

**CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA  
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**BRUNO HENRIQUE SILVA BARROS  
EVALDIR PEDRO DO NASCIMENTO  
HUMBERTO FERNANDES DOS SANTOS AMARAL  
JONATHA LUCAS BELARMINO TENORIO  
WYLLEMBERG BATISTA CAVALCANTE**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DO ASFALTO MODIFICADO COM  
POLÍMERO NAS VIAS URBANAS DE GRANDE TRÁFEGO**

**RECIFE  
2022.2**

**BRUNO HENRIQUE SILVA BARROS  
EVALDIR PEDRO DO NASCIMENTO  
HUMBERTO FERNANDES DOS SANTOS AMARAL  
JONATHA LUCAS BELARMINO TENORIO  
WYLLEMBERG BATISTA CAVALCANTE**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DO ASFALTO MODIFICADO COM  
POLÍMERO NAS VIAS URBANAS DE GRANDE TRÁFEGO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Disciplina TCC do Curso de Bacharelado em  
Engenharia civil do Centro Universitário Brasileiro -  
UNIBRA, como parte dos requisitos para conclusão  
do curso.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup> Elaine Cavalcanti Rodrigues Vaz

RECIFE  
2022.2

Ficha catalográfica elaborada pela  
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 1745.

A663r Araújo, Ana Paula Gomes de  
A responsabilidade ambiental: uma análise sobre os parâmetros para a  
reparação do dano ao meio ambiente nos casos de mineração ilegal. / Ana  
Paula Gomes de Araújo. Recife: O Autor, 2022.  
42 p.  
  
Orientador(a): Me. Patrícia Alves.  
  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário  
Brasileiro – UNIBRA. Bacharelado em Direito, 2022.  
  
Inclui Referências.  
  
1. Responsabilidade ambiental. 2. Princípio da reparação integral. 3.  
Mineração ilegal. I. Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA. II. Título.

CDU: 34

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem primeiramente a Deus, que fez com que nossos objetivos fossem alcançados, durante todos os anos de estudos.

Aos familiares e amigos, por todo apoio e ajuda, que muito contribuíram para a realização para a realização deste trabalho.

A prof<sup>a</sup>Dr<sup>a</sup> Elaine Cavalcanti Rodrigues Vaz, por ter sido nossa orientadora e ter desempenhado tal função com muita dedicação e amizade.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que nos permitiram apresentar sempre um melhor desempenho nesse processo de formação profissional ao longo curso.

A todos da EMLURB, pelo fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho.

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho. Aos colegas de turma, por compartilharem conosco tantos momentos de descobertas e aprendizado ao longo deste percurso.

"Uma mente que se abre a uma nova  
ideia jamais voltará ao seu tamanho  
original" - Albert Einstein

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

**Figura 1** Ilustração de um encadeamento de monômeros formando o polímero. 6

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Benefícios de diferentes tipos de modificadores de asfalto	14
<b>Tabela 2</b>	Especificação brasileira de asfalto diluído	15
<b>Tabela 3</b>	Divisão dos tipos de polímeros	16
<b>Tabela 4</b>	Normas e procedimentos utilizados para realização dos ensaios de caracterização de agregados.	22
<b>Tabela 5</b>	Normas e procedimentos utilizados para realização dos ensaios de caracterização de ligantes asfálticos.	22
<b>Tabela 6</b>	Normas e procedimentos utilizados para realização dos ensaios de caracterização de ligantes asfálticos.	23

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**AMP**- Asfalto Modificado por Polímero

**CAP**- Cimento Asfáltico de Petróleo

**CBUQ** - Concreto Betuminoso Usinado a Quente

**DNER** - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

**DNIT** - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

**RET** - Etileno Butil Acrílico Glicidil Metacrilato

**SBR** - Estireno Butadieno Rubber

**SBS** - Estireno Butadieno Estireno

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	2
<b>2 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	3
<b>2.1 Pavimento</b> .....	3
<b>2.2 Pavimento Asfáltico</b> .....	4
<b>2.3 Asfalto Modificado</b> .....	4
<b>2.4 Polímeros e Modificação de Asfalto</b> .....	6
<b>2.5 Asfalto Modificado com SBS</b> .....	9
<b>3 DELINEAMENTO METODOLÓGICO</b> .....	10
<b>4.1 Propriedades mecânicas</b> .....	11
<b>4.2 Ensaios avaliadores das propriedades</b> .....	12
<b>4.3 Métodos e ensaios</b> .....	12
4.3.1 Ensaios de caracterização de agregados .....	13
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	16

# **ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DO ASFALTO MODIFICADO COM POLÍMERO NAS VIAS URBANAS DE GRANDE TRÁFEGO.**

Bruno Henrique Silva Barros

Evaldir Pedro do Nascimento

Humberto Fernandes dos Santos Amaral

Jonatha Lucas Belarmino Tenorio

Wyllemberg Batista Cavalcante

Elaine Cavalcanti Rodrigues Vaz<sup>1</sup>

**Resumo:** O desenvolvimento de tecnologias e estudos de materiais que melhorem o desempenho dos pavimentos flexíveis levou ao estudo e uso de AMP – Asfalto Modificado com Polímero, que preserva ampliar a faixa de utilização de ligantes asfálticos, na utilização deste insumo, que dá à mistura alta flexibilidade, coesão e aumenta a durabilidade a resistência aos agregados, isso relacionados aos esforços gerados pelas cargas decorrentes do tráfego, estão sendo um grande avanço ao longo de sua vida útil. Desta forma o presente trabalho tem como objetivo estudar a utilização de asfalto modificado com polímero em vias urbanas com grande índice de rodagem nas regiões metropolitanas (RM's), realizando um comparativo em relação a durabilidade em pavimentos utilizando CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente e AMP em vias urbanas. A metodologia de estudo dar-se por meio de quantitativo de materiais e referências bibliográfica, de forma a se ter um comparativo entre dois trechos que tenham sido aplicados o CAP e AMP. A pesquisa mostrou que a utilização de polímeros no CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo melhora muito suas propriedades visco plásticas e assim dando maior estabilidade e conseqüentemente durabilidade ao pavimento. Conclui-se que, a viabilidade e utilização do AMP no revestimento da malha viária urbana, contribuem de forma considerável uma maior durabilidade no pavimento. Tendo a necessidade de viabilizar e desenvolver, a utilização de novos insumos para tornar o pavimento mais duradouro e econômico.

**Palavras-chave:** AMP.CBUQ.Asfalto.Pavimentos.Econômico.

---

<sup>1</sup>Professor da UNIBRA. Doutora em Química. E-mail: elaine.cavalcanti@grupounibra.com

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Castro e Botaro (2004), devido as agressividades no meio ambiente decorrente da poluição gerada devido à alta geração de resíduos industriais vem tendo um alto crescimento ao longo dos anos. São produzidos anualmente toneladas de polímeros e uma solução é utilizá-los como modificador do CAP. A adição desse resíduo no asfalto pode agregar diversos fatores positivos no âmbito econômico como no ambiental. Na visão econômica, faz com que as indústrias deixem de descartar esses materiais em aterros sanitários, a adição deste material ao asfalto acrescenta muito valor ao que hoje é descartado. Do lado ambiental, as indústrias deixam de expor esses materiais a natureza, que demora cerca de 500 anos degradando no nosso planeta.

A pavimentação com asfalto modificado com polímero acaba proporcionando uma maior resistência as tensões exercidas na via, conseqüentemente é possível se aplicar camadas de menor espessura. Isso corresponde em um ganho em material. A vida útil desse pavimento é bem superior ao pavimento com aplicação do CBUQ convencional, sendo assim tem um melhor proveito no planejamento de manutenção e investimento na malha viária. Para um ganho muito significativo é em relação a sustentabilidade onde pode destinar um grande volume de polímeros que seriam descartados para utilizar como agregantes (CASTRO e BOTARO, 2004).

O presente trabalho tem como objetivo estudar a aplicação de asfalto modificado por polímero e CBUQ convencional em revestimento da malha viária urbana, comparando a utilização destes materiais nas vias.

A relevância deste justifica-se por acreditar que a utilização do asfalto com polímero nas vias urbanas de grande tráfego contribui com uma maior durabilidade do revestimento e colaborando diretamente na conservação e preservação do meio ambiente. O estudo desses ligantes asfálticos apresenta a viabilização na utilização de novos produtos que consigam tornar o pavimento mais seguro e econômico.

## **2 REFERÊNCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Pavimento**

De acordo com Pinto et al (2002), pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras duradoura, construída sobre a superfície de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços de tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhorias nas condições de tráfego como conforto, economia e segurança.

Segundo BALBO (2007), o pavimento rodoviário classifica-se principalmente em dois tipos básicos: rígidos e flexíveis. Os pavimentos rígidos são aqueles no qual o seu revestimento tem uma elevada rigidez em relação a sua camada inferior, portanto, acaba adquirindo praticamente todas as tensões provenientes do tráfego de veículos. Entretanto, os pavimentos flexíveis correspondem a camada mais simples que sofrem deformações viscoelástica significativas sob o tráfego aplicado e, portanto, O peso se distribui em parcelas aproximadamente equivalente entre suas camadas. Para análise geral na hora de escolher a pavimentação ideal é necessário sobrepor: Volume de tráfego, técnica adotada, viabilidade econômica, qualidade dos materiais para execução e geometria do local da obra.

Segundo BIANCHI (2008), a principal diferença entre os pavimentos rígidos e flexíveis é a sua distribuição de carga nas suas camadas subjacentes. O pavimento flexível funciona a partir de uma camada de rolamento na qual, quem absorve os esforços devido ao tráfego é a fundação. Enquanto, o pavimento rígido tem a camada de rolamento que também funciona como estrutura, redistribuindo a aplicação e diminuindo a força imposta a sua fundação.

De acordo com BIANCHI (2008), os pavimentos rígidos e flexíveis são repletos de vantagens e desvantagem, onde a sua principal diferença consiste principalmente em seu tempo útil de vida, de acordo com Instituto Mauá de Tecnologia, o pavimento rígido normalmente é dimensionado para no mínimo (20 anos), enquanto o pavimento flexível tem a sua proporção em durabilidade máxima de 10 anos.

## **2.2 Pavimento Asfáltico**

Entre vários tipos de pavimentos também se tem, o asfalto que consiste em derivados de petróleo, que podem ser obtidos natural ou artificialmente por meio de processos físicos ou químicos. Ocorre naturalmente em lagos de asfalto e asfalto-rocha (uma mistura de areia, calcário e asfalto). Possui propriedades como consistência sólida ou semissólida e cor escura. Sua principal aplicação é na construção civil, como material de pavimentação e impermeabilização. Existem vários tipos de asfalto, dentre eles, o mais utilizado atualmente, é o CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo), o ADP (Asfalto Diluído de Petróleo), a Emulsão Asfáltica, entre outros tipos. (ABEDA, 2006)

O CAP, assim como as emulsões asfálticas, esse tipo de asfalto é constituído da parte de rolamento das estradas. O mesmo, em específico está presente em revestimentos de alto padrão, como por exemplo o CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente). Já o ADP, geralmente é utilizado como impermeabilizante da base, do local que será traçado o pavimento. A Emulsão asfáltica, ela integra, na camada de rolamento, como o CAP, porém ela está mais ligada a revestimentos de médio e baixo padrão, como em tratamentos superficiais, lamas asfálticas e micro asfalto, diferente do CAP. Entretanto, também temos o Asfalto modificado que é um cimento asfáltico, que pode envolver a industrialização de modo geral, com isso fica nítido as exigências de aumento para o desempenho solicitado na impermeabilização, são exemplos disso as propriedades aglutinantes, e a flexibilidade. (IBP, 2006)

## **2.3 Asfalto Modificado**

Segundo Martinho (1994), no decorrer dos anos, o aumento das cargas de tráfego e o surgimento de grandes defeitos, só têm demonstrado a crescente ao desenvolvimento dos próprios produtos aos asfaltos modificados por borracha de pneus moída e por polímeros. Nas suas características tem-se a suscetibilidade térmica menor, a resistência à deformação permanente maior, a resistência ao trincamento por fadiga (evitando a reflexão de trincas) e maior espessura de película (revestimentos drenantes).

Ainda segundo Martinho (1994), o asfalto modificado é basicamente, um tipo de asfalto diferente, com muitas características inovadoras e melhores que os asfaltos convencionais, este sistema aumenta a probabilidade de retorno desses aborrecimentos a sua posição original. A modificação é feita através da adição de polímeros, que nada mais são que macromoléculas ligadas entre si por meio de ligações covalentes.

Para melhorar o desempenho dos ligantes asfálticos, para assim esse material venha trabalhar melhor em situações adversas como: tráfego pesado, condições ambientais etc., podem ser misturados produtos que consigam modificar suas propriedades, como os asfaltos naturais, fíleres, fibras ou enxofre elementar. Com tudo, a modificação mais sensata atualmente é através do uso de polímeros. Na tabela 01 se tem as influências em termos quantitativos desses vários tipos de modificadores de asfalto. Detalhes mais característicos podem ser observados na tabela 02.

Tabela 01 – Benefícios de diferentes tipos de modificadores de asfalto (BERNUCCI et al, 2008).

<b>Modificador</b>	<b>Deformação Permanete</b>	<b>Trincas Térmicas</b>	<b>Trincas de Fadiga</b>	<b>Dano por Umidade</b>	<b>Envelhecimento</b>
Elastômeros	*	*	*		*
Plastômeros	*				
Borracha de Pneu	*	*	*		*
Negro de Fumo	*				*
Cal				*	*
Enxofre	*				
Modificadores químicos	*				
Antioxidante					*
Melhorador de adesividade				*	*
Cal hidratada				*	*

(\*) Símbolo significa que há benefício

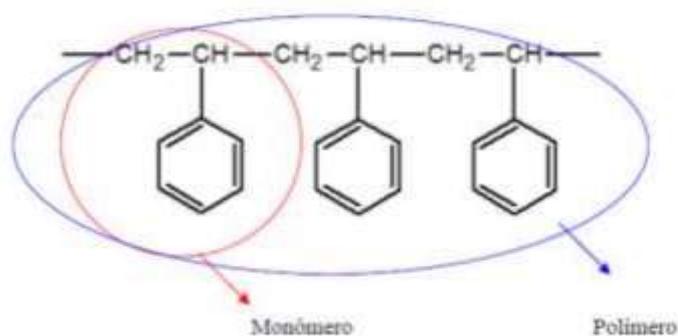
Tabela 02 – Especificação brasileira de asfalto diluído (ANP-2007)

Características	Métodos			Tipos		
	ABNT/NBR	ASTM	CR-70	CR-250	CM-30	CM-70
<b>No Asfalto Diluído</b>						
Viscosidade cinemática, cSt, 60°C	14756	D 2170	70-140	250-500	30-60	70-140
Viscosidade Saybolt, - Furol, s						
25°C					75-150	-
50°C	12950	D 88	60-120	-	-	60-120
60°C			-	125-250	-	38
Ponto de fulgor (V.A.Tag)°C, min.	5765	D 3143	-	27	38	38
Destilação até 30°C, % volume total destilado, mi.						
% volume total destilado, min.	14856	D 402				
190°C			20	-	-	-
225°C			70	60	40-70	20-60
316°C			85	80	75-93	65-90
Resíduo, 360°C, % volume, min.			55	65	50	55
Água, % volume, máx.	14236	D 95	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>No Resíduo da destilação</b>						
Viscosidade, 60°C, P <sup>2</sup>	5847	D 2171	600-2400	600-2400	300-1200	300-1200
Betume, % massa, min <sup>2</sup>	14855	D 2042	99	99	99	99
Dutibilidade, 25°C, em min. <sup>1 2</sup>	6293	D 113	100	100	100	100

## 2.4 Polímeros e Modificação de Asfalto

Os polímeros são produtos que tem sua origem orgânica, inorgânica ou sintéticas, com alto peso molecular, cuja sua estrutura molecular se dá a partir da ligação química de pequenas unidades que se denomina monômero (JUNIOR, 2007).

Figura 1: Ilustração de um encadeamento de monômeros formando o polímero.



“Polímeros” é uma palavra GREGA, onde POLY significa “muitos”, e MEROS significa “partes”, o que quer dizer “muitas partes”. Assim são macromoléculas constituídas de uma formação repetitiva, que se conectam por meios de ligações covalentes macro celular, de fácil transformação e maleabilidade quando submetido a elevadas temperaturas e altas pressões(POUZADA, 1983). Vale salientar que a formação dos polímeros é dada a partir da reação em cadeia, entre os monômeros, processo esse, que denominamos de polimerização, onde podemos identificar o seu grau de acordo com o número de meros disponíveis em uma cadeia polimérica. E através desse procedimento que se pode identificar os diversos tipos de compostos de polímeros e cada um deles pode ser aplicado para conferir características diferentes ao asfalto. Segue abaixo, o quadro demonstrativo das quatro principais características:

Tabela 03 – Divisão dos tipos de polímeros.

<b>Característica</b>	<b>Objetivo</b>
Termorrígidos	São aqueles que não se fundem, degradam numa temperatura limite e endurecem irreversivelmente quando aquecidos a uma temperatura que depende de sua estrutura química, sendo cadeias moleculares que formam rede tridimensional que resiste a qualquer mobilidade térmica, exemplo: Resina, Epóxi e Poliéster
Termoplásticos	São aqueles que se fundem e se tornam maleáveis reversivelmente quando aquecido, ou seja, normalmente consistem de cadeias lineares, mas podem ser também ramificadas e são incorporados aos asfaltos a alta temperatura, exemplo: Polietileno, PVC e EVA
Elastoméricos	São aqueles que quando aquecido se decompõem antes de amolecer, e apresentam propriedades elástica que lembram a borracha, exemplo: Borracha, Polibutadieno e Poliuretana
Elastômero-termoplástico	São aqueles que ao serem aquecido se comportam como termoplásticos, mas em temperaturas mais baixas apresentam propriedades elásticas, exemplo: Estireno e borracha

De acordo com Junior (2007) normalmente os principais polímeros utilizados para modificar o CAP são: SBS – Estireno Butadieno Estireno, RET – Etileno Butil

Acrilato Glicidil Metacrilato e o SBR – Estireno Butadieno Rubber. Para que esta modificação dos ligantes seja vantajosa economicamente e tecnicamente, é necessário que o polímero seja resistente nas altas temperaturas usuais evitando a degradação do asfalto na sua utilização, se misturado adequadamente ao CAP, melhorando as características de fluidez do CAP as altas temperaturas, sem que esse ligante seja muito viscoso para a mistura e aplicação e nem tão rígido a baixas temperaturas.

Alguns resíduos são reciclados, já outros têm algumas propriedades que acabam deixando mais complexo o processo de reciclagem, sendo os materiais termorrígidos, com o calor, esses acabam se tornando insolúveis e infusíveis, deixando inviável o reuso desses materiais por meio de reciclagem. Ao modificar o asfalto, o objetivo principal desta solução é conseguir propriedades como viscosidade, plasticidade, elasticidade e escoamento do material, propriedades estas não obtidas em asfaltos produzidos com técnicas convencionais de refino. Uma das formas de se modificar o asfalto é mediante adição de polímeros, entre eles temos o polímero tipo SBS. Há diversos estudos e análises bibliográficas sobre diferentes formas de utilizar borracha de pneu moídas em estradas como matéria prima para realizar e aplicar asfalto borracha nas vias de grande tráfego. A utilização deste material na pavimentação, se dá por meio de pneus não utilizados, pelo maior custo de tratamento, acaba competindo com desvantagem com os polímeros comerciais, elastômeros e plásticos (ZANZOTTO e KENNEPOHL, 1996).

Acredita-se que a adição de polímeros no asfalto haja um aumento na ductilidade, levando a uma maior resistência a deformações a altas temperaturas, assim acabando com o aparecimento de fissuras por retração e fadiga. Estudos já foram feitos utilizando polímero como agregado ao CAP, e sabe-se que a junção de determinados tipos de polímero ao asfalto, previne a degradação prematura do pavimento, prolongando muito sua vida útil e assim também reduzindo consideravelmente o custo com manutenção. Existe-se uma compatibilidade entre o CAP e o polímero, as propriedades obtidas após a mistura pode contribuir, para a desagregação do revestimento, do surgimento de trincas por fatores térmicos e das formações das trilhas de roda (SPECHT, 2000 apud CURY et al. 2002)

Segundo Castro e Botaro (2004) a utilização de AMP - asfalto modificado com polímero, aumenta a vida útil, previne o revestimento a fadiga e dar mais resistência a esforços longitudinais.

As pesquisas direcionadas para esta temática se iniciaram na década de 90, pelo Centro de Pesquisa da Petrobrás (CENPES), onde foram desenvolvidas pesquisas voltadas as áreas de asfalto modificado por polímero, tendo como principal objetivo estudar e compreender o desempenho do material. Aplicações foram feitas do AMP em diversas rodovias brasileiras onde deu início em escala comercial após o ano 2000, pode-se afirmar que atualmente o Brasil, em específico a Petrobrás Distribuidora, excede a tecnologia de produção, transporte e aplicação do AMP, sendo assim temos no Brasil centenas de quilômetros de rodovias revestidas com AMP(ODA e JUNIOR 2001).

Na busca das constantes alterações químicas no asfalto e nas mudanças dos custos de seus insumos, diversos laboratórios sempre avaliam a formulação atual, com um ponto de vista mais técnico e comercial. No geral o AMP SBS vem proporcionando resultados bastantes lineares entre o ponto de amolecimento, viscosidade e recuperação elástica, ao do AMP RET, que apresenta, taxas de amolecimentos altas e dentro da especificação, uma viscosidade elevada, quase no valor máximo da especificação e de recuperação elástica tem o mínimo, pela especificação. Frisando os custos relacionados, atualmente o AMP RET se apresentam bem menores que os modificados com SBS (ISACSSON; LU, 1999apud AMARAL, 2000).

## **2.5 Asfalto Modificado com SBS**

O emprego do polímero SBS – Estireno-Butadieno-Estireno para modificar o asfalto tem sido bastante considerável, tanto para pavimentação quanto para diversas aplicações industriais. O SBS é um polímero industrial, tipo elastômero termoplástico. (DNER, 1998)

Segundo o DNER (1998), os poliestirenos se fundem acima dos 90°C e os polibutadiênicos se tornam rígidos próximo a -90°C e conclui-se que por isso, o SBS é o mais usado como modificador do CAP tanto em locais com temperaturas altas como com baixa temperatura. A utilização desse polímero apresenta um comportamento bem superior comparado ao do asfalto convencional, mostrando-se como o polímero se comporta ao ser misturado ao asfalto convencional e suas características. Sabendo que o AMP tipo SBS tem uma vida útil muito superior aos asfaltos convencionais, oferecendo também assim maior segurança, durabilidade,

menos custo com manutenção, menos estresse, conforto e com isso alerta as concessionárias e autoridades governamentais que é necessário ser investido mais com esses materiais de boa qualidade, tendo em vista que na Europa e Estados Unidos já é muito usado o AMP com SBS.

Segundo LEITE (1999) a configuração espacial do polímero SBS ela é formada por duas distintas regiões: esferas de micros domínios estirênicos e molas de micros domínios butadiênicos. Quando o SBS é misturado ao CAP apropriadamente, a porção estirênica é solvatada pelos componentes aromáticos do asfalto, e assim formando um tipo de gel estabilizado, enquanto a sequência de butadiênio mantém a estrutura em certa conformação espacial que fica responsável pelas melhorias das propriedades reológicas do material em relação ao CAP puro.

### **3 DELINEAMENTO METODOLÓGICO**

Com os avanços tecnológicos, a busca por materiais alternativos para produção asfáltica, que atualmente contribuem para melhora constante de suas propriedades e também colabora diretamente com a redução da contaminação do meio ambiente. O presente trabalho consta de uma pesquisa de compilação literária de artigos publicados ao longo dos anos e bases de dados, com o objeto de conhecer e comparar os benefícios nas propriedades das misturas asfálticas, como porcentagem de partículas, traços ideais, ensaios de laboratórios, e melhores resultados. Foram revisados diversos artigos anexados nas bases de dados ResearchGate, Google Acadêmico, Scielo sobre o uso de polímeros em misturas asfálticas, com as palavras-chaves asfalto modificados por polímeros, polímeros para misturas asfálticas, influência do tipo do polímero em asfalto; Mais informações foram obtidas com relação ao tema a partir de estudos realizados pela Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana – EMLURB, concluindo nessa pesquisa que a incorporação de polímeros na mistura asfáltica apresenta melhorias nas propriedades mecânicas do asfalto, tendo em vista a quantidade, percentual de polímeros a ser misturado.

### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Segundo DE SENÇO (1997) mesmo com as diversas crises petrolíferas, ainda existe uma preferência por pavimentação com misturas betuminosas devido

acino fatores relevantes: a possibilidade de trabalhar em várias escaladas de temperatura, preço competitivo, impermeabilidade dos ligantes, durabilidade dos traços e a adesividade dos agregados com os ligantes.

O fator de grande relevância para ser utilizado o AMP é elevar os níveis de performance em trechos com CBUQ. Assim compensando uma melhor performance desses pavimentos está ligado aos custos associados a incorporação dos polímeros ao CAP. As áreas críticas da performance ao longo do tempo dos pavimentos flexíveis são: resistência a fadiga, deformação permanente, resistência as trincas a baixas temperaturas. Sabendo que estas propriedades poderão ser apresentadas independente (CARPENTER, 1987).

Segundo o DNER-ES 313/97, o CBUQ é uma mistura preparada em uma usina específica, com características apropriadas para tal, mistura de agregados minerais graduados, filler e ligantes betuminosos, comprimida e espalhada a quente.

Segundo o DNER-ES 385/99, o AMP é uma mistura preparada também de forma específica e em usina apropriada, com a diferença no tipo de CAP utilizado, geralmente utiliza-se o polímero do tipo SBS e comprimido a quente.

De acordo com o IBP (1996), o asfalto modificado melhora quatro propriedades fundamentais dos ligantes, são essas a resistência coesiva, adesão, a termo suscetibilidade e o comportamento reológico. O AMP permanece com a consistência inalterada mediante a larga escala de temperatura, pois existe o incremento do ponto de amolecimento e da viscosidade.

De acordo com AGLAN et al (1993), diversos estudos com o polímero SBS, com auxílio de ensaios de laboratório que verificaram uma mudança significativa na morfologia da superfície fissurada da amostra, quanto mais se aumenta o percentual de aditivo no CAP, conclui-se que tal fato é o fator de uma melhor adesão entre o ligante e os agregados e também uma melhor coesão do ligante que contribui com o aumento da rigidez do CBUQ.

#### **4.1 Propriedades mecânicas**

As propriedades mecânicas exigidas para as misturas asfálticas são: trabalhabilidade, durabilidade, flexibilidade, estabilidade e resistência por aderência superficial, segundo o HIGHWAY RESEARCH BOARD (1995), apud COELHO (1992).

A trabalhabilidade se refere ao processo de mistura e espalhamento da massa, de não ocorrer com grandes dificuldades.

A durabilidade se caracteriza por meio da resistência das misturas das ações do tempo e do tráfego, para isso, é necessário que exista um bom envolvimento das partículas granulares pelo asfalto, por uma boa mistura, com o teor ótimo de ligante e com o baixo volume de vazios devido a compactação.

Flexibilidade é a propriedade de resistir, as flexões repetidas acarretadas pela passagem dos veículos.

Estabilidade de misturas asfálticas é a capacidade de suportar os carregamentos decorrentes do tráfego sem sofrer deformações irreversíveis e permanentes.

## **4.2 Ensaios avaliadores das propriedades**

De acordo com SOUZA et al (1991), apud COELHO (1994), para avaliar os parâmetros elásticos, viscoelásticos, plásticos e resistência a cisalhamento para CBUQ, são ensaio do tipo: compressão uniaxial com corpos de provas cilíndricos, não confinados de carregamentos estáticos repetidos, compressão triaxial com corpos de provas, confinados de carregamento estáticos repetidos, ensaios de compressão diametral realizados com corpos de provas cilíndricos, com carregamento estáticos e ensaio de trilha de pneus.

No Brasil, segundo MOTTA & PINTO (1994), os ensaios mais comuns e mais utilizados em relação as propriedades de fadigas, são os ensaios de compressão diametral para se obter o modulo de resiliência (DNER 133/94), ensaios de flexão alternada, ensaio estático de prensa de adensamento.

## **4.3 Métodos e ensaios**

Para melhor interpretação e viabilizar o entendimento do comparativo da utilizando do melhor revestimento para vencer as deformações dos esforços tangenciais e as demais esforços descarregados no pavimento, existem procedimentos e ensaios necessários

#### 4.3.1 Ensaios de caracterização de agregados

Na tabela 04 observa-se os devidos procedimentos e normas técnicas utilizadas na caracterização dos agregados graúdos e miúdos.

Tabela 04 – Normas e procedimentos utilizados para realização dos ensaios de caracterização de agregados.

Ensaios	Norma/Procedimento
Análise granulométrica por peneiramento	ASTM D1073
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	
Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	DNIT 411/2019
Absorção (%)	DNIT 413/2019
Equivalente areia (%)	DNER 054/1997
Índice de forma	DNIT 424/2020
Abrasão Los Angeles (%)	DNER 035/1998
Durabilidade	DNER 089/1994

#### 4.3.2 Ensaios de caracterização de ligantes asfálticos

Deste serão apresentados as normas e procedimentos que são utilizados na caracterização dos ligantes, como apresentado na tabela 05.

Tabela 05– Normas e procedimentos utilizados para realização dos ensaios de caracterização de ligantes asfálticos.

Ensaios	Norma/Procedimento
Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional ( <i>Brookfield</i> )	NBR 15184
Determinação da penetração	NBR 6576
Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola	NBR 6560
Determinação da recuperação elástica pelo ductilômetro	NBR 15086
Determinação do ponto de fulgor	NBR 11341
Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional - RTFOT	NBR 15235
Grau de desempenho de ligante asfáltico - Performance Graded Asphalt Binder	ASTM D6373
Fluência e recuperação de ligantes asfálticos determinados sob tensões múltiplas (MSCR)	DNIT 423/2020

#### 4.3.3 Ensaio para mensuração das propriedades mecânicas de misturas asfálticas

A tabela 06 apresenta de forma resumida, as normas e procedimentos dos ensaios solicitados para obter maior confiabilidade na hora da aplicação das misturas.

Tabela 06– Normas e procedimentos utilizados para realização dos ensaios de caracterização de ligantes **asfálticos**.

Ensaio	SIGLA	Norma/Procedimento
Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral	RT	DNIT - ME 136/18
Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência	MR	DNIT - ME 135/18
Pavimentação - Misturas asfálticas - Determinação do dano por umidade induzida	RRT	DNIT - ME 180/18
Pavimentação - Misturas asfálticas - Ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência à deformação permanente	FN	DNIT - ME 184/18
Pavimentação asfáltica - Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlado	FDG	DNIT - ME 183/18

A respeito da resistência à tração por compressão diametral (RT) é normalmente realizado de acordo com os procedimentos indicados na norma DNIT – ME 136/18, em uma temperatura de 25°C. Este ensaio consiste na aplicação de duas forças diametral opostas em um corpo de prova cilíndrico de dimensões padrões, produzido com um volume de vazios de cerca de 4%. A prensa utilizada para realização do ensaio ela aplica um carregamento estático a uma velocidade de 0,8±0,1 mm/s em frisos metálicos, que comprimem o corpo de prova no plano diametral, gerando assim uma tensão de tração uniforme no plano perpendicular ao diâmetro.

No ensaio do módulo de resiliência é realizado segundo indicado a norma DNIT – ME 135/18, na configuração de compressão diametral sob carga repetida. Os ensaios são normalmente realizados a 25°C em uma prensa hidráulica, os corpos de compactados no compactador Giratônico Superpave (CGS), na energia de compactação representativa do N de projeto, e cerca de 4% de volume de vazios. A força normalmente aplicada é de 10% da resistência à tração e uma frequência de carregamento de 1Hz, no plano diametral, gerando uma deformação resiliente no plano horizontal medida por dois LVTDs (*Linear Variable Differential Transducer*).

A avaliação à resistência por umidade induzida verifica a sensibilidade da mistura asfáltica à ação deletéria da água, e assim fornece uma medida indireta da adesividade ligante-agregado e coesão das misturas em condições de gelo e de gelo acelerados. O ensaio é realizado conforme método descrito na norma DNIT – ME 180/18, geralmente em corpos de provas moldados nos CGS com  $7\pm 0,5\%$  de volume de vazios. A razão entre os valores médios de resistência à tração condicionada (RTc) e não condicionada (RTnc) é tida como resistência retida à tração (RRT), onde a norma DNIT – ME 180/18 estipula um RRT mínima de 70% para a classificação de resistência à ação da água.

Sobre a resistência à deformação permanente é medida a partir do ensaio uniaxial de carga repetida normalizado pela DNIT – ME 184/18, São produzidos corpos de provas com cerca de 150mm de altura em Compactador Giratório Superpave (CGS). Os CPs são mantidos em estufa ventilada a 60°C cerca de 3 horas, até que a temperatura esteja estável, logo em seguida, dar-se início ao ensaio. Para análise dessa característica pode-se ser utilizado a AMPT (*Asphalt Mixture performance tester*), aplicando um carregamento cíclico uniaxial em formatos de onda *haversine* de 0,1 s de pulso seguido de 0,9 s de repouso. Quando o ensaio é encerrado pelo critério de deformação, a amostra atinge a zona terciária (de deformação plástica).

Para o ensaio vida de fadiga, é adotado também um procedimento descrito na norma DNIT – ME 183/18, para assim obtermos os resultados da vida de fadiga por compressão diametral à tensão controlada. Os níveis de tensões são determinados em diversos percentuais da resistência à tração de cada mistura e corpos de prova, compactados em CGS com o N de projeto de  $\pm 100$  giros, ensaiados a cada nível. Esta aplicação da tensão é feita por uma prensa UTM-25, em pulsos *haversine* de 1Hz e os ensaios são conduzidos até a ruptura do CPs.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Após toda leitura dos diversos materiais pesquisados, vários artigos e pesquisas foram de suma importância para formação deste. Em seguida foi realizado um diagnóstico de forma descritiva do trabalho adquirido, visando instituir uma maior compreensão e um amplo conhecimento sobre o tema pesquisado. O

trabalho foi elaborado e baseado na busca a fim de abranger o entendimento e aperfeiçoar as técnicas a respeito da reutilização dos resíduos, a fim de comparar o uso do AMP e do CBUQ convencional, demonstrando que o uso de aditivos ao CAP pode trazer benefícios as vias, pelo motivo de prolongar a vida útil, devido ao aumento da resistência obtida por este insumo.

## **6 REFERÊNCIAS**

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BIANCHI, Flavia Regina; BRITTO, Isis Raquel Tacla; CASTRO, Verônica Amanda. **Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível**. Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto. Salvador, 2008.

CASTRO, S.R.; BOTARO, V.R. **Modificação de misturas asfálticas: empregos depolímeros recicláveis e melhoria das condições de pavimentação das estradas de MinasGerais**. DEQUI-UFOP, 2004. (Relatório de Iniciação Científica).

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). Método de ensaio DNER-ME 138/94, **Misturas betuminosas-determinação da resistência à tração por compressão diametral**.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). Método de ensaio DNER-ME 138/94, **Misturas betuminosas-determinação da resistência à tração por compressão diametral**.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila. GIL, A.C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GUIMARÃES NETO, Guilherme Loreto. **Estudo Corporativo entre a Pavimentação Flexível e Rígida. Monografia (graduação)**. Universidade da Amazônia, Belém, PA, 2011.

IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo (1996). **Informativo “O asfalto”**. Rio de Janeiro, p. 1-5.

ISACSSON, U.L.F.; LU, X. **Characterization of bitumens modified with SEBS, EVA and EBA polymers**. Journal of Materials Science. n. 34, p. 3737-3745, 1999.

LEITE, L. F. M.; **Estudo de Preparo e Caracterização de Asfaltos Modificados por Polímeros**; Tese de Doutorado, UFRJ; Rio de Janeiro – RJ, 1999.

MACIEL, Emerson Rodrigues. **Adição de Polímero em Cimento Asfáltico de Petróleo**. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Graduação em Química. 2003.

MARTINHO, F.G.; MONTENEGRO, F.G.; TRAJANO, L. **Coperflex Asphalt – uma combinação asfalto e elastômero**. Anais do 12º Encontro de Asfalto, v. 2, p. 281-291, 1994

MOTTA, L. M. G. PINTO.S.(1994). **O uso de ensaio estáticos na definição de parâmetros de comportamento das misturas asfálticas**. 12º Encontro de asfalto.

ODA, S.; FERNANDES JÚNIOR, J.L; **Borracha de pneu como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação**, Acta Scientiarum, V. 23, nº. 6, 2001

PETROBRAS. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros / Liedi Bariani Bernucci...** [et al.]. – Rio de Janeiro, ABEDA, 2006.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. S. (2002). **Pavimentação Rodoviária: Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. 2º edição, Copiarte, Rio de Janeiro.

Pouzada A.S.; Bernardo C.A., **“Introdução à Engenharia de Polímeros”**, Universidade do Minho, Braga, 1983

SPECHT, Luciano Pivoto; **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de Borracha reciclada de pneus**, Tese de Doutorado; UFRS; Porto Alegre – RS, 2004.

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. Porto Alegre, tese de doutorado. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

SPECHT, Luciano Pivoto; Ceratti, Jorge Augusto Pereira; Paludo, Ilda; **Estudo Lobaratorial da adesividade e do desgaste de misturas asfálticas com borracha**; XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes; Florianópolis – SC.

ZANZOTTO, L.; KENNEPOHL, G.J.; **Development of rubber and asphalt binders by depolymerization and devulcanization of scrap tires in asphalt**. Transportation ResearchRecord 1530, p. 51-58. 1996.