

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOÃO ANTONIO M. PAZINATTO

**ESTUDO COMPARATIVO DE MISTURAS ASFÁLTICAS TIPO SMA  
EFETUADAS COM ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO E  
ASFALTO MODIFICADO POR BORRACHA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2014

JOÃO ANTONIO M. PAZINATTO

**ESTUDO COMPARATIVO DE MISTURAS ASFÁLTICAS TIPO SMA  
EFETUADAS COM ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO E  
ASFALTO MODIFICADO POR BORRACHA**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof.<sup>a</sup>. MSc. Eliana Fernandes dos Santos

CAMPO MOURÃO

2014



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Campo Mourão  
Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Coordenação de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso Nº 66

**ESTUDO COMPARATIVO DE MISTURAS ASFÁLTICAS TIPO SMA EFETUADAS COM  
ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO E ASFALTO MODIFICADO POR  
BORRACHA**

por

**João Antonio M. Pazinatto**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 09h00min do dia 05 de Agosto de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Me. Adalberto R. de Oliveira**  
( UTFPR )

**Prof.ª. Esp. Sérgio Oberhauser Q. Braga**  
( UTFPR )

**Prof.ª. MSc. Eliana Fernandes dos Santos**  
(UTFPR)  
*Orientador*

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:  
**Prof. Dr. Marcelo Guelbert**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso*

Dedico este trabalho ao meu avô Luiz  
Jorge Pazinato, que em todos seus anos  
neste mundo semeou humildade e  
sabedoria.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a oportunidade de conhecer este mundo, a minha orientadora Prof.<sup>a</sup> MSc. Eliana Fernandes dos Santos, pela paciência, sabedoria e humildade com que me guiou neste projeto.

Aos meus colegas e professores, em especial ao Wander, Anderson Lacovic, Anderson Pitol, Gustavo Leme, Alcides de Paula, Luiz Becher e Giovanni Corelhano.

Gostaria de deixar registrado também o meu reconhecimento aos meus irmãos Fabrizzia Pazinato e Luiz Alfredo Pazinato as minhas tias, Marli pazinato e Maristela Pazinato e minha avó Zezira Pazinato, que sempre me ajudaram e deram forças para eu seguir em frente.

Agradeço principalmente a minha mãe, Zenilda Pazinato, pois acredito que sem o seu sacrifício, esforço e apoio, seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que estiveram presentes em minha vida por todo esse tempo e por algum motivo contribuíram para a realização deste projeto.

De nada serve ao homem conquistar a  
Lua se acaba por perder a Terra.  
(François Mauriac).

## RESUMO

PAZINATTO, João Antonio. **Estudo comparativo de misturas asfálticas tipo SMA efetuadas com asfalto modificado por polímero e asfalto modificado por borracha.** 2014. 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

O trabalho tem por objetivo geral a análise comparativa do teor ótimo e do escorrimento do ligante asfáltico entre duas misturas asfálticas tipo SMA (Stone Mastic Asphalt) efetuadas com agregados procedentes da região de Campo Mourão, Paraná. Para se atingir o objetivo, o trabalho foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa, foram elaboradas duas misturas SMA na faixa granulométrica Alemã 0/11S sendo uma delas efetuada de forma convencional, ou seja, composta por agregados, fíler, asfalto modificado por polímero e fibras de celulose e outra composta por agregados, fíler, asfalto borracha e sem a introdução de fibras de celulose. Para as duas misturas foram obtidos todos os parâmetros fornecidos pela Dosagem Marshall, destacando-se o teor ótimo de ligante. Na segunda etapa, a partir do teor ótimo de ligante encontrado para cada uma das misturas, foi realizado o teste do escorrimento pelo Método de Schellenberg. O teste foi executado para as duas misturas, nos seus respectivos teores ótimos de ligante, a fim de verificar a viabilidade técnica da exclusão das fibras de celulose em misturas SMA complementarmente ao uso de asfalto borracha, que apresenta maior viscosidade, em substituição ao asfalto modificado por polímero. Os ensaios foram todos realizados em laboratório seguindo as normas vigentes do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes).

**Palavras-chave:** Mistura asfáltica SMA. Faixa granulométrica. Asfalto modificado por polímero. Asfalto-borracha.

## ABSTRACT

PAZINATTO, João Antonio. **Comparative study of asphalt mixtures SMA made with polymer modified asphalt and rubber modified asphalt.** 2014. 43 p.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Federal Technology University - Paraná. Campo Mourão, 2014.

The work has the objective comparative analysis of the optimal content and draining asphalt binder between two asphalt mixtures SMA (Stone Mastic Asphalt) made with aggregates coming from the region of Campo Mourão, Paraná. To achieve the goal, the work was divided into two stages. In the first step, two mixtures were prepared SMA particle size in the range German 0/11S one being effected conventionally, ie, composed of aggregates, fillers, and polymer modified asphalt and other cellulose fibers composed of aggregates, fillers, asphalt rubber and without the introduction of cellulose fibers. For both mixtures all parameters provided by Dosage Marshall, highlighting the great binder content were obtained. In the second step, as the optimum binder content found for each mixture, the drip test method by Schellenberg was performed. The test was run for the two mixtures at their respective optimum levels of binder in order to check the technical feasibility of excluding the cellulose fibers in blends complementary to the use of rubberized asphalt, which has higher viscosity, replacing the modified asphalt SMA polymer. The tests were all performed in the laboratory according to prevailing regulations DNIT (National Department of Transport Infrastructure).

**Keywords:** SMA asphalt mixture. Particle size range. Polymer modified asphalt. Asphalt-Rubber.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Evolução da rede rodoviária .....	17
Tabela 2 – Classificação da geometria da via .....	18
Tabela 3 – Parâmetros para projeto SMA .....	22
Tabela 4 – Características do SMA 60/85 .....	25
Tabela 5 – Características do asfalto Borracha .....	26
Tabela 6 – Granulometria dos agregados .....	28
Tabela 7 – Mistura dos agregados .....	28
Tabela 8 – Porcentagem de materiais utilizados na mistura .....	28
Tabela 9 – Tabela de cálculo para metodologia Marschall (com fibra) .....	38
Tabela 10 – Parâmetros do SMA modificado por polímero .....	41
Tabela 11 – Tabela de cálculo para metodologia Marschall (asfalto-borracha) .....	43
Tabela 12 – Parâmetros do SMA com asfalto-borracha.....	46
Tabela 13 – Resultados do teste de Schellemborg .....	47

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fotografia 1 – Via oatilense, ligando Óstia a Roma .....	16
Fotografia 2 – Pesagem da amostra imersa em água.....	30
Fotografia 3 – Mistura dos agregados na estufa .....	31
Fotografia 4 – Processo da mistura do cap com os agregados.....	32
Fotografia 5 – Compactação dos corpos-de-prova .....	32
Fotografia 6 – Desmolde dos corpos-de-prova .....	33
Fotografia 7 – Corpo-de-prova em “banho-maria”.....	33
Fotografia 8 – Rompimento dos corpos de prova estabilidade .....	34
Fotografia 9 – Rompimento dos corpos de prova (diametral).....	34
Fotografia 10 – Pesagem da mistura .....	35
Fotografia 11 – Béquer na estufa.....	35
Fotografia 12 – Esvaziamento do béquer.....	36
Figura 1 – Exemplo de granulometria dos agregados.....	20
Figura 2 – Exemplo de mistura com aditivo e sem aditivo .....	25
Gráfico 1 – Evolução das rodovias Federais pavimentadas.....	19
Gráfico 2 – Faixas granulométricas.....	20
Gráfico 3 – Mistura utilizada .....	29
Gráfico 4 – V.V X teor de ligante polímero .....	39
Gráfico 5 – Densidade aparente X teor de ligante polímero.....	39
Gráfico 6 – R.B.V X teor de ligante polímero.....	40
Gráfico 7 – V.A.M X teor de ligante polímero .....	40
Gráfico 8 – Estabilidade X teor de ligante polímero .....	40
Gráfico 9 – Fluência X teor de ligante polímero .....	41
Gráfico 10 – Resistência a tração X teor de ligante polímero .....	41
Gráfico 11 – V.V X teor de ligante borracha.....	44
Gráfico 12 – Densidade aparente X teor de ligante borracha .....	44
Gráfico 13 – R.B.V X teor de ligante borracha .....	44
Gráfico 14 – V.A.M X teor de ligante borracha.....	45
Gráfico 15 – Estabilidade X teor de ligante borracha .....	45
Gráfico 16 – Fluência X teor de ligante borracha .....	45

Gráfico 17 – Resistência a Tração X teor de ligante borracha .....46

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>13</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
4.1 HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO .....	15
4.2 PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA NO BRASIL .....	17
4.2.1 PAVIMENTAÇÃO COM CBUQ .....	19
4.3 PAVIMENTOS COM MISTURA SMA.....	20
4.3.1 Misturas SMA com asfalto-borracha .....	23
4.3.2 Metodologia Marshall .....	24
4.3.3 Características de misturas do tipo SMA .....	25
<b>5 METODOLOGIA</b> .....	<b>28</b>
5.1 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA MISTURA DE AGREGADOS .....	28
5.1.1 DENSIDADE DOS AGREGADOS.....	30
5.2 METODOLOGIA MARSHALL .....	31
5.3 TESTE DE SCHELEMBERG .....	35
<b>6 RESULTADOS</b> .....	<b>38</b>
6.1 RESULTADOS DA METODOLOGIA MARSHALL .....	38
6.1.1 MISTURA SMA MODIFICADA POR POLÍMERO 60/85-E .....	38
6.1.2 MISTURA SMA MODIFICADO POR BORRACHA AB8 .....	43
6.2 RESULTADOS DA METODOLOGIA DE SCHELEMBERG .....	47
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>51</b>
<b>APÊNDICE A – Características do CAP modificado por polímero 60/85-E</b> .....	<b>53</b>
<b>APÊNDICE B – Características do CAP com borracha AB8</b> .....	<b>55</b>
<b>APÊNDICE C – Características dos agregados</b> .....	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes objetivos de se iniciar novas pesquisas e projetos no mundo todo e em todas as áreas, em um modo geral, é de agrupar tecnologia com conservação ambiental, ou seja, levar a inovação junto com a reutilização de dejetos e resíduos jogados na natureza. Em se tratando de asfalto, não só no Brasil, as últimas décadas trouxeram várias pesquisas inovadoras, uma delas foi de adicionar a borracha de pneus não mais utilizáveis ao ligante asfáltico com a finalidade de diminuir o processo de fadiga em pavimentos flexíveis.

Outras pesquisas desenvolveram mudanças nas faixas granulométricas das misturas com o intuito de minimizar problemas de deformações permanentes.

O SMA (Stone Mastic Asphalt, terminologia mais utilizada na Europa, ou Stone Matrix Asphalt, terminologia mais utilizada nos EUA) é um tipo de mistura asfáltica usada como revestimento de pavimentos rodoviários e de aeroportos, desenvolvida na Alemanha no final da década de 60 (NAPA, 2002).

No Brasil o revestimento asfáltico mais utilizado é o CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente), que é um revestimento asfáltico normalmente composto por agregado graúdo (brita e pedrisco), agregado miúdo (pó de pedra e/ou areia), e um ligante ásfáltico (CAP- Cimento Asfáltico de Petróleo), obtido a partir da destilação fracionada do petróleo.

Porém, devido ao crescimento econômico do país e à necessidade de se transportar grandes cargas pelos veículos comerciais que transitam em nossas rodovias, os pavimentos compostos por revestimentos de CAUQ convencional sofrem com as freqüentes deformações permanentes.

O revestimento de SMA é composto por asfalto modificado com polímero, sendo que seu diferencial é a granulometria descontínua, composta por uma maior fração de agregados graúdos britados de alta qualidade (entre 70% e 80%), uma rica massa de ligante/filer (10% passando na peneira nº 200), chamada de mastique, e aproximadamente 4% de vazios.

Devido à composição granulométrica, este tipo de mistura possui menor suscetibilidade à deformação permanente, uma vez que as altas porcentagens de agregados graúdos formam um esqueleto pétreo, preenchido pelo mastique, onde os grãos de agregados maiores se tocam promovendo maior estabilidade à mistura.

No entanto, devido à descontinuidade mistura e em virtude destas necessitarem de um maior teor de ligante asfáltico para preencher os vazios entre os agregados maiores, no processo de mistura e aplicação da massa asfáltica, há grande probabilidade de ocorrer escorrimento do ligante da mistura. Para evitar o problema é adicionado ao SMA fibras, como celulose que são as mais utilizadas atualmente e apresentam bons resultados quanto a manter a homogeneidade do SMA no processo de mistura e aplicação.

Atualmente, uma alternativa que vem se estudando no Brasil é o emprego do asfalto modificado com borracha de pneus reciclados nas misturas SMA com o intuito de se eliminar o uso de fibras de celulose, uma vez que este tipo de ligante apresenta uma viscosidade maior do que o asfalto modificado com polímero.

Sendo assim, o trabalho proposto tem por objetivo a análise comparativa do teor ótimo e do escorrimento do ligante asfáltico entre duas misturas asfálticas tipo SMA (Stone Mastic Asphalt) efetuadas com agregados procedentes da região de Campo Mourão, Paraná. Para atender ao objetivo o trabalho será dividido em duas etapas. Na primeira etapa será formulada uma mistura SMA (convencional) composta por agregados, fíler, asfalto modificado por polímero e fibras de celulose, e uma outra mistura composta por agregados, fíler, asfalto modificado por borracha e sem a utilização das fibras de celulose. As duas misturas serão enquadradas na faixa granulométrica alemã 0/11S e será utilizado o mesmo traço para ambas.

O teor ótimo para as misturas será determinado pela Metodologia Marshall definida pela norma: DNER-ME 043/95 – Misturas Betuminosas a quente: Ensaio Marshall, que além do teor ótimo de ligante fornece outros parâmetros da mistura como densidade aparente, volume de vazios, vazios cheios com betume, volume de vazios nos agregados minerais, relação betume-vazios, estabilidade, fluência e resistência à tração por compressão diametral.

De posse do teor ótimo de ligante para as misturas estudadas será executado o teste do escorrimento do ligante asfáltico para as mesmas na referida condição, através do Método de Schellenberg designado pela norma europeia EN 12697-18.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar e comparar o comportamento quanto ao teor ótimo de ligante asfáltico e escorrimento entre duas misturas asfálticas tipo SMA, ambas elaboradas com a mesma faixa granulométrica, porém uma composta por agregados, filer, asfalto modificado com polímero e fibras de celulose e a outra efetuada com a exclusão das fibras e adicionado o ligante asfalto-borracha.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Com agregados procedentes da região de Campo Mourão, elaborar uma mistura de agregados de forma a enquadrá-la em uma faixa granulométrica para misturas SMA;
- ✓ Com a mistura de agregados, compor duas misturas asfálticas tipo SMA, com traços idênticos, sendo uma mistura preparada com asfalto modificado por polímero e fibras de celulose na sua composição e outra mistura preparada com asfalto modificado por borracha com a exclusão das fibras de celulose;
- ✓ Para as duas misturas asfálticas, efetuar a Metodologia Marshall a fim de determinar o teor ótimo de ligante para ambas bem como os demais parâmetros fornecidos pela referida Metodologia;
- ✓ De posse do teor ótimo de ligante das duas misturas, realizar o teste do escorrimento do ligante asfáltico para ambas, nestas condições, com a finalidade de avaliar o comportamento das misturas quanto ao escorrimento do material betuminoso e desta forma verificar, para as misturas em estudo, a viabilidade técnica de se utilizar o asfalto modificado por borracha em substituição às fibras de celulose e o asfalto modificado por polímero.

### 3 JUSTIFICATIVA

Desde as primeiras malhas rodoviárias implantadas pelo mundo todo, várias pesquisas e projetos foram iniciados e analisados para uma melhoria no sistema rodoviário. Desde a era Romana, o estudo e programas de desenvolvimento de estradas eram muito discutidos, por se tratar de um fácil meio de locomoção e para alcançar o interligamento de cidades ao redor, claramente por se tratar de questões políticas. No entanto, as primeiras malhas viárias eram muito pobres, ou seja, para sua construção se usava de métodos muito primordiais e eram construídas muito vagarosamente, porém sabia-se que era de grande importância construí-las e expandir ligamentos por todo o império, ou até mesmo ligar cidades a outras pensando em adquirir novas terras.

Tratando-se de uma era contemporânea, as rodovias evoluíram conforme se foram criando novas tecnologias e novos métodos de construir estradas. No entanto, o problema agora encontrado era de se criar rodovias que suportem os novos tipos de veículos e que sejam de uma forma geral mais econômica financeiramente. Até hoje as rodovias tem uma grande importância, por se tratar do principal meio de transporte para a população de um modo geral.

Sabendo-se da precariedade encontrada no sistema viário do Brasil, o estudo de comparação entre o comportamento de pavimentos com ligantes diferentes, no caso de se incluir a borracha de pneus não mais utilizáveis ao pavimento asfáltico vem para acrescer os estudos e projetos e dar uma visão ampla e transformadora nos programas de construções de rodovias criados pelo governo. Da mesma forma que se melhora o comportamento do pavimento, também adere uma ideia ambiental junto ao estudo. Sabe-se também que o meio de transporte mais utilizado no Brasil é o rodoviário, é pelas rodovias brasileiras que se transporta a grande parte da matéria prima e grãos produzidos por todos os estados, até chegarem aos portos localizados no litoral, onde estes produtos serão exportados, assim sendo, o estudo de se revelar novas possibilidades de pavimentos asfálticos e possibilitar uma melhoria na malha viária brasileira juntamente com a ideia de se reutilizar pneus pode possibilitar e muito o crescimento e desenvolvimento de todo um país que depende tanto das rodovias.

Devido a essa grande importância das malhas viárias implantadas no Brasil, o estudo e as pesquisas para melhorias no sistema avançam cada vez mais e junto leva-se o interesse ambiental. A maioria dos pavimentos brasileiros é do tipo flexível, ou seja, seu revestimento é composto por agregados e ligantes asfálticos.

Dentre os principais problemas detectados neste tipo de pavimento destaca-se a deformação permanente. Para minimizar este problema empregam-se misturas do tipo SMA que normalmente utilizam fibras de celulose na sua composição, sendo este material de custo elevado no Brasil, devido à importação.

Portanto a ideia e a pesquisa de incluir o ligante asfalto-borracha na mistura tipo SMA em substituição ao asfalto modificado por polímero e as fibras de celulose vêm para tentar viabilizar mais a técnica e a utilização deste tipo de mistura no país.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO

Segundo a ABEDA (2013), uma das mais antigas estradas pavimentadas implantadas não se destinou a veículos com rodas, mas a trenós para o transporte de cargas. Para a construção das pirâmides no Egito (2600-2400 a.C.), foram construídas vias com lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte.

Um das mais importantes estradas da antiguidade é a estrada da Seda, uma das rotas de comércio mais antigas e historicamente importantes devido a sua grande influência nas culturas da China, Índia, Ásia e também do Ocidente. Sua localização é na região que separa a China da Europa e da Ásia, nas proximidades de um dos mais hostis ambientes do planeta, o deserto de Taklimakan, cercado ao norte pelo deserto de Gobi e nos outros três extremos pelas maiores cadeias de montanha do mundo, Himalaia, Karakorum e Kunlun.

A partir do século II depois de Cristo, placas de pedras maiores começaram a ser mais usadas no império romano, onde que se teve um maior número de estradas construídas depois de uma longa era. No caso da Roma, a ideia central de se construir vias terrestres, era de poder ligar pontos estratégicos do seu império para possibilitar a entrada do exército em novas terras. Dessa forma a Roma entra também na história da pavimentação, pois lá que se começaram os estudos de melhorias e construções em pontos estratégicos e ainda hoje algumas dessas virtudes romanas se leva em consideração de um planejamento rodoviário.

Com o intuito de expandir o império romano, buscou-se um conhecimento viário mais apurado. Das vias romanas, a Via Ápia, foi a primeira pavimentada a ser nomeada em homenagem a seu construtor, Appius Claudius, que criou em 312 a.C., durante a segunda Guerra Samnita. O objetivo era ligar Roma a Cápua (195 km), permitindo ao exército romano chegar rapidamente, durante o período não invernos, às áreas de Campania e Samnium, retornando a Roma no inverno. Após o sucesso da Via Ápia, foi realizada uma série de outros projetos viários. A Fotografia 01 traz uma foto nos dias atuais da Via Ostiense que ligava Óstia a Roma.



**Fotografia 01 – Via Otilense, ligando Óstia a Roma**

**Fonte: Programa Asfalto na Universidade / Formação Básica para Engenheiros, 2008, p.14**

Uma das primeiras estradas no Brasil teve início em 1560, à época do terceiro governador-geral do Brasil, Mem de Sá. Trata-se do caminho aberto para ligar São Vicente ao Planalto Piratininga. Porém as grandes rodovias só vieram com força nos meados da década de 30. Destaca-se em 1937 a criação, pelo presidente Getúlio Vargas, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), subordinado ao Ministério de Viação e Obras Públicas. Na década de 1940 observou-se um avanço de pavimentação fruto da tecnologia desenvolvida durante a 2ª Guerra Mundial.

Durante o governo militar (1964-1984), entre os projetos de estradas de destaque estão a Rodovia Transamazônica e a Ponte Rio-Niterói. Neste período houve um grande investimento nas rodovias e um grande desenvolvimento no sistema viário do país, no entanto a grande maioria das rodovias ainda segue sem infraestrutura, pois continuam pela maior parte sem serem pavimentadas. Segundo o ministério dos transportes, Em 1985, o Brasil contava com aproximadamente 110.000 km de rodovias, em 1993 saltou pra 133.000 km de rodovias pavimentadas.

A Tabela 1 ilustra esse crescimento, apenas não inclui a rede viária municipal, que é responsável pela maior parte de rodovias não pavimentadas do país.

**TABELA 1 – Evolução da Rede Rodoviária**

Ano	FEDERAL			ESTADUAL		
	Pavimentada	Não-pavimentada	Total	Pavimentada	Não-pavimentada	Total
1970	24.146	27.394	51.540	24.431	105.040	129.471
1975	40.190	28.774	68.964	20.641	86.320	106.961
1980	39.685	19.480	59.165	41.612	105.756	147.368
1985	46.455	14.410	60.865	63.084	100.903	163.987
1990	50.310	13.417	63.727	78.284	110.769	189.053
1993	51.612	13.783	65.395	81.765	110.773	192.538
2003	57.143	14.049	71.192	84.352	111.410	195.762
2005	58.149	14.651	72.800	98.377	109.963	208.340
2007	61.304	13.636	74.940	106.548	113.451	219.999

**Fonte: Ministério dos Transportes (2008, p. 20)**

Para ilustrar melhor o atraso do país em relação aos investimentos na área de infraestrutura, principalmente na pavimentação, em 1998 o consumo de asfalto por ano nos Estados Unidos era de 27 milhões de toneladas, tendo ultrapassado 33 milhões em 2005. No Brasil, somente nos últimos 2 anos é que este consumo retomou a marca de 1998 de cerca de 2 milhões de toneladas por ano, revela o programa asfalto na universidade, criado pela iniciativa da ABEDA (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto).

#### 4.2 PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA NO BRASIL

Segundo dados do Geipot (2010), aproximadamente 60% do transporte de cargas realizado no Brasil é rodoviário. O modal ferroviário responde por 21%, o aquaviário por 14%, o dutoviário por 5% e o aéreo por menos de 1%. O modal de transporte rodoviário encontra-se em parte em estado deficiente, sendo os investimentos nas rodovias prioritários neste momento, não apenas por ser o modal

mais utilizado, mas por exigir menor investimento quando comparado aos demais modais. Destaca-se ainda que pelo modal rodoviário circule 96% dos passageiros.

Conforme o SNV (2011) existem no país 1.713.885 Km de rodovias, dos quais apenas 202.589 km pavimentados, isto é, 11,8% da malha. Entre as rodovias pavimentadas, 64.912 km são federais. Destes, apenas 8% são de pista dupla (5.203 km), e 2,1% (1.376 km) são vias em fase de duplicação. Através da pesquisa do SNV, rodovias deficientes aumentam o custo de manutenção dos veículos, além do consumo de combustível, lubrificantes, pneus e freios. De acordo com a pesquisa se o pavimento de todas as rodovias tivesse classificação boa ou ótima, em 2013, seria possível uma economia de até 5% no consumo de combustível, o que representa 661 milhões de litros de óleo diesel (R\$ 1,39 bilhão) e uma redução da emissão de 1,77 megatonelada de gás carbônico, principal gás do efeito estufa.

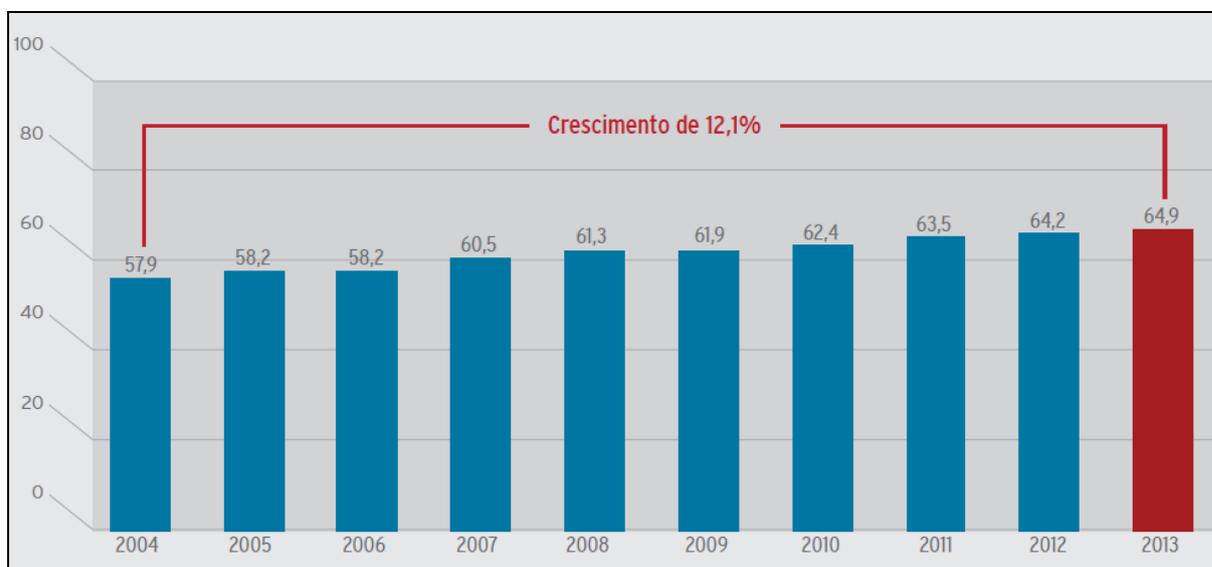
Através destes dados se chega à conclusão de que apesar do Brasil investir milhões de reais em estradas e criar vários programas para o desenvolvimento viário, não há o resultado esperado em função do volume de recursos aplicados na área. Assim sendo a CNT (2011), dispôs uma tabela que indica a percentagem das rodovias em gestão públicas e concedidas no Brasil, na seqüência de ótimo até ao estado de péssima qualificação, conforme mostra a tabela a seguir.

**Tabela 2 – Classificação da Geometria da Via – Gestões Concedidas e Públicas**

Geometria da Via	Gestão Concedida		Gestão Pública	
	km	%	km	%
Ótimo	3.097	19,5	1.247	1,5
Bom	4.021	25,3	13.044	16,1
Regular	6.290	39,6	20.682	25,6
Ruim	1.106	7,0	14.193	17,6
Péssimo	1.359	8,6	31.675	39,2
<b>TOTAL</b>	<b>15.873</b>	<b>100,0</b>	<b>80.841</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Confederação Nacional do Transporte / pesquisa CNT de Rodovias (2013, p. 83)

De acordo com a pesquisa realizada pela Confederação Nacional dos Transportes (CNT), entre os anos de 2004 e 2013, a extensão da malha rodoviária federal pavimentada cresceu apenas 12,1%, passando de, aproximadamente, 59 mil km para pouco mais 64,9 mil km. O gráfico 1, mostra a evolução da extensão das rodovias federais pavimentadas entre os anos de 2004 a 2013.

**GRÁFICO 1 – Evolução das Rodovias Federais Pavimentadas (2004-2013) Valores em mil km.**

Fonte: Confederação Nacional do Transporte / pesquisa CNT de Rodovias 2013 (2013, p.11)

Pode se notar através destes dados que situação no Brasil em relação ao transporte rodoviário não se caminha de forma coerente, ou seja, de alguma maneira o investimento feito não esta sendo bem aplicado, pois a maioria das rodovias ainda se encontra em situação precária por todo território nacional e a evolução das rodovias pavimentadas cresce muito pouco em relação ao ritmo do crescimento econômico do país.

#### 4.2.1 Pavimentação com CBUQ

Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), é um dos tipos de revestimentos asfálticos mais utilizados nas vias urbanas e rodovias brasileiras. Os pavimentos são estruturas compostas por múltiplas camadas, sendo que o revestimento é a camada responsável por receber e transmitir a carga dos veículos, além de servir de proteção contra o intemperismo.

O CAUQ é normalmente composto por um agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e um ligante (CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo), obtido da destilação fracionada do petróleo. A mistura dos agregados com o ligante é realizada à quente em uma usina de asfalto e transportada até o local de sua aplicação por caminhões especialmente equipados onde é lançado por equipamento

adequado chamado de vibroacabadora. Após seu lançamento a mistura é compactada por rolos compactadores até atingir a densidade especificada em projeto.

#### 4.3 PAVIMENTOS COM MISTURA SMA

Segundo CAHPI (2010), a mistura asfáltica tipo SMA (Stone Matrix Asphalt ou Stone Mastic Asphalt), foi originária na Alemanha no final da década de 1960 sob a denominação “splittmastixasphalt”, que teve como objetivo principal reduzir o desgaste superficial e, as deformações permanentes. Trata-se conforme significado do nome Stone Mastic Asphalt, SMA, em inglês, (Agregado, Argamassa e Asfalto), de uma mistura asfáltica com elevado teor de agregados graúdos compondo a estrutura ou o esqueleto mineral e descontinuamente uma argamassa composta de uma elevada porcentagem de finos (filler, pó de pedra, fibra de celulose e ligantes asfálticos modificados por polímero). O comportamento em serviço destas misturas se dá através de uma estrutura composta por agregados duros, unidos através de elevada coesão de uma argamassa asfáltica, que preenche os vazios dos agregados. As misturas dos tipos CAUQ possuem uma faixa granulométrica contínua enquanto o SMA é uma mistura descontínua, conforme ilustram a Figura 1 e o Gráfico 2 a seguir.

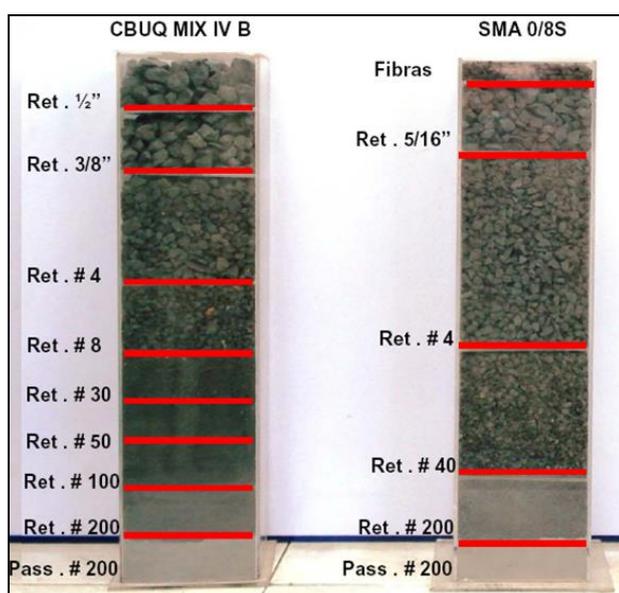
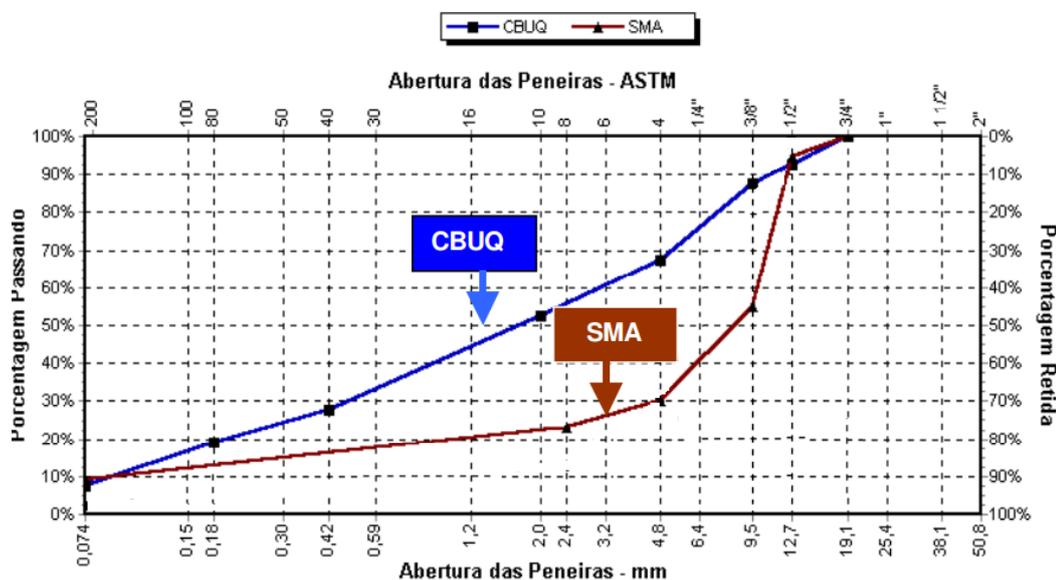


Figura 1 – Exemplo da Granulometria de Agregados utilizados em uma Mistura de CAUQ Convencional (Faixa MIX IV B) e uma Mistura SMA (Faixa Alemã 0/8S)

Fonte: BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA, Laura G.; CERATTI, Jorge A.; Pavimentação Asfáltica.

GRÁFICO 2– Exemplo de Faixas Granulométricas de CBUQ e SMA



Fonte: BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA, Laura G.; CERATTI, Jorge A.; Pavimentação Asfáltica.

De acordo com o DER-PR (2012), a mistura SMA traz um aumento de resistência à deformação assegurada devido ao seu esqueleto pétreo e elevado atrito interno. Resistente a deformação plástica em razão da combinação de esqueleto pétreo de agregado graúdo, que promove aumento no atrito interno e ao deslocamento transmitido por ligante modificado com polímero e fibra de celulose. Trás também uma excelente resistência à derrapagem e redução do ruído devido ao elevado teor de agregados graúdos, formando uma macro-textura rugosa que provoca aderência aos pneus. Menor spray de água, permitindo maior visibilidade durante a chuva.

Segundo Neves Filho, Bernucci e Júnior (2008), as misturas SMA possuem uma película de ligante asfáltico mais espessa, com teor entre 1% e 1,5% superior ao de concretos asfálticos convencionais, com o objetivo de evitar o desgaste dos agregados causado pelo contato grão a grão. O teor de ligante mais elevado faz com que seja necessário o uso de aditivos, geralmente polímeros e/ou fibras, buscando-se um aumento na consistência do ligante asfáltico.

No Brasil, os projetos de misturas asfálticas são feitos quase que exclusivamente em acordo com a metodologia Marshall, este método foi desenvolvido na década de 30 por Bruce G. Marshall, do Departamento de Transporte do Estado do Mississippi nos Estados Unidos (ROZEK; HIRSCH;

SPECHT, 2006). Este método de dosagem de misturas asfálticas que consiste na moldagem por compactação a quente de uma série de corpos-de-prova com diferentes percentagens de ligantes para avaliar sua resistência à compactação. O outro teste muito significativo em ser realizado em se tratando de mistura SMA é o de escorrimento. O teste de escorrimento do ligante é geralmente feito através do método de Schellenberg, que também pode ser designado como método do copo, que consiste em se avaliar a percentagem do ligante escorrido da mistura (MIRANDA et al., 2010).

A Tabela 3 mostra alguns parâmetros de projeto a serem obrigatoriamente seguidos quando se trata de misturas asfálticas tipo SMA.

**Tabela 3 – Parâmetros para Projeto SMA**

Características	Método de Ensaio	Parâmetros
% de Vazios Totais (50 golpes)	-	4
Vazios do Agregado Mineral - VAM (%)	-	Maior ou igual a 17
Porcentagem de Fibras de Celulose	-	0,3 a 1,5
Escorrimento na Temperatura de Usinagem, máximo, %	ASTM D 6390 ou AASHTO T 305 ou "Ensaio de Schellenberg"	0,3
Resistência à Tração por Compressão Diametral Estática a 250C, mínima, MPa	NBR 15087	0,6

**Fonte: DER-SP / especificações técnicas (2007, p.7)**

Com a ideia de se construir pavimentos mais resistentes e mais confortáveis opta-se pelo SMA, porém a utilização de aditivos estabilizadores da mistura como fibras de celulose elevam o custo da mistura, considerando que a maioria das fibras incorporadas à mistura são importadas o que torna o custo do SMA elevado em relação ao CAUQ convencional.

Pensando em diminuir custos surge a ideia de se substituir o asfalto modificado por polímero (que possui preço superior ao asfalto borracha) e as fibras

de celulose, pelo asfalto borracha uma vez que este apresenta viscosidade superior ao asfalto modificado por polímero.

#### 4.3.1 Misturas SMA com Asfalto-borracha

A Associação de Pesquisa e Ensino em Transportes ANPET (2009) retratou de um assunto um tanto quanto ambiental, em que ao mesmo tempo em que ocorre o crescimento da frota de veículos, cresce também o número de pneus descartados. Este tipo de resíduo é bastante problemático do ponto de vista ambiental, o que significa a busca de soluções para a sua disposição final. Os objetivos da adição de borracha de pneus em ligantes asfálticos são minimizar o problema da disposição de pneus usados e melhorar o desempenho dos pavimentos mediante aumento da rigidez a elevadas temperaturas (reduzindo a deformação permanente nas trilhas de roda) e aumento da flexibilidade (retardando o aparecimento de trincas), tanto quanto ao asfalto modificado por polímero.

A questão é saber quais as melhorias que o ligante asfalto-borracha pode proporcionar na mistura SMA em relação ao comportamento de escoamento do ligante da mistura, pois testes de resistência à compressão indicam que é mais benéfico quando se adiciona este ligante. Segundo Neves Filho (2011), a inibição do escoamento do ligante vem sendo muito bem controlado com fibras de celulose, porém estudos revelam que a adição do asfalto-borracha na mistura também traz ótimos resultados.

A revista *minerva* publicou um artigo na área de engenharia, que observou o primeiro trecho experimental urbano de SMA com asfalto-borracha sem fibras estabilizadoras em dezembro de 2004 na cidade de Salvador, Bahia. O estudo revelou que o revestimento com asfalto-borracha conferiu ganhos de atrito e drenabilidade superficial, garantindo, além disso, boa visibilidade e redução da aquaplanagem em dias de chuva, tornando o pavimento mais seguro e confortável. Constatou-se também, que há uma melhora indiscutível no processo de manter uma grande plasticidade em relação ao ligante, ou seja, de não deixar que o ligante esorra de junto dos agregados.

As informações variam um pouco de uma fonte para outra, mas todas confirmam que, mesmo mais caro que a mistura asfáltica convencional, a mistura

SMA com ligante asfalto-borracha é mais resistente e compensa o custo superior. Em uma entrevista cedida a revista meio ambiente, o diretor-superintendente da Ecovias, João Lúcio Donnard, diz que a mistura asfáltica tipo SMA com ligante modificado com borracha de pneus é 30% mais caro e 40% mais resistente do que o convencional. Tanto que a Ecovias pretende chegar a 2015 com todo o sistema formado pelas rodovias Anchieta e Imigrantes pavimentado com o novo produto.

O gerente de negócio da Greca Asfaltos, Paulo da Fonseca, revela que alguns estudos mostram que o pavimento elaborado com asfalto modificado por borracha pode durar até 5,5 vezes mais do que o pavimento executado com ligante asfáltico comum. Já o superintendente da usina de asfalto da prefeitura de São Paulo, Valter Antônio da Rocha, calcula que a vida útil do asfalto-borracha é o dobro da do comum.

A mistura de borracha no asfalto acabou movimentando toda a cadeia de reciclagem de pneus. A Greca Asfaltos, por exemplo, que fornece o asfalto-borracha para a Ecovias, está com planos ambiciosos de expansão. Está duplicando a capacidade de suas três usinas de asfalto (no Rio Grande do Sul, Paraná e São Paulo) e construindo outra em Minas Gerais. Segundo Fonseca, o asfalto-borracha já representa 20% das vendas da empresa, que tem investido R\$ 5 milhões.

O asfalto-borracha mostra-se como um promissor destino para os pneus velhos, parte importante dos resíduos sólidos que poluem o ambiente. Estima-se que cada quilômetro pavimentado com asfalto-borracha consuma, em média, 500 pneus. Segundo Fonseca, da Greca, esse número pode chegar a mil.

#### 4.3.2 Metodologia Marshall

O processo de dosagem das misturas asfálticas na metodologia Marshall é realizado basicamente em quatro etapas.

Em primeiro momento (1<sup>o</sup> Etapa), se dá a escolha e caracterização dos materiais empregados (agregados, material de enchimento e ligantes asfálticos); em segundo procedimento (2<sup>o</sup> Etapa) ocorre a determinação das percentagens com que os diferentes tipos de agregados devem contribuir na mistura de modo a atender as especificações com relação a granulometria ; a etapa 3 (3<sup>o</sup> Etapa) ocorre a determinação do teor ótimo de ligante, ou de uma faixa ótima, que pode ser feita por

tentativas ou com o uso de fórmulas que fornecem o teor ótimo de ligante de uma maneira aproximada, baseada na granulometria da mistura de agregados; por fim a última etapa (4º Etapa) ocorre a comparação dos parâmetros físicos (granulometria, estabilidade, fluência, relação betume - vazios, etc) da mistura com os valores constantes nas especificações.

A estabilidade Marshall fornece uma indicação da capacidade da mistura de resistir à deformação sob o efeito da aplicação de carga. A resistência oferecida pelo corpo-de-prova à ruptura durante o ensaio representa a resistência ao cisalhamento da mistura, onde o atrito é desenvolvido no arcação sólido formado pelos agregados e a coesão é fornecida pelo ligante asfáltico. Já a fluência é definida como sendo o deslocamento diametral total sofrido por um corpo-de-prova cilíndrico da mistura da mistura asfáltica durante o ensaio Marshall (Dantas Netto, 2001).

Por muito tempo estes dois parâmetros eram os mais importantes no processo de dosagem, ou seja, na determinação do teor de ligante para uma mistura asfáltica. Porém esses parâmetros apresentam algumas limitações, sendo uma das principais críticas, o fato de que tanto a estabilidade, como a fluência serem parâmetros empíricos que não representam o comportamento mecânico das misturas.

Devido a isto, os parâmetros volumétricos das misturas asfálticas no estado compactado vêm se tornando parâmetros de fundamental importância no processo de dosagem. Estes permitem dentre outras coisas, avaliar a eficiência do processo de compactação e quantificar a quantidade de vazios existentes.

#### 4.3.3 Características dos Asfaltos Modificados

Quando se deseja obter uma mistura asfáltica, alguns parâmetros devem ser seguidos. Após a seleção dos agregados que devem atender características de durabilidade, índice de forma, desgaste, adesividade, entre outras, é obtida uma mistura de agregados em uma faixa granulométrica específica para cada tipo de mistura a ser formulada. Para que a elaboração da mistura asfáltica seja bem sucedida, a fim de atender os interesses do projeto a que se destinará, é de suma importância a seleção do ligante asfáltico.

No caso dos asfaltos modificados algumas vantagens técnicas podem ser atribuídas como, por exemplo, menor suscetibilidade à temperatura, melhor

característica adesiva, maior resistência ao envelhecimento, elevação do ponto de amolecimento e aumento da elasticidade.

Os asfaltos modificados por polímero apresentam uma viscosidade superior aos asfaltos convencionais quando da atuação em elevadas temperaturas. Os polímeros contribuem para redução das deformações visco-plásticas das misturas asfálticas, pois elevam o ponto de amolecimento e reduzem a penetração do ligante betuminoso.

Conforme citado anteriormente, em misturas asfálticas tipo SMA, geralmente são utilizados os asfaltos modificados por polímero juntamente com aditivos estabilizadores da mistura.

No SMA, o aditivo estabilizador (normalmente fibras de celulose), tem a função de evitar a segregação da mistura e o escorrimento do ligante asfáltico, que pode ocorrer devido à própria descontinuidade da estrutura granulométrica deste tipo de mistura. A Figura 02 ilustra duas misturas SMA, i e ii, respectivamente sem e com adição de fibras. Observa-se claramente o escorrimento do ligante asfáltico na mistura i, formulada sem as fibras.



**Figura 2 – Exemplo de SMA formulado sem e com adição de aditivos estabilizadores**  
Fonte: <http://www.sinicesp.org.br/materias/2013/bt03a.htm>

No caso dos ligantes asfálticos modificados por borracha, a borracha de pneus moída é adicionada ao ligante, modificando permanentemente suas características, pois ocorre a transferência dos polímeros e da química dos pneus que se traduzem em maior elasticidade e resistência ao envelhecimento do ligante. A adição da borracha ao ligante é realizada a partir de um reator especial (Terminal Blend) e também através de processos físico-químicos adequados, de forma a se obter um ligante estável.

Cada ligante asfáltico possui determinadas características próprias que se enquadram dentro de uma especificação técnica que irá distinguí-los. As Tabelas 4 e

5 apresentam, respectivamente as especificações técnicas dos asfaltos modificados por polímero e dos asfaltos modificados por borracha.

**Tabela 4 – Características do SMA 60/85**

<b>GRAU (Ponto de Amolecimento, mín./Recuperação Elástica, mín.)</b>		<b>55/75-E</b>	<b>60/85-E</b>	<b>65/90-E</b>
Ensaio na amostra virgem:	Métodos	Limite de Especificação		
Penetração 25°C, 5 s, 100 g, dmm	NBR 6576	45-70	40-70	40-70
Ponto de Amolecimento mín., °C	NBR 6560	55	60	65
Viscosidade Brookfield a 135°C, spindle 21, 20 RPM, máx., cP	NBR 15184	3000	3000	3000
Viscosidade Brookfield a 155°C, spindle 21, 50 RPM, máx., cP	NBR 15184	2000	2000	2000
Viscosidade Brookfield a 175°C, spindle 21, 100 RPM, máx., cP	NBR 15184	1000	1000	1000
Ensaio de separação de fase, máx., °C	NBR 15166	5	5	5
Recuperação elástica a 25°C, 20 cm, mín., %	NBR-15086	75	85	90
<b>Ensaio no resíduo do RTFOT</b>				
Varição de massa, máx., %	ASTM D 2872	1	1	1
Varição do PA, °C, máx.	NBR 6560	-5 a +7	-5 a +7	-5 a +7
Porcentagem de Penetração original, mín.	NBR 6576	60	60	60
Porcentagem de Recuperação Elástica Original a 25°C, mín	NBR 15086	80	80	80

Fonte: ABEDA (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto) Cimentos Asfálticos de Petróleo Modificados por Polímero Elastomérico Resolução nº32 de 21 de setembro de 2010 da ANP Regulamento Técnico ANP nº 04/2010.

**Tabela 5 – Características dos Asfaltos Modificados por Borracha**

<b>Características</b>	<b>Métodos</b>	<b>AB8</b>	<b>AB22</b>
Penetração 25°C, 5 s, 100 g, dmm	NBR 6576	30 - 70	30 - 70
Ponto de Amolecimento mín., °C	NBR 6560	50	55
Viscosidade Brookfield a 175°C, spindle 3, 100 RPM, máx., cP	NBR 15529	800 - 2000	2200 - 4000
Ponto de Fulgor mín. °C	NBR 11341	235	235
Recuperação Elástica no Ductilômetro 25°C, 10 cm, mín., %	NBR 15086	50	55
Recuperação Elástica no Torciômetro 25°C, 30 cm, mín., %	NLT 329*	50	55
<b>Ensaio no resíduo do RTFOT</b>			
Varição de massa, máx., %	NBR 15235	1,0	1,0
Varição do PA, °C, máx.	NBR 6560	10	10
Porcentagem de Penetração original, mín.	NBR 6576	55	55
Porcentagem de Recuperação Elástica Original a 25°C, mín	NBR 15086	100	100

Fonte: ABEDA (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto) Cimentos Asfálticos de Petróleo Modificados por Borracha Moída de Pneu Industrializado, Tipo Terminal Blend Resolução nº39 de 24 de dezembro de 2008 da ANP – Regulamento Técnico ANP nº05/2008.

## 5 METODOLOGIA

Para elaboração deste trabalho, inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica baseada em um histórico global sobre as rodovias pavimentadas e o seu desenvolvimento com o passar dos anos. Foram abordadas as vantagens e desvantagens da utilização de misturas asfálticas tipo SMA convencional. Observou-se que, uma desvantagem se deve ao teor ótimo de ligante asfáltico, normalmente mais elevado neste tipo de mistura, além da utilização dos aditivos estabilizadores (fibras de celulose, geralmente importadas) o que tem impacto direto no custo do SMA.

Diante deste panorama, optou-se na realização de um estudo comparativo relacionado ao teor ótimo e ao escorrimento do ligante asfáltico entre duas misturas tipo SMA, sendo uma elaborada de forma convencional, e outra elaborada com a exclusão dos aditivos estabilizadores e adição do asfalto-borracha em substituição ao asfalto modificado por polímero.

### 5.1 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA MISTURA DE AGREGADOS

Conforme já comentado anteriormente, para o projeto foram realizadas duas misturas asfálticas com agregados da região de Campo Mourão, Paraná. Desta forma, adotou-se a faixa granulométrica 0/11S alemã para as duas misturas em função dos agregados disponíveis melhor se enquadrarem na referida faixa. Os agregados foram extraídos da Pedreira Casali, Campo Mourão. A seguir foram realizados os ensaios de granulometria para posteriormente se proceder a elaboração da mistura de agregados. A Tabela 06 mostra granulometria dos agregados. A seguir a Tabela 07 apresenta os limites da faixa granulométrica 011/S, juntamente com a mistura de agregados elaborada para o projeto e sua faixa de trabalho.

Tabela 6 – Granulometria dos Agregados

Peneiras	Materiais			
	Brita 1/2"	Pedrisco 3/8"	Pó de pedra	Cal CH-1
1/2"	99,30	100,00	100,00	100,00
5/16"	10,00	81,40	100,00	100,00
nº4	1,90	18,40	99,90	100,00
nº10	1,90	2,80	71,30	100,00
nº200	1,80	0,80	17,80	95,00

Fonte: Autoria própria

Tabela 7 – Mistura de Agregados

SMA			
Peneiras	Faixa 011/S Alemã	Mistura Elaborada	Faixa de Trabalho
1/2"	90 -100	99,7	94,7 – 100,0
5/16"	45 – 60	56,7	51,7 – 60,0
Nº 4	30 - 40	37,4	32,4 – 40,0
Nº 10	20 – 27	24,9	20,0 – 27,0
Nº 200	7 – 12	8,2	7,0 – 10,2

Fonte: Autoria própria

A seguir, a Tabela 8 indica a percentagem de cada material utilizado na mistura de agregados. Verifica-se a adição de 2,0% de cal CH-I na mistura para que a mesma se enquadrasse na faixa granulométrica 0/11S.

Tabela 8 – Percentagem de Materiais Utilizados na Formulação da Mistura

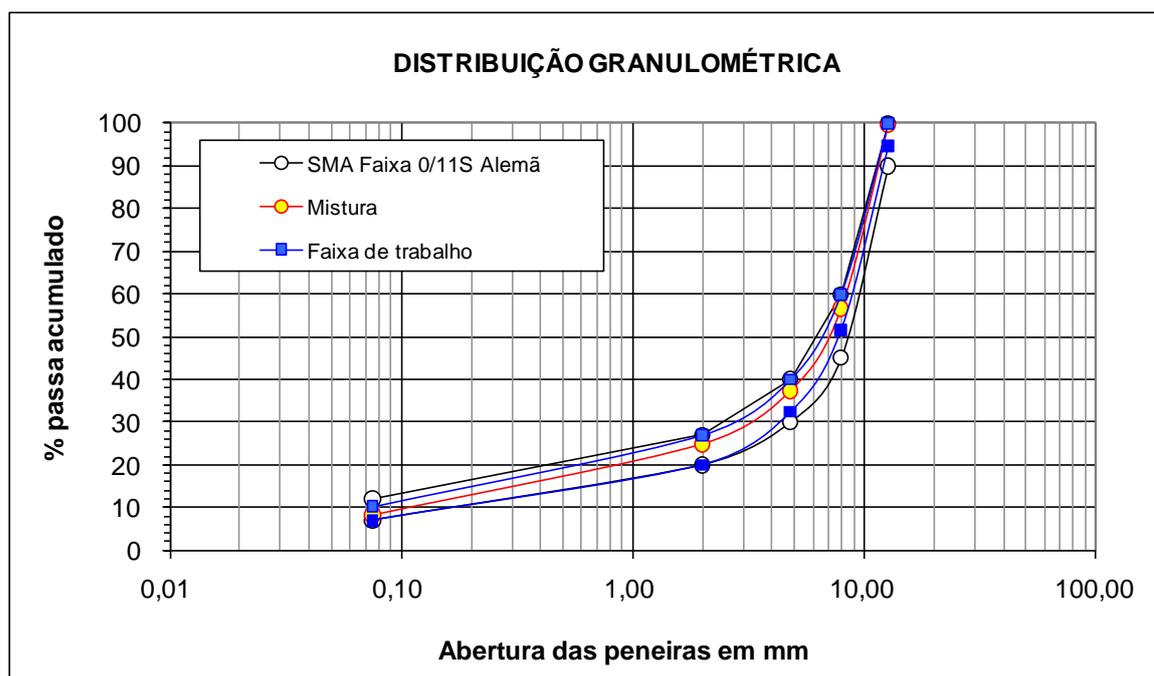
Agregados	Percentagens	Procedência	Natureza
Brita 1/2"	43,0%	Pedreira Casali	Basalto
Pedrisco 3/8"	25,0%	Pedreira Casali	Basalto
Pó de Pedra	30,0%	Pedreira Casali	Basalto
Cal	2,0%	Pedreira Casali	CH-1
Total	100%	----	----

Fonte: Autoria própria

O gráfico a seguir mostra a curva granulométrica da mistura de agregados empregada no SMA a ser executado.

No caso da mistura SMA convencional utilizou-se 0,3% em peso de fibras de celulose da marca Viatop JRS Rettemmaier.

Gráfico 3 – Mistura de Agregados - Faixa Granulométrica Alemã 0/11S



Fonte: Autoria própria

Após a confecção da mistura de agregados, de forma a enquadrá-los na faixa desejada procedeu-se a fase dos ensaios programados. Inicialmente foi executada a Metodologia Marshall e de posse do teor ótimo de ligante para as misturas realizou-se o ensaio do escorrimento do ligante asfáltico pelo Método de Schellenberg. Os ensaios foram realizados no laboratório de solos e materiais betuminosos da Empresa Casali, com auxílio e supervisão dos laboratoristas da empresa.

#### 5.1.1 Densidade dos Agregados

Inicialmente foram realizados os ensaios para a determinação das densidades dos agregados, pois estes interferem diretamente nos resultados das porcentagens dos vazios da mistura, que por sua vez, é o principal indicador do teor ótimo da mistura.

Inicialmente a brita ½” e o pedrisco 3/8”, foram deixados imersos em água, durante um período de 24 horas. Posteriormente esses materiais foram retirados da água, submetidos a uma secagem superficial e levados a balança para serem pesados.

O segundo passo foi a pesagem do material imerso, como indica a Fotografia 2.



**Fotografia 2 – Pesagem da Amostra Imersa em Água**  
**Fonte: Autoria própria**

Com os dois pesos anotados os materiais foram levados à estufa, onde ficaram em repouso por 24 horas. Após este período foram novamente pesados ao ar. Com todos estes dados em mãos foram realizados os cálculos e definidas as densidades.

No caso do pó de pedra o ensaio é realizado através de um picnômetro. Pesou-se uma amostra de aproximadamente 200 gramas de pó de pedra sendo a mesma inserida no picnômetro. Em seguida adicionou-se água destilada até cobrir a amostra. O conjunto picnômetro + água + amostra foi aquecido por 15 minutos de com o objetivo de se retirar as bolhas de ar existentes. Por fim, adicionou-se água destilada no interior picnômetro até a medida de aferição sendo o mesmo levado a balança tendo seu peso anotado.

Numa segunda etapa, completou-se o picnômetro somente com água destilada sendo o mesmo levado à balança onde foi anotado seu peso. Com esses dados foram realizados os cálculos para se chegar à densidade do agregado.

## 5.2 METODOLOGIA MARSHALL

Após a determinação do traço, procedeu-se a mistura de agregados conforme as porcentagens de cada material (Tabela 8). A seguir pesou-se uma

amostra de 1.200 g da mistura sendo os agregados deixados em estufa a 110°C por um período de 24 h, até a constância de massa.



**Fotografia 3 – Misturas dos Agregados na Estufa**

**Fonte: Autoria própria**

O passo seguinte foi aquecer o ligante asfáltico e as amostras de agregados até a temperatura ideal indicada pela especificação do produto que está indicada nos apêndices A e B.

Para este estudo empregou-se o Asfalto Modificado por Polímero 60/85-E e o Asfalto Modificado por Borracha AB8. As amostras procedentes do Grupo Grecca Asfaltos, foram fornecidas pelo laboratório da Viapar – Rodovias Integradas do Paraná S.A. A metodologia de ensaio empregada foi a mesma para as duas misturas estudadas, diferindo apenas as temperaturas de aquecimento do ligante e dos agregados.

No caso do asfalto modificado por polímero, a temperatura de aquecimento do ligante foi de 165°C, e dos agregados de 175°C, chegando ao ponto de compactação em 147°C. No caso do asfalto-borracha a temperatura de aquecimento foi de 170°C, e dos agregados 180°C, chegando ao ponto de compactação dos corpos-de-prova em 165°C. A Fotografia 05 mostra a etapa de mistura dos ligantes e dos agregados em um ponto de mistura.



**Fotografia 4 – Processo de Mistura Manual do Ligante Asfáltico com os Agregados**  
**Fonte: Autoria própria**

A mistura foi realizada sobre uma balança para seguir o teor de ligante asfáltico em cada ponto. Foram preparados 04 corpos-de-prova para cada teor, ou seja, 16 corpos de prova para cada mistura estudada (SMA convencional e SMA com asfalto-borracha). Os teores de ligante utilizados na moldagem dos corpos de prova foram 5,0, 5,5, 6,0 e 6,5%.

Após a mistura, procedeu-se à moldagem dos corpos-de-prova aplicando-se na compactação manual 50 golpes por face de cada unidade, conforme a especificação para misturas SMA.



**Fotografia 5 – Compactação dos Corpos-de-prova**  
**Fonte: Autoria própria**

Após compactação, separou-se 01 corpo-de-prova de cada mistura e de cada teor de ligante para o teste de Resistência à Tração por Compressão Diametral, sendo que o restante utilizado para as determinações dos demais parâmetros segundo a Metodologia Marshall.

Após resfriamento os corpos-de-prova foram desmoldados com auxílio de um macaco hidráulico sendo executadas suas medidas e pesagens para determinação das densidades e demais parâmetros Marshall. Foram executadas duas pesagens para os corpos-de-prova, sendo uma ao ar e outra hidrostática. No caso da Estabilidade e Fluência, os corpos-de-prova ficaram em “banho-maria”, em uma temperatura constante de 60°C por um período de 30 minutos. Para a Tração por Compressão Diametral os corpos-de-prova ficaram em “banho-maria” a 25°C por duas horas. As Fotografias 6, 7 e 8 ilustram respectivamente a desmoldagem dos corpos-de-prova, os corpos-de-prova em “banho maria”, e a determinação da Estabilidade e Fluência dos mesmos.



**Fotografia 6 – Retirada dos Corpos-de-prova dos Moldes**  
Fonte: Autoria própria



**Fotografia 7 – Corpos-de-prova em “banho-maria”**  
Fonte: Autoria própria



**Fotografia 8 – Determinação da Estabilidade e Fluência Marshall**  
Fonte: Autoria própria



**Fotografia 9 – Rompimento dos Corpos-de-prova (Tração por Compressão Diametral)**  
Fonte: Autoria própria

Os dados das pesagens e medidas executadas, bem como os resultados dos ensaios de Estabilidade, Fluência e Resistência a Tração por Compressão Diametral foram cuidadosamente anotados para os devidos cálculos a serem apresentados no item 06 deste trabalho.

### 5.3 TESTE DE SCHELEMBERG

Este teste, também realizado para os dois tipos de mistura (com asfalto-polímero e com asfalto-borracha), serve para avaliar o escorrimento do ligante asfáltico em misturas SMA.

Neste trabalho, primeiramente preparou as duas misturas SMA cada uma no seu respectivo teor ótimo de ligante, ou seja, teor de 6,1% de ligante para a mistura

SMA convencional (asfalto-polímero, agregados, filer e fibras de celulose) e teor de 6,3% para o SMA elaborado com asfalto-borracha. É importante lembrar que as temperaturas de mistura dos ligantes asfálticos com os agregados foram respeitadas.

Os passos descritos a seguir foram realizados para as duas amostras, uma de cada vez.

Inicialmente, foi adicionado 1,0 Kg de mistura asfáltica no interior do béquer. A mistura foi levada à estufa, onde permaneceu por 1 hora em temperatura de 170°C. Após este período, a amostra foi descartada, e o béquer contendo resíduos do ligante foi novamente pesado. As Fotografias 10, 11 e 12 mostram os passos do ensaio.



**Fotografia 10 – Pesagem da Mistura**  
Fonte: Autoria própria



**Fotografia 11 – Béquer contendo a Mistura na Estufa**  
Fonte: Autoria própria



**Fotografia 12 – esvaziamento do béquer**  
**Fonte: Autoria própria**

Com as massas definidas, foi determinada a porcentagem de ligante asfáltico que ficou retido no béquer e assim avaliado se a mistura se enquadrava dentro dos limites especificados por norma.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 RESULTADOS DA METODOLOGIA MARSHALL

A seguir serão apresentados através de quadros e gráficos os resultados da Metodologia Marshall, para mistura SMA efetuada com ligante asfáltico modificado por polímero e para a mistura SMA elaborada com ligante asfáltico modificado por borracha.

#### 6.1.1 MISTURA SMA ELABORADA COM ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO 60/85-E

A Tabela 09 a seguir mostra os resultados encontrados para a mistura efetuada com asfalto modificado por polímero 60/85-E segundo a Metodologia Marshall.

A partir dos resultados obtidos nos ensaios para os quatro corpos-de-prova calculou-se a densidade aparente, o volume de vazios, os vazios cheios de betume, os vazios de agregado mineral e a relação betume-vazios. A estabilidade e a fluência foram determinadas para três corpos-de-prova conforme determina a norma. A resistência à tração foi efetuada apenas para um corpo-de-prova em função da pouca quantidade de ligante disponível para se moldar mais corpos-de-prova.

Para cada teor determinou-se as médias dos parâmetros Marshall e foram traçados os seus respectivos gráficos. O teor ótimo de ligante, neste caso 6,1%, foi obtido em função do volume de vazios igual a 4,0%.

A densidade deste ligante asfáltico, também importante para os cálculos é de 1,009.

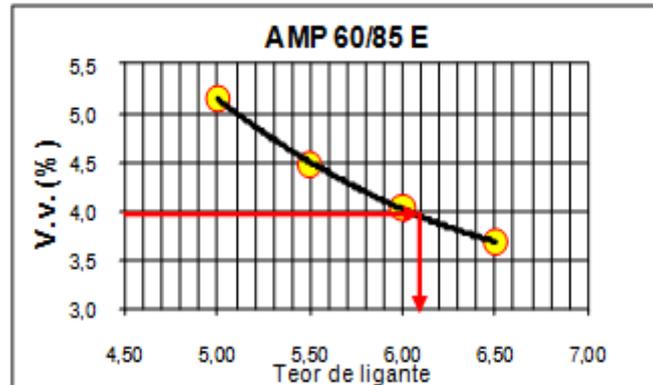
Tabela 09 - Cálculos Realizados para a Determinação dos Parâmetros segundo a Metodologia Marshall - (Mistura SMA efetuada com AMP 60/85-E

Teor de CAP	Peso no ar (g)	Peso	Volume (cm³)	Densidades (g/cm³)		Volume de Vazios (%)	Vazios Cheios de Betume	Vazios Agr. Mineral	RBV (%)	Estabilidade	Fator Corr. Altura	Estabilidade (kgf)	Fluência (mm)	Res. Tração (kgf/cm²)
				Aparente	Teórica									
5,00	1245,9	759,4	486,50	2,561	2,702	5,22	12,80	18,03	71,04	1370,83	1,11	1521,62	3,10	-
5,00	1246,0	760,9	485,10	2,569	2,702	4,94	12,84	17,78	72,22	1196,76	1,08	1292,50	3,40	-
5,00	1251,4	762,9	488,50	2,562	2,702	5,19	12,81	18,00	71,16	1290,87	1,09	1407,05	3,25	-
5,00	1249,2	761,4	487,80	2,561	2,702	5,22	12,80	18,03	71,03	-	-	-	-	10,70
<b>Média</b>				<b>2,563</b>	<b>2,702</b>	<b>5,14</b>	<b>12,82</b>	<b>17,96</b>	<b>71,36</b>		<b>1,09</b>	<b>1407,06</b>	<b>3,25</b>	<b>10,70</b>
5,50	1261,1	770,0	491,10	2,568	2,678	4,11	14,12	18,23	77,46	1196,76	1,08	1292,50	3,60	-
5,50	1250,3	757,8	492,50	2,539	2,678	5,20	13,96	19,17	72,85	1207,64	1,06	1280,09	3,80	-
5,50	1272,6	777,2	495,40	2,569	2,678	4,08	14,13	18,21	77,61	1203,00	1,07	1287,21	3,70	-
5,50	1245,9	758,7	487,20	2,557	2,678	4,51	14,06	18,57	75,73	-	-	-	-	10,30
<b>Média</b>				<b>2,558</b>	<b>2,678</b>	<b>4,47</b>	<b>14,07</b>	<b>18,54</b>	<b>75,91</b>		<b>1,07</b>	<b>1286,60</b>	<b>3,70</b>	<b>10,30</b>
6,00	1245,1	756,4	488,70	2,548	2,655	4,04	15,29	19,33	79,10	990,04	1,11	1098,95	3,85	-
6,00	1262,7	768,1	494,60	2,553	2,655	3,84	15,32	19,16	79,94	935,65	1,05	982,43	3,95	-
6,00	1263,7	765,5	498,20	2,537	2,655	4,46	15,22	19,68	77,33	963,60	1,08	1040,69	3,90	-
6,00	1260,5	766,8	493,70	2,553	2,655	3,84	15,32	19,15	79,98	-	-	-	-	8,50
<b>Média</b>				<b>2,548</b>	<b>2,655</b>	<b>4,04</b>	<b>15,29</b>	<b>19,33</b>	<b>79,09</b>		<b>1,08</b>	<b>1040,69</b>	<b>3,90</b>	<b>8,50</b>
6,50	1275,4	772,8	502,60	2,538	2,632	3,59	16,49	20,08	82,14	1000,92	1,04	1040,96	4,15	-
6,50	1267,8	766,9	500,90	2,531	2,632	3,84	16,45	20,29	81,09	1033,56	1,05	1085,24	3,85	-
6,50	1263,7	765,2	498,50	2,535	2,632	3,69	16,48	20,16	81,72	1012,48	1,05	1063,10	4,00	-
6,50	1272,5	770,9	501,60	2,537	2,632	3,61	16,49	20,10	82,02	-	-	-	-	8,20
<b>Média</b>				<b>2,535</b>	<b>2,632</b>	<b>3,68</b>	<b>16,48</b>	<b>20,16</b>	<b>81,74</b>		<b>1,05</b>	<b>1063,10</b>	<b>4,00</b>	<b>8,20</b>

Fonte: Autoria Própria

O gráfico a seguir ilustra a relação de volume de vazios da mistura pelo teor de asfalto. Conforme mencionado anteriormente, este gráfico indica o teor ótimo de ligante para esta mistura. Pela especificação (Tabela 03) observa-se que a porcentagem de vazios (volume de vazios) deve ser 4% o que implica em um teor ótimo de asfalto de 6,1 %, para este caso.

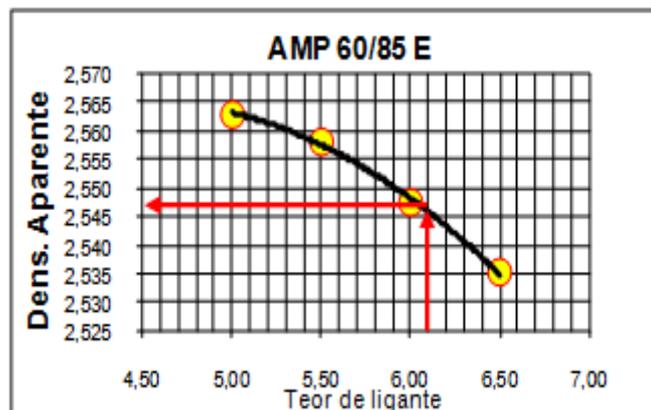
**Gráfico 4 – Teor de ligante x Volume de Vazios – AMP 60/85E**



Fonte: Autoria própria

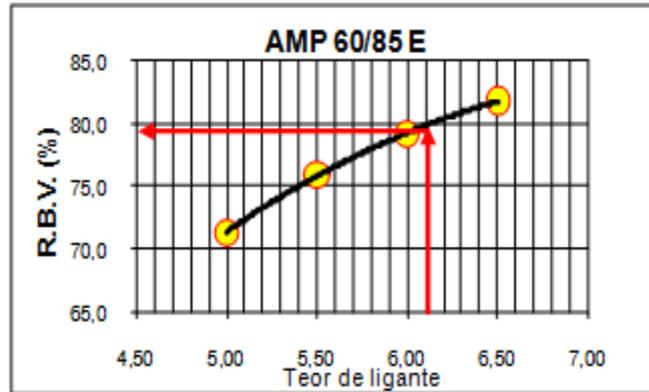
A partir do teor de ligante de 6,1% foram determinados os demais parâmetros (Gráficos 5, 6, 7, 8, 9 e 10).

**Gráfico 5 – Teor de ligante x Densidade Aparente – AMP 60/85E**



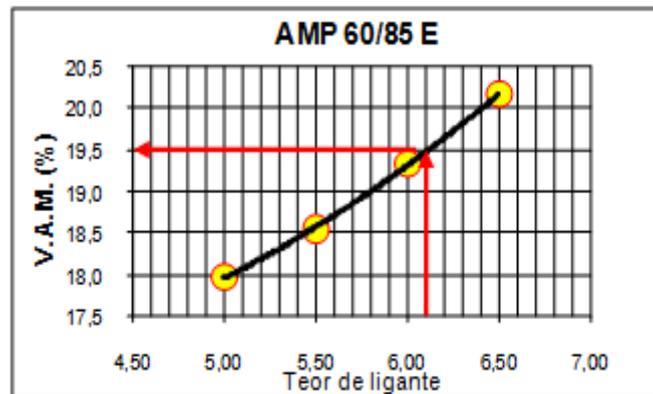
Fonte: Autoria própria

Gráfico 6 – Teor de ligante x R.B.V. – AMP 60/85E



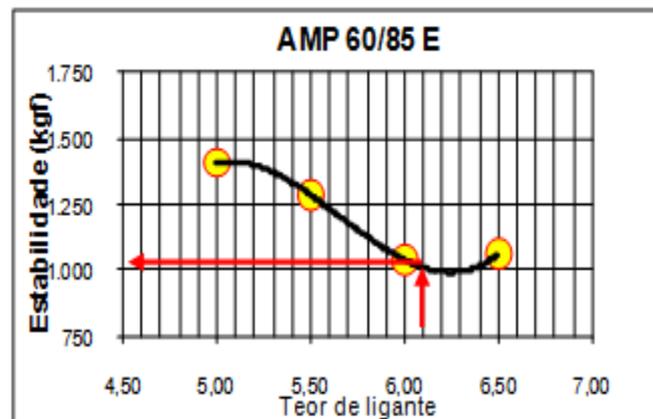
Fonte: Autoria própria

Gráfico 7 – Teor de ligante x V.A.M. – AMP 60/85E



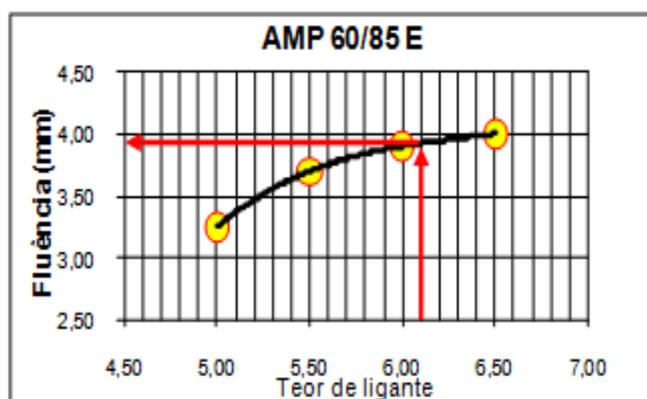
Fonte: Autoria própria

Gráfico 8 – Teor de ligante x Estabilidade – AMP 60/85E



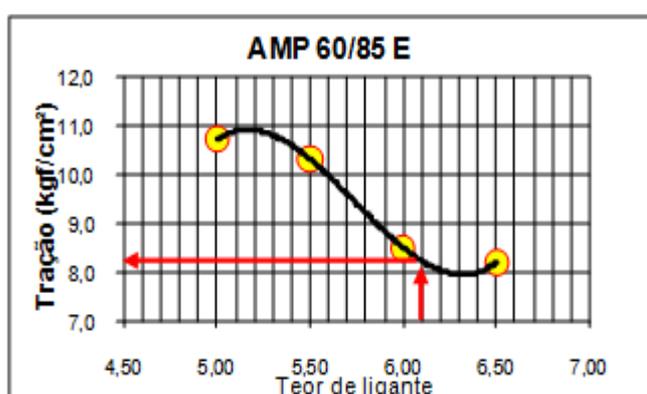
Fonte: Autoria própria

Gráfico 9 – Teor de ligante x Fluência – AMP 60/85E



Fonte: Autoria própria

Gráfico 10 – Teor de ligante x Resistência à Tração – AMP 60/85E



Fonte: Autoria própria

Os demais parâmetros, que foram obtidos a partir dos gráficos de 05 a 10 em função do teor de 6,1% de ligante asfáltico são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 – Parâmetros obtidos para a Mistura SMA efetuada com Asfalto Modificado por Polímero**

Características da Mistura SMA com Asfalto Modificado por Polímero	
Teor ótimo de AMP 60/85 E:	6,1%
V.v. (%)	4,0
R.B.V. (%)	79,5
V.A.M. (%)	19,5
Dens. Aparente	2,547
Tração (kgf/cm²)	8,3
Estabilidade (kgf)	1014,4
Fluência (mm)	3,9

Fonte: Autoria própria

### 6.1.2 MISTURA SMA ELABORADA COM ASFALTO MODIFICADO POR BORRACHA AB8

A Tabela 11 mostra os resultados encontrados para a mistura efetuada com asfalto modificado por borracha AB8 segundo a Metodologia Marshall.

Assim como para a mistura efetuada com asfalto modificado por polímero, neste caso, a partir dos resultados obtidos nos ensaios para os quatro corpos-de-prova calcularam-se as densidades aparentes, o volume de vazios, os vazios cheios de betume, os vazios de agregado mineral e a relação betume-vazios. A estabilidade e a fluência foram determinadas para três corpos-de-prova conforme determina a norma. A resistência à tração foi efetuada apenas para um corpo-de-prova em função da pouca quantidade de ligante disponível para se moldar mais corpos-de-prova.

Para cada teor determinou-se as médias dos parâmetros Marshall e foram traçados os seus respectivos gráficos. O teor ótimo de ligante, neste caso 6,3%, foi obtido em função do volume de vazios igual a 4,0%.

A densidade deste ligante asfáltico, também importante para os cálculos é de 1,040.

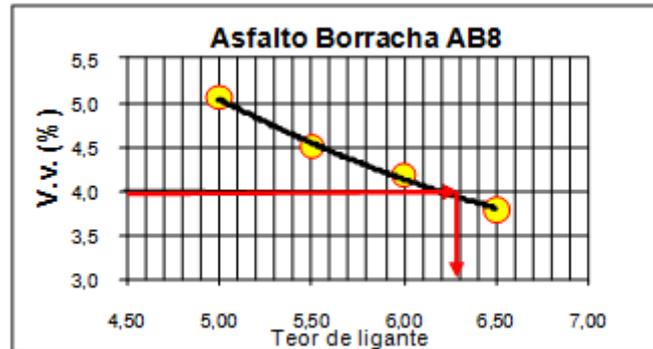
Tabela 11 - Cálculos Realizados para a Determinação dos Parâmetros segundo a Metodologia Marshall - (Mistura SMA efetuada com Asfalto-Borracha AB8)

Teor de CAP	Peso no ar (g)	Peso	Volume (cm³)	Densidades (g/cm³)		Teor de Vazios (%)	Vazios Cheios de Betume	Vazios Agr. Mineral	RBV (%)	Estabilidade Res. Tração	Fator Corr. Altura	Estabilidade (kgf)	Fluência (mm)	Res. Tração (kgf/cm²)
				Aparente	Teórica									
5,00	1232,2	754,2	478,00	2,578	2,713	4,98	12,89	17,87	72,12	1436,11	1,13	1622,80	3,40	-
5,00	1244,2	759,8	484,40	2,569	2,713	5,32	12,84	18,17	70,69	1327,31	1,11	1473,32	3,15	-
5,00	1232,7	754,1	478,60	2,576	2,713	5,06	12,88	17,94	71,78	1382,20	1,12	1548,06	3,28	-
5,00	1256,7	769,9	486,80	2,582	2,713	4,85	12,91	17,75	72,71	-	-	-	-	12,40
<b>Média</b>				<b>2,576</b>	<b>2,713</b>	<b>5,05</b>	<b>12,88</b>	<b>17,93</b>	<b>71,82</b>	<b>1381,87</b>	<b>1,12</b>	<b>1548,06</b>	<b>3,28</b>	<b>12,40</b>
5,50	1254,9	766,9	488,00	2,572	2,690	4,40	14,14	18,55	76,25	1207,64	1,10	1328,40	3,60	-
5,50	1254,3	766,6	487,70	2,572	2,690	4,39	14,15	18,54	76,31	1175,00	1,09	1280,75	3,70	-
5,50	1252,8	764,5	488,30	2,566	2,690	4,62	14,11	18,73	75,32	1175,27	1,11	1304,55	3,65	-
5,50	1252,9	764,8	488,10	2,567	2,690	4,58	14,12	18,69	75,52	-	-	-	-	9,90
<b>Média</b>				<b>2,569</b>	<b>2,690</b>	<b>4,50</b>	<b>14,13</b>	<b>18,63</b>	<b>75,85</b>	<b>1185,97</b>	<b>1,10</b>	<b>1304,57</b>	<b>3,65</b>	<b>9,90</b>
6,00	1253,1	761,5	491,60	2,549	2,668	4,46	15,29	19,75	77,42	1066,24	1,07	1140,88	3,45	-
6,00	1257,7	765,2	492,50	2,554	2,668	4,28	15,32	19,61	78,15	1044,48	1,11	1159,37	3,75	-
6,00	1257,1	764,8	492,30	2,554	2,668	4,29	15,32	19,61	78,12	1055,15	1,09	1150,11	3,59	-
6,00	1248,9	762,9	486,00	2,570	2,668	3,68	15,42	19,10	80,72	-	-	-	-	8,50
<b>Média</b>				<b>2,557</b>	<b>2,668</b>	<b>4,18</b>	<b>15,34</b>	<b>19,52</b>	<b>78,60</b>	<b>1055,29</b>	<b>1,09</b>	<b>1150,12</b>	<b>3,60</b>	<b>8,50</b>
6,50	1258,2	765,0	493,20	2,551	2,646	3,59	16,58	20,17	82,22	968,32	1,10	1065,15	4,40	-
6,50	1265,8	772,5	493,30	2,566	2,646	3,02	16,68	19,70	84,65	946,56	1,09	1031,75	4,15	-
6,50	1234,9	748,2	486,70	2,537	2,646	4,11	16,49	20,60	80,06	961,85	1,09	1048,42	4,31	-
6,50	1239,7	749,4	490,30	2,528	2,646	4,44	16,43	20,88	78,72	-	-	-	-	7,30
<b>Média</b>				<b>2,546</b>	<b>2,646</b>	<b>3,79</b>	<b>16,55</b>	<b>20,34</b>	<b>81,41</b>	<b>1048,44</b>	<b>1,09</b>	<b>1048,44</b>	<b>4,29</b>	<b>7,30</b>

Fonte: Autoria Própria

O gráfico a seguir ilustra a relação de volume de vazios da mistura pelo teor de asfalto. Para a porcentagem de vazios (volume de vazios) igual a 4% tem-se para esta mistura um teor ótimo de asfalto de 6,3 %.

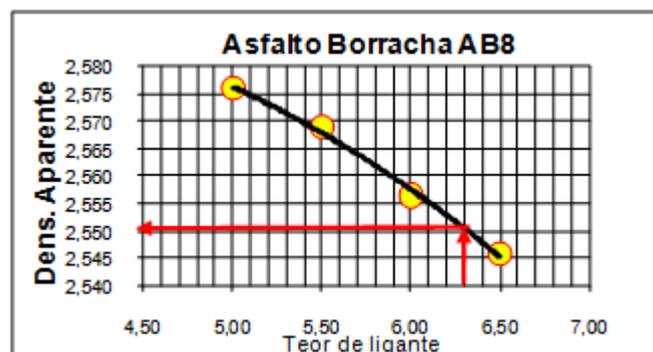
**Gráfico 11 – Teor de ligante x Volume de Vazios – Asfalto Borracha AB8**



Fonte: Autoria própria

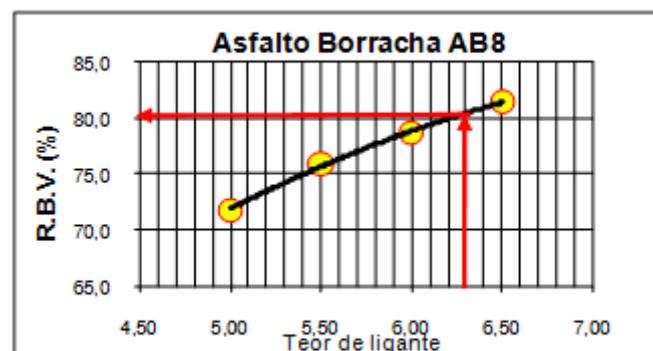
A partir do teor de ligante de 6,3% foram determinados os demais parâmetros (Gráficos 12, 13, 14, 15, 16 e 17).

**Gráfico 12 – Teor de ligante x Densidade Aparente – Asfalto Borracha AB8**



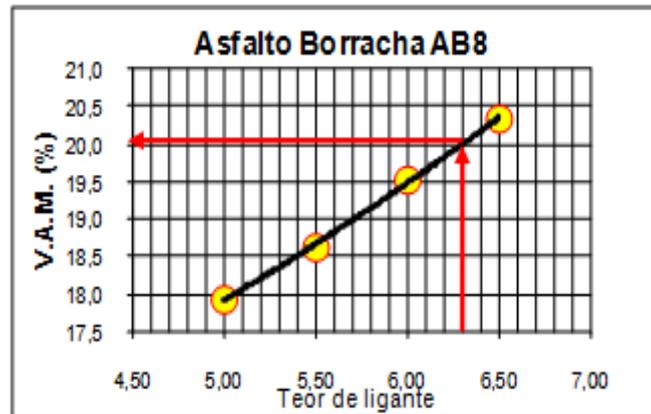
Fonte: Autoria própria

**Gráfico 13 – Teor de ligante x R.B.V. – Asfalto Borracha AB8**



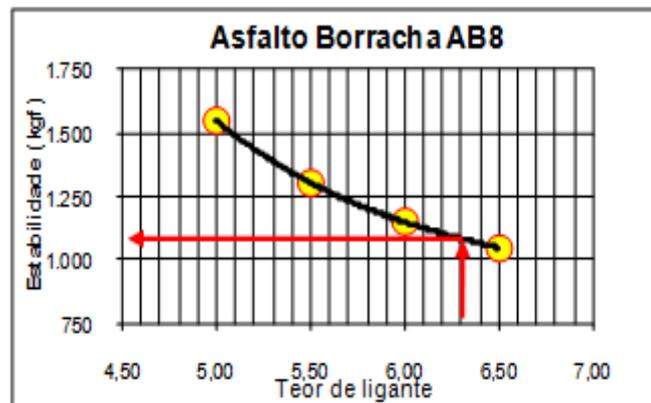
Fonte: Autoria própria

Gráfico 14 – Teor de ligante x V.A.M. – Asfalto Borracha AB8



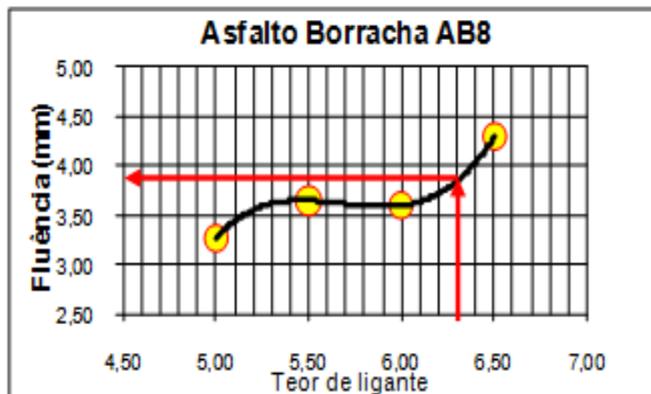
Fonte: Autoria própria

Gráfico 15 – Teor de ligante x Estabilidade – Asfalto Borracha AB8



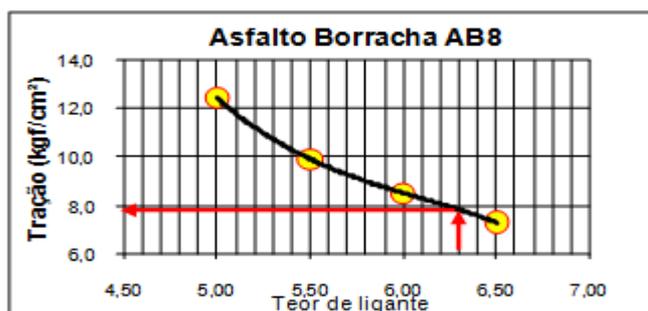
Fonte: Autoria própria

Gráfico 16 – Teor de ligante x Fluência – Asfalto Borracha AB8



Fonte: Autoria própria

Gráfico 17 – Teor de ligante x Resistência à Tração – Asfalto Borracha



Fonte: Autoria própria

Os demais parâmetros, que foram obtidos a partir dos gráficos de 12 a 17 em função do teor de 6,3% de ligante asfáltico são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Parâmetros obtidos para a Mistura SMA efetuada com Asfalto Modificado por Borracha

Características da Mistura SMA com Asfalto Modificado por Borracha	
<b>Teor ótimo de Asfalto Borracha AB8:</b>	<b>6,3%</b>
V.v. (%)	4,0
R.B.V. (%)	80,2
V.A.M. (%)	20,1
Dens. Aparente	2,552
Tração (kgf/cm²)	7,9
Estabilidade (kgf)	1091,3
Fluência (mm)	3,8

Fonte: Autoria própria

## 6.2 RESULTADOS DA METODOLOGIA DE SCHELLEMBERG

Como já comentado anteriormente, a Metodologia de Schellenberg ou Método do Copo designado pela norma europeia EN 12697-18 serve para avaliar o escorrimento do ligante asfáltico em misturas descontínuas.

Para evitar o escorrimento do ligante é comum a utilização de aditivos estabilizantes como as fibras de celulose. Neste trabalho o teste foi realizado para as duas misturas.

A norma do DER-SP ET-DE-P00/031, indica que para o ligante asfáltico apresentar um bom desempenho quanto ao escorrimento, o resultado do teste deve ser inferior a 0,2%, ou seja, no ensaio apenas deve permanecer aderido ao béquer uma quantidade de ligante menor que 0,2% em relação ao peso total da mistura

ensaiada, neste caso 1000 g. Entre 0,2% e 0,3%, o ligante apresenta um índice aceitável e maior que 0,3% o ligante apresenta um mau desempenho.

A Tabela 12 apresenta os resultados do Teste de Schellenberg executado para as duas misturas estudadas neste trabalho.

**Tabela 13 – Resultados dos Ensaios de Schellenberg**

<b>Mistura Ensaída</b>	<b>Resultado do Teste (%)</b>
SMA com AMP e Aditivo Estabilizador do Ligante Asfáltico	0,21
SMA com Asfalto-borracha e sem Aditivo Estabilizador do Ligante Asfáltico	0,19

**Fonte: A autoria própria**

## 7 CONCLUSÃO

Segundo o estudo realizado neste trabalho, o asfalto SMA, apresenta uma opção viável de pavimentação. Apesar de seu custo um pouco elevado em comparação ao asfalto convencional (CBUQ), ele apresenta características que o torna satisfatório, como à diminuição da sua espessura e um tempo maior para reformas de manutenção.

Os testes realizados mostraram que os agregados da região de Campo Mourão-PR, apresentaram boas características para o desenvolvimento de misturas asfálticas tipo SMA, visto que, se encaixaram perfeitamente dentro dos padrões exigidos pela faixa granulométrica alemã 011/S, e apresentaram densidades que permitiram um bom resultado para os vazios da mistura.

Em relação à Metodologia Marshall, as duas misturas de SMA apresentaram bons resultados, ou seja, além de preencher os requisitos exigidos por normas técnicas, ambas as misturas apresentam resultados satisfatórios quanto ao teor de ligante. Para um volume de vazios igual a 4%, o teor de CAP utilizado para as misturas apresentou uma pequena diferença. Para a mistura composta por asfalto modificado por polímero o teor ótimo de ligante encontrado foi de 6,1% enquanto que para a mistura efetuada com asfalto borracha o teor ficou em 6,3%. Este resultado já era esperado uma vez que o asfalto-borracha apresenta viscosidade superior ao asfalto modificado por polímero.

A Metodologia de Schellenberg revelou que, o SMA modificado por polímeros apresenta um desempenho aceitável por norma, entre 0,2% e 0,3%, ficando com 0,21% de ligante retido no béquer. Já o SMA modificado com borracha apresentou um resultado ainda mais satisfatório, por norma menor que 0,2% apresenta um bom desempenho, assim ficando com 0,19% de ligante retido.

Este resultado indica que tecnicamente, em relação ao escorrimento do ligante, é possível excluir o aditivo estabilizador, no caso a fibra de celulose, e o asfalto modificado por polímero e incluir o asfalto-borracha. Por um lado pode-se aumentar o gasto com o teor, porém pode-se diminuir no custo final da mistura em função da retirada do estabilizador do ligante asfáltico.

Por fim, com a utilização dos agregados da região de Campo Mourão-PR, pode-se obter uma mistura de SMA de boa qualidade, tanto para o asfalto

modificado por polímeros e fibras de celulose, quanto para a mistura efetuada com asfalto-borracha.

## REFERÊNCIAS

ABEDA – **Associação brasileira das Empresas distribuidoras de asfalto**, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em:<<http://www.abeda.org.br/>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

ANPET. **Associação de Pesquisa e Ensino em Transportes**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em:< <http://www.anpet.org.br/portal/index.php/publicacoes>>. Acesso em: 8 Jan. 2014.

BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA, Laura G.; CERATTI, Jorge A.; **Pavimentação Asfáltica**. Rio de Janeiro, 2008.

CAHPI – **Asfalto Borracha**, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.cahpiconsultoria.com.br/asfalto-borracha.html> >. Acesso em 28 jan. 2014.

CNT – **Confederação Nacional dos Transportes**, Brasília - DF, 2011. Disponível em: <http:// <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/relGeral.aspx>>. Acesso em 23 jan. 2013

DER – PR – **Departamento de Estradas e Rodovias do Paraná** – Secretaria de Infraestrutura e Logística, Curitiba Pr, 2010. Disponível em: <<http://www.infraestrutura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=186> >. Acesso em: 12 jan. 2014.

FILHO, Claudio L.; BERNUCCI, Liédi L.; JUNIOR, José L.; **Avaliação de Misturas Asfálticas SMA Produzidas com Ligante Asfalto-Borracha quanto a Deformação Permanente**. Universidade de São Carlos, SP, 2008.

Geipot – **Grupo Executivo de Integração da Política dos Transportes**, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.rj.gov.br/web/sedeis/exibeconteudo?article-id=223990> >. Acesso em 18 jan. 2014.

**Ministério dos Transportes**, 2013, Brasília DF, 2013. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/conteudo/61125>>. Acesso em 03 jan. 2014.

MIRANDA, Henrique; **Análise comparativa de métodos de ensaio para avaliação do escorrimento, em misturas betuminosas do tipo Stone Mastic Asphalt, segundo a norma europeia EN 12697-18, 2010**, Lisboa, Portugal. Disponível em: <[http://www.crp.pt/docs/A45S121-123\\_Art\\_T5\\_7CRP\\_2013.pdf](http://www.crp.pt/docs/A45S121-123_Art_T5_7CRP_2013.pdf) >. Acesso em 31 jan. 2014.

NAPA – **National Asphalt Pavement Association** (2002). Designing and Constructing SMA Mixtures – State-of-the-Practice. Quality Improvement Series 122. Lanham, MD, EUA.

ODA, S.; EDEL, G.; JUNIOR, J. L.; **Primeiro trecho Experimental Urbano de SMA com Asfalto-Borracha sem Fibras**. Revista Minerva, 2010. Universidade Salvador BA. Disponível em:

<[http://www.fipai.org.br/Minerva%2002\(02\)%2010.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2002(02)%2010.pdf)>. Acesso em: 16 jan. 2014.

ROZEK, Tiago M.; **Estudo Laboratorial de Dosagem Marshall de misturas em Concreto Asfáltico considerando o tipo de Ligante e o Teor de Finos**. 2006. 57f. Dissertação. Unijuí. Disponível em:

<[http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra/jnic/RESUMOS/resumo\\_1418.html](http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra/jnic/RESUMOS/resumo_1418.html)>. Acesso em: 2 fev. 2014.

SNV - **Sistema nacional de viação**. Brasília-DF, 2011. Disponível em:

< <http://www2.transportes.gov.br/bit/02-rodo/rodo.html> >. Acesso em: 12 Jan. 2014.

**APÊNDICE A - Características do CAP Modificado por Polímero 60/85 E**

<b>ASFALTO Asfalto Polimero 60 85</b>				
CARACTERÍSTICAS(*)	ESPECIF.		MÉTODO DE ENSAIO	Encontradas na elaboração do projeto de mistura
	Mínimo	Máximo		
VISCOSIDADE BROOKFIELD, A 135,°C, 20 RPM, cP	-	3000	NBR-15184	1095
VISCOSIDADE BROOKFIELD, A 150,°C, 50 RPM, cP	-	2000	NBR-15184	542
VISCOSIDADE BROOKFIELD, A 175,°C, 100 RPM, cP	-	1000	NBR-15184	204
<b>TEMPERATURA DE MISTURA, °C (**)</b>	<b>INDICATIVO</b>		<b>CÁLCULO</b>	<b>162 a 168</b>
<b>TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO, °C (**)</b>	<b>INDICATIVO</b>		<b>CÁLCULO</b>	<b>146 a 152</b>
PONTO DE FULGOR, °C	235	-	NBR-11341	>235
ESTAB. A ESTOCAGEM, DIF. PONTO AMOL., °C	-	5	NBR-15166	2
RECUPERAÇÃO ELÁSTICA, 20 cm, 25°C, %	85	-	NBR-15086	91
ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDADE TÉRMICA (IST)	2,0	5,0	CÁLCULO	3,0
PENETRAÇÃO, 100g, 5s, 25°C, 0,1mm	40	70	NBR-6576	57
PONTO DE AMOLECIMENTO, °C	60	-	NBR-6560	69
<p>(*)Características do produto utilizado na elaboração deste projeto. Durante a execução da obra as temperaturas de usinagem e compactação deverão ser as indicadas no certificado que acompanha o produto ou de acordo com a curva de viscosidade versus temperatura elaborada na obra.</p> <p>(**) A temperatura de usinagem deverá ser ajustada em função das condições operacionais e climáticas de forma a atender a temperatura mínima de início de compactação.</p>				

**APÊNDICE B - Características do CAP Borracha AB8**

<b>ASFALTO CAP BORRACHA</b>				
CARACTERÍSTICAS(*)	ESPECIF.		MÉTODO DE ENSAIO	Encontradas na elaboração do projeto de mistura
	Mínimo	Máximo		
VISCOSIDADE BROOKFIELD, A 135,°C, 20 RPM, cP	-		NBR-15184	
VISCOSIDADE BROOKFIELD, A 150,°C, 50 RPM, cP	-		NBR-15184	
VISCOSIDADE BROOKFIELD, A 175,°C, 50 RPM, RV3, cP	800	2000	NBR-15184	1241
<b>TEMPERATURA DE MISTURA, °C (**)</b>	<b>INDICATIVO</b>		<b>CÁLCULO</b>	<b>171</b>
<b>TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO, °C (**)</b>	<b>INDICATIVO</b>		<b>CÁLCULO</b>	<b>165</b>
PONTO DE FULGOR, °C	235	-	NBR-11341	>235
ESTAB. A ESTOCAGEM, DIF. PONTO AMOL., °C	-	5	NBR-15166	7
RECUPERAÇÃO ELÁSTICA, 20 cm, 25°C, %	85	-	NBR-15086	71
ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDADE TÉRMICA (IST)	2,0	5,0	CÁLCULO	1,6
PENETRAÇÃO, 100g, 5s, 25°C, 0,1mm	40	70	NBR-6576	58
PONTO DE AMOLECIMENTO, °C	60	-	NBR-6560	61
<p>(*)Características do produto utilizado na elaboração deste projeto. Durante a execução da obra as temperaturas de usinagem e compactação deverão ser as indicadas no certificado que acompanha o produto ou de acordo com a curva de viscosidade versus temperatura elaborada na obra.</p> <p>(**) A temperatura de usinagem deverá ser ajustada em função das condições operacionais e climáticas de forma a atender a temperatura mínima de início de compactação.</p>				

## **APÊNDICE C – Características dos Agregados**

Composição da mistura de agregados e densidades				
		Densidade (*) - ASTM C 127, ASTM C-128		
Agregado	%	Seca	Saturada	Efetiva
Brita 1/2"	43,0	3,063	2,926	2,994
Pedrisco 3/8"	25,0	3,063	2,914	2,998
Pó de pedra	30,0	3,022	2,860	2,942
CAL CH-1	2,0	2,455	2,455	2,455
* Conforme os métodos de ensaio adotados os valores são adimensionais.				
Equivalente de Areia - DNER ME 054/97				
Material	Pó de pedra			
Eq. Areia	67,0%			
Adesividade do Agregado Graúdo				
Método	ASFALTO SMA			
ABNT NBR-14329	Satisfatória			
Desgaste de Agregado por Abrasão (Los Angeles)				
Material	Graduação	Método	Especificado	Resultado
Brita 1/2"	B	DNER-ME 035/98	máximo 30%	24%
Absorção de água - ASTM C-127, ASTM C-128 e ASTM C 1252				
Brita 1/2"	Pedrisco 3/8"	Pó de pedra		
1,53%	1,66%	1,87%		