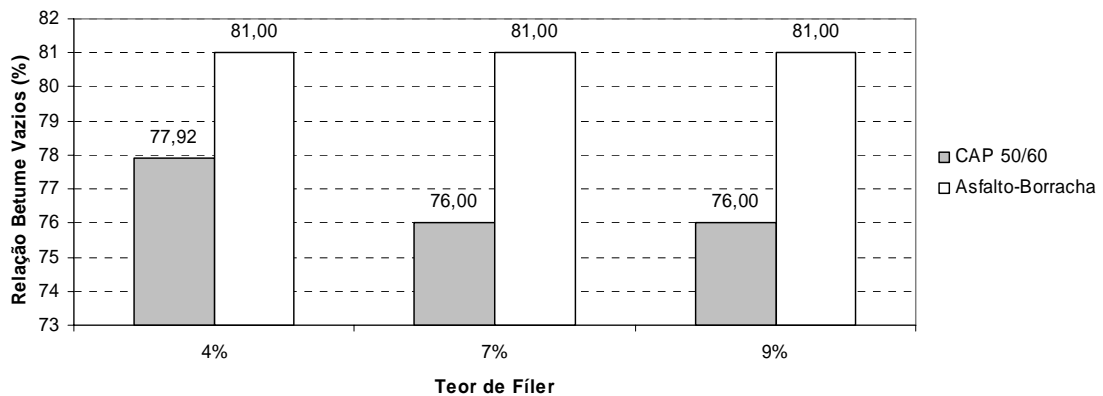


Figura 5.2: Resultado da relação betume/vazios em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado

Na figura 5.3 são apresentados os valores dos vazios do agregado mineral em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado. Pode-se observar que os valores dos vazios do agregado mineral não variaram consideravelmente em relação ao teor de fíler utilizado, mas sim conforme o tipo de ligante, tendo as misturas feitas com asfalto-borracha um volume maior de vazios dos agregados minerais do que as feitas com CAP 50/60, todas as misturas respeitam a especificação que indica vazios do agregado mineral maiores que 14.

Segundo Specht (2004), o volume de vazios do agregado mineral, ou VAM, representa o espaço intergranular do esqueleto mineral, onde: valores muito baixos do VAM levam a teores baixo de ligante, o que nos gera um mau recobrimento dos agregados por parte do ligante, comprometendo o desempenho à fadiga e a durabilidade das misturas; valores muito altos do VAM, geram um aumento no consumo de ligante, podendo causar a perda do intertravamento do esqueleto mineral e redução da resistência ao cisalhamento.

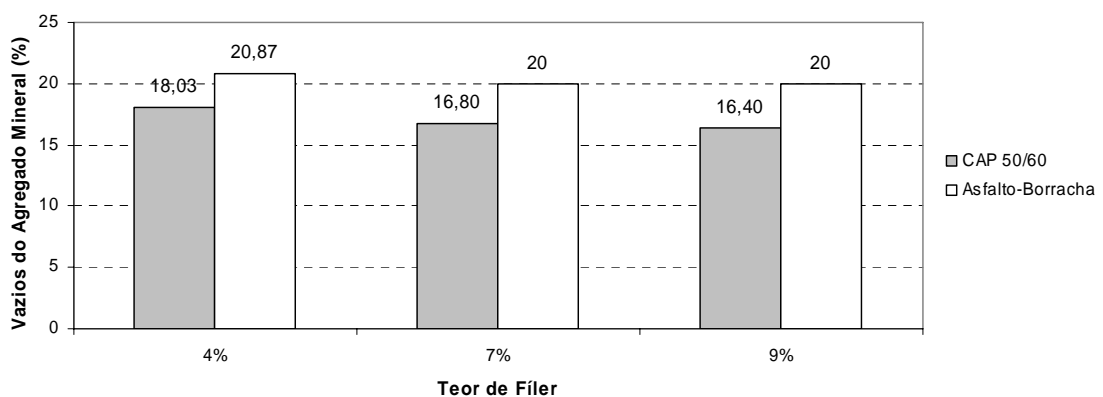


Figura 5.3: Resultado dos vazios dos agregados minerais em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado

Estão apresentados, na Figura 5.4, os valores de massa específica aparente em relação ao teor de fíler e ao tipo de ligante utilizado. Percebe-se que, a massa específica aparente não variou de forma considerável na medida em que variamos o teor de fíler, mas, ao compararmos os valores das misturas com asfalto-borracha em relação às feitas com CAP-50/60, observa-se que sua massa específica aparente é consideravelmente menor. Com este valor podemos fazer o controle de campo da mistura, que deve ter no mínimo 97% da densidade de projeto.

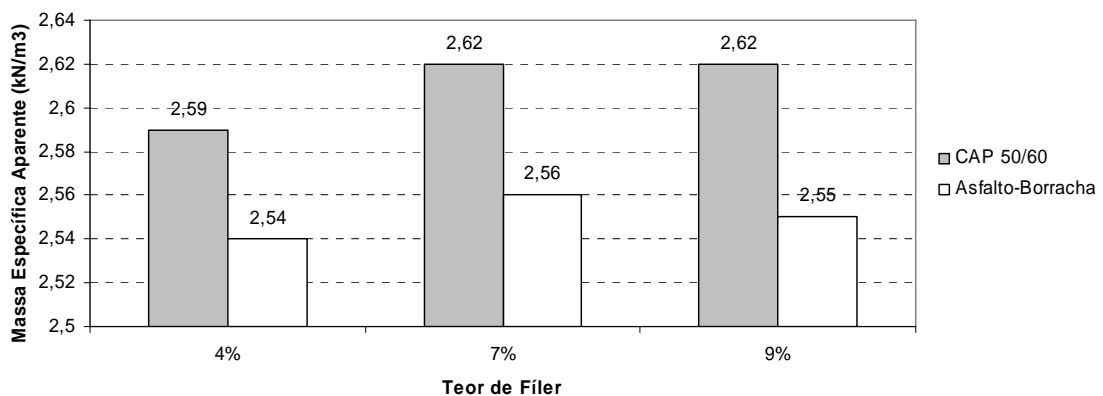


Figura 5.4: Resultado da massa específica aparente em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado

Na Figura 5.5 estão expostos os valores da estabilidade em função do teor de fíler e tipo de ligante utilizado. É possível perceber que a estabilidade aumenta na medida em que aumentamos o teor de fíler, para as misturas feitas com asfalto-borracha. Ainda percebe-se que a estabilidade das misturas feitas com CAP 50/60 é maior do que as feitas com asfalto-borracha, para as misturas com 7 e 9% de fíler. Valores de estabilidade muito elevados caracterizam misturas bastante rígidas, sem capacidade de retração e contração dos materiais constituintes, gerando trincas no pavimento; já as misturas que apresentarem valores de estabilidade muito baixos, caracterizam-se misturas macias, não resistentes ao afundamento de trilha de roda.

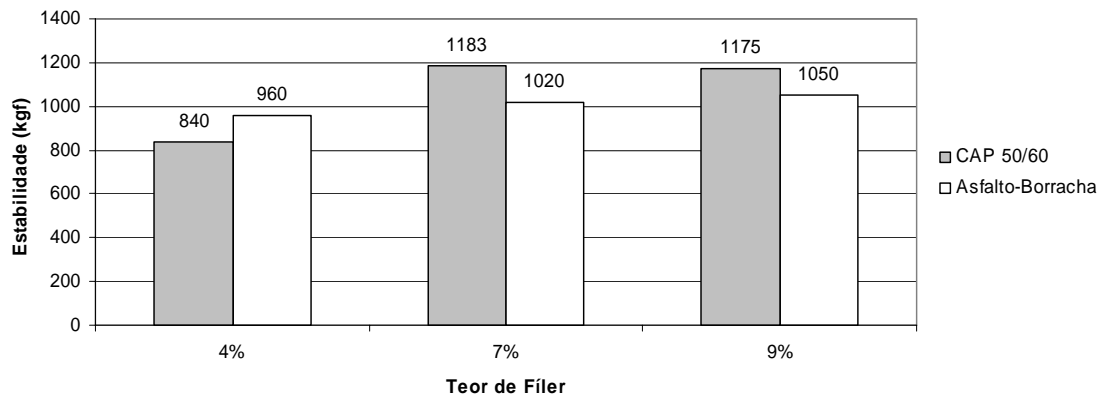


Figura 5.5: Resultado da estabilidade em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado

Estão apresentados na Figura 5.6, os resultados da fluência em função do teor de fíler e do tipo de ligante utilizado. Verifica-se que para as misturas feitas com CAP 50/60, na medida em que aumentamos o teor de fíler, há, também, um aumento da fluência. Também, às misturas feitas com asfalto-borracha tiveram, um valor de fluência, primeiramente, maior que as feitas com CAP.

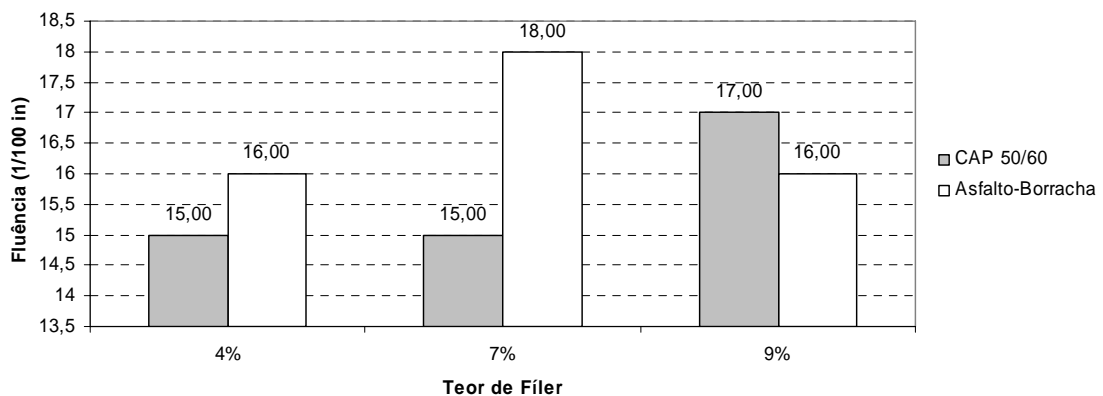


Figura 5.6: Resultado da fluência em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado

A Figura 5.7 está apresentando os resultados da relação estabilidade/fluência em função do teor de fíler e do tipo de ligante utilizado. É possível perceber que, na medida em que é acrescentado mais fíler, para as misturas feitas com asfalto-borracha, há uma diminuição gradativa da relação estabilidade/fluência. Ao contrário disso, a adição de fíler, para as

misturas feitas com CAP 50/60, refletiu em um aumento considerável de sua relação de estabilidade/fluência.

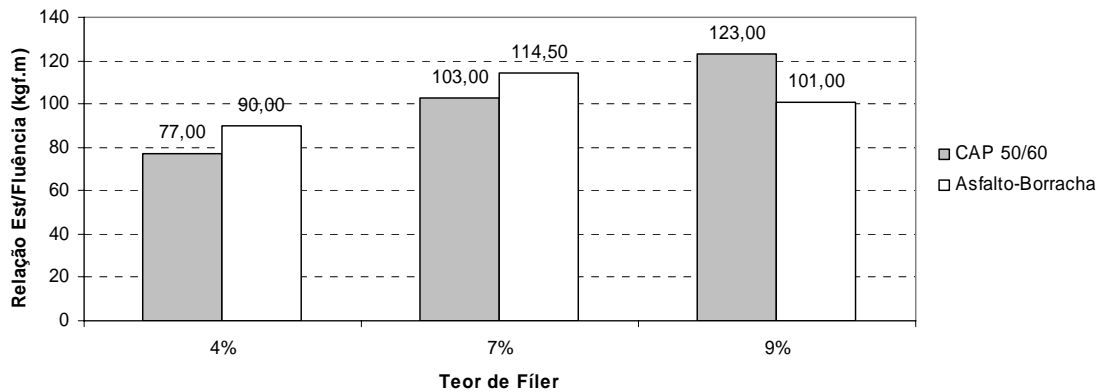


Figura 5.7: Resultado da relação estabilidade/fluência em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado

Na Figura 5.8, estão apresentados os valores da relação fíler/betume em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado. Os resultados demonstram que em ambas as misturas houve aumentos da relação fíler/betume na medida em que se acrescentava fíler, porém este aumento foi maior nas misturas feitas com CAP 50/60. Cabe salientar que altos valores, indicam pouco ligante livre para combater as trincas de fadiga e de origem térmica.

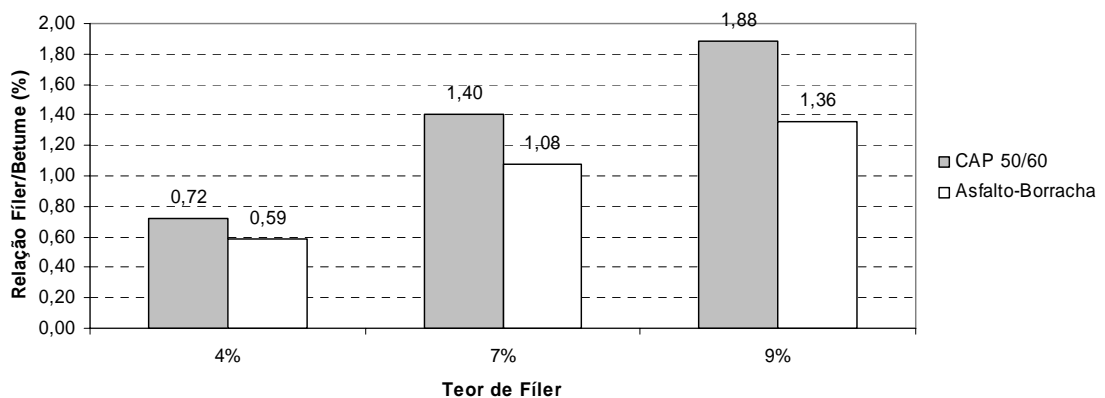


Figura 5.8: Resultado da relação fíler/betume em função da quantidade de fíler e do tipo de ligante utilizado

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Conclusões

A seguir encontram-se as principais conclusões deste estudo.

➤ As misturas feitas com asfalto-borracha não tiveram uma variação do teor de betume ao variarmos a quantidade de fíler, mas teve um consumo superior se compararmos ao CAP 50/60, isso se deve ao motivo de, o asfalto-borracha, ser mais viscoso, o que acarreta em um consumo maior de ligante para que haja um recobrimento de todos os agregados;

➤ Os valores do volume dos agregados minerais, o VAM, não variou, em função do teor de fíler utilizado, para as misturas feitas com asfalto-borracha, apresentando valores superiores às feitas com CAP 50/60, o que nos leva a crer que estas misturas apresentarão uma boa resistência à fadiga e boa durabilidade;

➤ As misturas feitas com CAP 50/60 apresentaram valores que beiram os limites da norma, no que diz respeito ao VAM, o que pode comprometer seu desempenho à fadiga e a durabilidade;

➤ Misturas feitas com CAP 50/60, apresentaram massa específica maior que os confeccionados com asfalto-borracha;

➤ Os valores de estabilidade não apresentaram grande variação com a adição de fíler, mas se compararmos ao tipo de ligante, as misturas feitas com CAP 50/60 foram as que apresentaram valores maiores de estabilidade, resultando em misturas mais duras que as feitas com asfalto-borracha;

➤ As misturas feitas com asfalto-borracha, para os teores de 4 e 7% de fíler, apresentaram valores consideravelmente altos de fluência, chegando até a ultrapassar os valores estipulados pela norma;

➤ Quanto aos valores da relação fíler/betume, podemos dizer os mesmos aumentam na medida em que aumentamos o teor de fíler, também que as misturas feitas com CAP 50/60, apresentaram valores mais altos que as confeccionadas com asfalto-borracha, o que nos possibilita concluir que as misturas feitas com asfalto-borracha, mesmo variando o teor de fíler, não apresentaram valores fora da norma, o que não pode ser dito das feitas com CAP 50/60, o que leva-nos a concluir que as misturas com asfalto-borracha possuem mais ligante livre para atuar na cicatrização de microfissuras;

➤ O ligante asfalto-borracha apresentou características melhores que o CAP 50/60, porém deve ser usado com um teor de finos entre 4 e 7%, para que não prejudique seu desempenho

6.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

Com a finalidade de melhorar e dar continuidade a este estudo, sugerem-se os seguintes temas:

➤ Fazer uma pesquisa observando os mesmos valores, mas variando a lamelaridade dos agregados;

➤ Aumentar a matriz experimental, a fim de pegar as pequenas variações das propriedades.

➤ Obter valores das propriedades de adesividade;

➤ Fazer ensaios de envelhecimento das misturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. Volume 2, 5ª Edição, Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora, 1999.

BERTOLLO, Sandra Aparecida M. **Avaliação Laboratorial de Misturas Asfálticas Densas Modificadas com Borracha Reciclada de Pneus**. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Carlos, 2002.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, **Manual de Pavimentação**. 2ª Edição, Editora do Brasil, Rio de Janeiro, 1996.

INSTITUTO DE ASFALTO, **Manual de Asfalto**. 4ª Edição, Lexington, KY, E.U.A. 2002.

MELLO, José Carlos. **Transporte: Presente e Futuro**. In: ABPv – 33ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 20 a 23 de novembro de 2001, Florianópolis, Anais 2001, p. 31 – 39.

MORILHA e GRECA. **Asfalto-Borracha ECOFLEX – GRECA ASFALTOS**, Esteio/RS 2004. Disponível em www.iep.org.br/lit/APOSTILA_Asfalto_Borracha.doc Acesso em 04 out. 2004

ODA, Sandra. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto-Borracha em Obras de Pavimentação**. São Carlos, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia)) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Carlos, 2000.

SENÇO, Walstermir de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. Volume 1, Ed. Pini, São Paulo, 1997.

SILVA, F. J. **Reciclagem de Pneus**. Disponível em www.cajueditora.com.br, Acesso em 10/10/2004.

SPECHT, L. P. **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus**. Porto Alegre, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia)) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

TAKATU, Rosalyn M. **Utilização dos Resíduos de Pneus Inservíveis na Fabricação do Asfalto Borracha**. São Bernardo do Campo, 2004. Tese – (Mestrado em Engenharia) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Senai Mario Amato – SBC, 2004.

WESSELING, D. H. **Avaliação Laboratorial do Comportamento de Misturas em Concreto Asfáltico**. Ijuí, 2002. Tese (Graduação em Engenharia Civil) – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, 2002.

**APÊNDICE A – Ficha do Ensaio de Granulometria dos Agregados e Índice de
Lamelaridade**



Rua do Comércio 3000
Bairro Universitário
fone: 0xx 55 3332 0505



Caracterização dos Agregados

1 - IDENTIFICAÇÃO

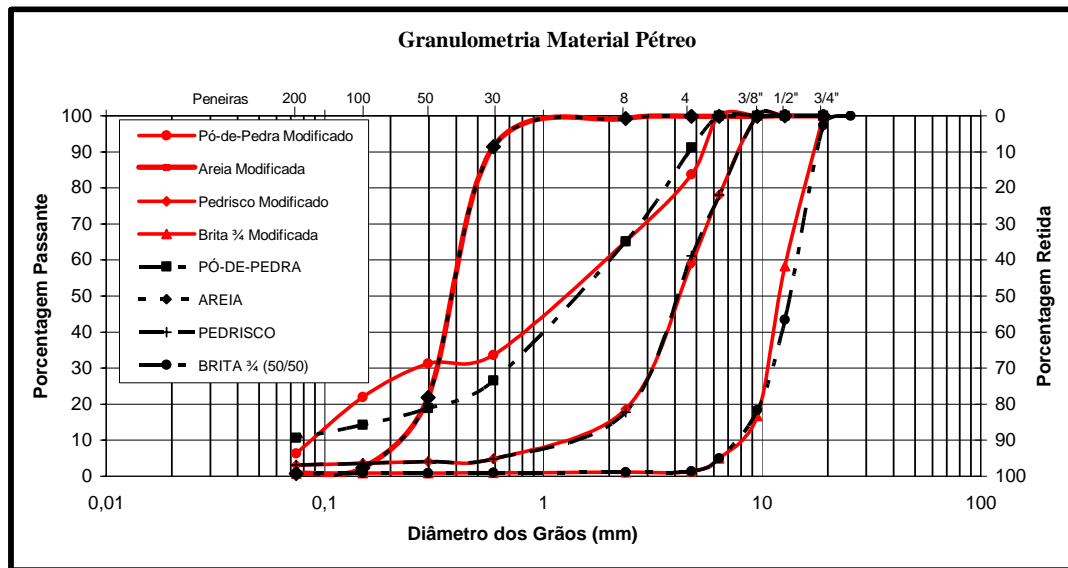
Projeto:	Pesquisa Asfalto Borracha
Operador:	Fabio - Jacson - Thiago
Data:	30-ago-04
Objetivo:	Projeto de mistura em concreto asfáltico
Obs:	

2. PROCEDÊNCIA DOS MATERIAIS

Material	Procedência
BRITA ¼ (50/50)	Pedreira Tabile - Ijuí/RS
PEDRISCO	Pedreira Tabile - Ijuí/RS
PO-DE-PEDRA	Pedreira Tabile - Ijuí/RS
AREIA	Pedreira Tabile - Ijuí/RS

3 - ANÁLISE GRANULOMETRICA



PENEIRA	mm	BRITA ¼ (50/50)	PEDRISCO	PÓ-DE-PEDRA	AREIA
3/4"	19,1	97,4	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,7	43,5	100,0	100,0	100,0
3/8"	9,5	18,4	100,0	100,0	99,9
1/4"	6,35	5,0	78,0	100,0	99,9
n 4	4,76	1,4	61,1	91,2	99,9
n 8	2,38	1,1	17,8	65,1	99,2
n 30	0,59	1,0	4,8	26,5	91,5
n 50	0,297	0,9	4,1	18,8	21,9
n 100	0,149	0,8	3,6	14,3	2,4
n 200	0,074	0,7	3,0	10,7	0,8





4. ÍNDICE DE LAMELARIDADE DO AGREGADO GRAUDO (DAER108/01)

Material	Valor obtido no ensaio (utilização da placa de lamelaridade)
BRITA ¼ (50/50)	30,81
PEDRISCO	50,9

APÊNDICE B – Ficha do Ensaio Marshall para o Ligante Tipo CAP 50/60 com 4% de Fíler

		Rua do Comércio 3000 Bairro Universitário fone: 0xx 55 3332 0505		 <small>Laboratório de Engenharia Civil</small>				
Dosagem de Concreto Asfáltico - Metodologia Marshall								
1 - IDENTIFICAÇÃO								
Projeto:	Pesquisa Asfalto Borracha							
Operador:	Fabio - Jacson - Thiago							
Ligante:	CAP 50/60		Lamelaridade Mistura = 30%					
Data:	04/03/05		Teor de Finos = 4%					
Mistura:	CBUQ - Faixa B DAER ou IVB do Instituto do Asfalto							
Obs:	Tamanho máximo agregado 3/4"							
2 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E MISTURA MINERAL								
AGREGADOS								
	% retida	D _{Real} :	D _{ap} :	D _{efetiva} :	Absorção	CAP	MISTURA MINERAL	
						Densidade	D _{real} :	3,033
3/4"- n° 10	61,5	3,045	2,901	2,973	1,626	1,016	D _{ap} :	2,943
pas n° 10	38,5	3,013					D _{efet} :	2,988
3 - ESPECIFICAÇÃO DNER								
Parâmetro		CAPA			BINDER			
Perc. Vazios (%)		3 a 5			4 a 6			
RBV (%)		75 a 82			65 a 72			
Estabilidade(kgf)		>500			>500			
Fluência (1/100")		8 a 18			8 a 18			
VAM (DAER) para 3/4"		>14			14			
4 - MISTURA E COMPACTAÇÃO								
Mistura:		Temperatura - 151 -157°C						
Compactação:		75 golpes por face - Temperatura - 139 -144°C						
5 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DAS MISTURAS								
Propriedade		Teor de Betume (%)						
		4,0	4,5	5,0	5,5	6,0		
Volume de Vazios (%)		9,6	7,4	5,1	4,5	2,7		
Relação Betume Vazios (%)		51	60	71	76	85		
Vazios do Agregado Mineral (%)		19,48	18,71	17,86	18,42	18,04		
Densidade Máxima Teórica (g/cm ³)		2,77	2,75	2,72	2,70	2,68		
Densidade Aparente (g/cm ³)		2,51	2,54	2,58	2,58	2,61		
Estabilidade (1/100 in)		849	932	809	782	905		
Fluência (kgf)		9	10	15	13	17		
Resistência à Tração (MPa)		0	0	0	0	0		
Módulo de Resiliência (MPa)		0	0	0	0	0		
Relação Mr/Rt		0	0	0	0	0		
Relação Est/Fluência (kgf.m)		51	59	75	64	98		

**APÊNDICE C – Ficha do Ensaio Marshall para o Ligante Tipo Asfalto-Borracha com
4% de Fíler**

		Rua do Comércio 3000 Bairro Universitário fone: 0xx 55 3332 0505		 <small>Laboratório de Engenharia Civil</small>				
Dosagem de Concreto Asfáltico - Metodologia Marshall								
1 - IDENTIFICAÇÃO								
Projeto:	Pesquisa Asfalto Borracha							
Operador:	Fabio - Jacson - Thiago							
Ligante:	Asfalto Borracha		Lamelaridade Mistura = 30%					
Data:	04/03/05		Teor de Finos = 4%					
Mistura:	CBUQ - Faixa B DAER ou IVB do Instituto do Asfalto							
Obs:	Tamanho máximo agregado 3/4"							
2 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E MISTURA MINERAL								
AGREGADOS								
	% retida	D _{Real} :	D _{ap} :	D _{efetiva} :	Absorção	CAP	MISTURA MINERAL	
						Densidade	D _{real} :	3,033
3/4"- n° 10	61,5	3,045	2,901	2,973	1,626	1,030	D _{ap} :	2,943
pas n° 10	38,5	3,013					D _{efet} :	2,988
3 - ESPECIFICAÇÃO DNER								
Parâmetro		CAPA			BINDER			
Perc. Vazios (%)		3 a 5			4 a 6			
RBV (%)		75 a 82			65 a 72			
Estabilidade(kgf)		>500			>500			
Fluência (1/100")		8 a 18			8 a 18			
VAM (DAER) para 3/4"		>14			14			
4 - MISTURA E COMPACTAÇÃO								
Mistura:	Temperatura - 170 -180°C							
Compactação:	75 golpes por face - Temperatura - 160 -170°C							
5 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DAS MISTURAS								
Propriedade	Teor de Betume (%)							
	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5			
Volume de Vazios (%)	8,1	5,9	4,5	3,9	3,2			
Relação Betume Vazios (%)	62	71	78	82	85			
Vazios do Agregado Mineral (%)	21,36	20,64	20,52	21,09	21,62			
Densidade Máxima Teórica (g/cm ³)	2,71	2,68	2,66	2,64	2,62			
Densidade Aparente (g/cm ³)	2,49	2,52	2,54	2,54	2,53			
Estabilidade (1/100 in)	934	871	1039	943	856			
Fluência (kgf)	14	13	14	15	22			
Resistência à Tração (MPa)	0	0	0	0	0			
Módulo de Resiliência (MPa)	0	0	0	0	0			
Relação Mr/Rt	0	0	0	0	0			
Relação Est/Fluência (kgf.m)	82	70	92	91	117			

APÊNDICE D – Ficha do Ensaio Marshall para o Ligante Tipo CAP 50/60 com 7% de Fíler



Rua do Comércio 3000
Bairro Universitário
fone: 0xx 55 3332 0505



Dosagem de Concreto Asfáltico - Metodologia Marshall

1 - IDENTIFICAÇÃO

Projeto:	Pesquisa Asfalto Borracha		
Operador:	Fabio - Jacson - Thiago		
Ligante:	CAP 50/60	Lamelaridade Mistura = 30%	
Data:	04/03/05	Teor de Finos = 7%	
Mistura:	CБУQ - Faixa B DAER ou IVB do Instituto do Asfalto		
Obs:	Tamanho máximo agregado 3/4"		

2 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E MISTURA MINERAL

	AGREGADOS					CAP	MISTURA MINERAL	
	% retida	D _{Real} :	D _{ap} :	D _{efetiva} :	Absorção	Densidade	D _{real} :	3,033
3/4" - n° 10	61,5	3,045	2,901	2,973	1,626	1,016	D _{ap} :	2,943
pas n° 10	38,5	3,013					D _{efet} :	2,988

3 - ESPECIFICAÇÃO DNER

Parâmetro	CAPA	BINDER
Perc. Vazios (%)	3 a 5	4 a 6
RBV (%)	75 a 82	65 a 72
Estabilidade(kgf)	>500	>500
Fluência (1/100")	8 a 18	8 a 18
VAM (DAER) para 3/4"	>14	14

4 - MISTURA E COMPACTAÇÃO

Mistura:	Temperatura - 151 -157°C
Compactação:	75 golpes por face - Temperatura - 139 -144°C

5 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DAS MISTURAS

Propriedade	Teor de Betume (%)					
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	
Volume de Vazios (%)	7,3	5,5	4,0	2,5	1,8	
Relação Betume Vazios (%)	58	68	76	85	90	
Vazios do Agregado Mineral (%)	17,41	17,01	16,84	16,77	17,32	
Densidade Máxima Teórica (g/cm ³)	2,77	2,75	2,72	2,70	2,68	
Densidade Aparente (g/cm ³)	2,57	2,60	2,62	2,63	2,63	
Estabilidade (1/100 in)	961	1130	1214	1094	1011	
Fluência (kgf)	10	13	12	18	21	
Resistência à Tração (MPa)	0	0	0	0	0	
Módulo de Resiliência (MPa)	0	0	0	0	0	
Relação Mr/Rt	0	0	0	0	0	
Relação Est/Fluência (kgf.m)	60	90	93	127	135	

**APÊNDICE E – Ficha do Ensaio Marshall para o Ligante Tipo Asfalto-Borracha com
7% de Fíler**



Rua do Comércio 3000
Bairro Universitário
fone: 0xx 55 3332 0505



Dosagem de Concreto Asfáltico - Metodologia Marshall

1 - IDENTIFICAÇÃO

Projeto:	Pesquisa Asfalto Borracha		
Operador:	Fabio - Jacson - Thiago		
Ligante:	Asfalto Borracha	Lamelaridade Mistura = 30%	
Data:	04/03/05	Teor de Finos = 7%	
Mistura:	CБУQ - Faixa B DAER ou IVB do Instituto do Asfalto		
Obs:	Tamanho máximo agregado 3/4"		

2 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E MISTURA MINERAL

	AGREGADOS					CAP	MISTURA MINERAL	
	% retida	D _{Real} :	D _{ap} :	D _{efetiva} :	Absorção	Densidade	D _{real} :	3,033
3/4" - n° 10	61,5	3,045	2,901	2,973	1,626	1,030	D _{ap} :	2,943
pas n° 10	38,5	3,013					D _{efet} :	2,988

3 - ESPECIFICAÇÃO DNER

Parâmetro	CAPA	BINDER
Perc. Vazios (%)	3 a 5	4 a 6
RBV (%)	75 a 82	65 a 72
Estabilidade(kgf)	>500	>500
Fluência (1/100")	8 a 18	8 a 18
VAM (DAER) para 3/4"	>14	14

4 - MISTURA E COMPACTAÇÃO

Mistura:	Temperatura - 170 -180°C
Compactação:	75 golpes por face - Temperatura - 160 -170°C

5 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DAS MISTURAS

Propriedade	Teor de Betume (%)					
	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	
Volume de Vazios (%)	5,7	4,6	4,0	3,2	2,8	
Relação Betume Vazios (%)	71	76	80	85	87	
Vazios do Agregado Mineral (%)	19,29	19,54	20,13	20,52	21,32	
Densidade Máxima Teórica (g/cm ³)	2,71	2,68	2,66	2,64	2,62	
Densidade Aparente (g/cm ³)	2,55	2,56	2,55	2,55	2,54	
Estabilidade (1/100 in)	1145	1136	981	957	858	
Fluência (kgf)	15	16	17	19	21	
Resistência à Tração (MPa)	0	0	0	0	0	
Módulo de Resiliência (MPa)	0	0	0	0	0	
Relação Mr/Rt	0	0	0	0	0	
Relação Est/Fluência (kgf.m)	112	116	104	116	116	

APÊNDICE F – Ficha do Ensaio Marshall para o Ligante Tipo CAP 50/60 com 9% de Fíler



Rua do Comércio 3000
Bairro Universitário
fone: 0xx 55 3332 0505



Dosagem de Concreto Asfáltico - Metodologia Marshall

1 - IDENTIFICAÇÃO

Projeto:	Pesquisa Asfalto Borracha		
Operador:	Thiago/Fabio/Jackson		
Ligante:	CAP 50/60	Lamelaridade Mistura = 30%	
Data:	04/03/05	Teor de Finos = 9%	
Mistura:	CBUQ - Faixa B DAER ou IVB do Instituto do Asfalto		
Obs:	Tamanho máximo agregado 3/4"		

2 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E MISTURA MINERAL

	<u>AGREGADOS</u>					<u>CAP</u>	<u>MISTURA MINERAL</u>	
	% retida	D _{Real} :	D _{ap} :	D _{efetiva} :	Absorção	Densidade	D _{real} :	3,033
3/4" - n° 10	61,5	3,045	2,901	2,973	1,626	1,016	D _{ap} :	2,943
pas n° 10	38,5	3,013					D _{efet} :	2,988

3 - ESPECIFICAÇÃO DNER

<u>Parâmetro</u>	<u>CAPA</u>	<u>BINDER</u>
Perc. Vazios (%)	3 a 5	4 a 6
RBV (%)	75 a 82	65 a 72
Estabilidade(kgf)	>500	>500
Fluência (1/100")	8 a 18	8 a 18
VAM (DAER) para 3/4"	>14	14

4 - MISTURA E COMPACTAÇÃO

Mistura:	Temperatura - 151 -157°C
Compactação:	75 golpes por face - Temperatura - 139 -144°C

5 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DAS MISTURAS

<u>Propriedade</u>	<u>Teor de Betume (%)</u>				
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Volume de Vazios (%)	6,7	4,9	3,5	2,4	1,8
Relação Betume Vazios (%)	60	70	79	86	90
Vazios do Agregado Mineral (%)	16,89	16,52	16,46	16,65	17,29
Densidade Máxima Teórica (g/cm ³)	2,77	2,75	2,72	2,70	2,68
Densidade Aparente (g/cm ³)	2,59	2,61	2,63	2,64	2,63
Estabilidade (1/100 in)	1305	1253	1134	1092	965
Fluência (kgf)	16	19	15	16	21
Resistência à Tração (MPa)	0	0	0	0	0
Módulo de Resiliência (MPa)	0	0	0	0	0
Relação Mr/Rt	0	0	0	0	0
Relação Est/Fluência (kgf.m)	132	154	109	110	131

**APÊNDICE G – Ficha do Ensaio Marshall para o Ligante Tipo Asfalto-Borracha com
9% de Fíler**



Rua do Comércio 3000
Bairro Universitário
fone: 0xx 55 3332 0505



Dosagem de Concreto Asfáltico - Metodologia Marshall

1 - IDENTIFICAÇÃO

Projeto:	Pesquisa Asfalto Borracha		
Operador:	Thiago/Fabio/Jackson		
Ligante:	ASFALTO BORRACHA	Lamelaridade Mistura = 30%	
Data:	04/03/05	Teor de Finos = 9%	
Mistura:	CBUQ - Faixa B DAER ou IVB do Instituto do Asfalto		
Obs:	Tamanho máximo agregado 3/4"		

2 - CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E MISTURA MINERAL

	AGREGADOS					CAP	MISTURA MINERAL	
	% retida	D _{Real} :	D _{ap} :	D _{efetiva} :	Absorção	Densidade	D _{real} :	3,033
3/4"- n° 10	61,5	3,045	2,901	2,973	1,626	1,030	D _{ap} :	2,943
pas n° 10	38,5	3,013					D _{efet} :	2,988

3 - ESPECIFICAÇÃO DNER

Parâmetro	CAPA	BINDER
Perc. Vazios (%)	3 a 5	4 a 6
RBV (%)	75 a 82	65 a 72
Estabilidade(kgf)	>500	>500
Fluência (1/100")	8 a 18	8 a 18
VAM (DAER) para 3/4"	>14	14

4 - MISTURA E COMPACTAÇÃO

Mistura:	Temperatura - 170 -180°C
Compactação:	75 golpes por face - Temperatura - 160 -170°C

5 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DAS MISTURAS

Propriedade	Teor de Betume (%)					
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	
Volume de Vazios (%)	7,5	6,6	5,0	4,2	3,1	
Relação Betume Vazios (%)	62	67	75	79	85	
Vazios do Agregado Mineral (%)	19,77	20,06	19,87	20,25	20,48	
Densidade Máxima Teórica (g/cm³)	2,73	2,71	2,68	2,66	2,64	
Densidade Aparente (g/cm³)	2,52	2,53	2,55	2,55	2,55	
Estabilidade (1/100 in)	1096	997	1129	1023	1033	
Fluência (kgf)	15	10	16	13	19	
Resistência à Tração (MPa)	0	0	0	0	0	
Módulo de Resiliência (MPa)	0	0	0	0	0	
Relação Mr/Rt	0	0	0	0	0	
Relação Est/Fluência (kgf.m)	103	61	117	82	122	