



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS - PUC
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO E
PLANEJAMENTO TERRITORIAL (MDPT)

GILBERTO CÂNDIDO RODRIGUES MENDES

**VIABILIDADE DO ASFALTO BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO URBANA:
ESTUDO DE CASO NO RESIDENCIAL JARDIM DO CERRADO III, GOIÂNIA,
GOIÁS**

GOIÂNIA
2019

GILBERTO CÂNDIDO RODRIGUES MENDES

**VIABILIDADE DO ASFALTO BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO URBANA:
ESTUDO DE CASO NO RESIDENCIAL JARDIM DO CERRADO III, GOIÂNIA,
GOIÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* do Mestrado Acadêmico em Desenvolvimento e Planejamento Territorial – MDPT – da Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC-GO –, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Planejamento Territorial.

Linha de Pesquisa: Planejamento Urbano/Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Guerra de Rezende Guedes.

GOIÂNIA

2019

M538v Mendes, Gilberto Candido Rodrigues

Viabilidade do asfalto borracha na pavimentação urbana
/ estudo de caso no Residencial Jardim do Cerrado III, Goiânia,
Goiás / Gilberto Candido Rodrigues Mendes.-- 2019.
85 f.: il.

Texto em português, com resumo em inglês
Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica
de Goiás, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em
Desenvolvimento e Planejamento Territorial, Goiânia, 2019
Inclui referências: f. 79-84

1. Planejamento urbano - desenvolvimento sustentável
- Goiânia (GO). 2. Pavimentos - Goiânia (GO). 3. Pavimentos
de borracha - pneus - reaproveitamento - Goiânia (GO).
I.Guedes, Leonardo Guerra de Rezende. II.Pontifícia
Universidade Católica de Goiás. III. Título.

CDU: Ed. 2007 -- 625.878(043)

GILBERTO CÂNDIDO RODRIGUES MENDES

**VIABILIDADE DO ASFALTO BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO
URBANA: ESTUDO DE CASO NO RESIDENCIAL JARDIM DO CERRADO
II, GOIÂNIA, GOIÁS**

Dissertação do Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, defendida como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Planejamento Territorial. Aprovada em 14/03/2019 pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



Dr. Leonardo Guerra de Rezende Guedes
Orientador – PUC Goiás



Dra. Cintia Neves Godoi
Examinadora externa – UEG



Dr. Antônio Pasqualetto
Examinador interno - PUC Goiás

RESUMO

As rodovias e ruas pavimentadas são necessárias para os transportes terrestres, é por meio destas que se dá o crescimento econômico. Em um país como o Brasil, que transporta 62% de sua carga e 96% de seus passageiros por estradas, a melhoria do sistema viário é urgente não apenas para quem exerce a atividade do transporte, mas para todos os setores da economia e da sociedade em geral, que delas dependem para alcançar níveis satisfatórios de desenvolvimento. A escolha por essa temática decorreu da busca por medidas sustentáveis e de melhor custo na área de engenharia, e, nesse contexto tem inserido o reaproveitamento da borracha dos pneus, já que o pavimento do tipo convencional apresenta custos elevados e em alguns casos de baixa qualidade, sendo importante assim que se busquem novas alternativas com menor custo benefício. O presente estudo consistiu em realizar uma análise comparativa de custos entre asfalto de borracha e asfalto convencional, apresentando as vantagens, desvantagens e viabilidade econômico-financeira na cidade de Goiânia. A partir de uma pesquisa descritiva e um estudo de caso. O estudo apresentou as melhorias alcançadas com o uso do asfalto emborrachado na durabilidade, no custo de manutenção e na sustentabilidade da quantidade de CO₂, deste modo encoraja-se a administração pública, os técnicos da área, à adotarem o uso do Asfalto Modificado por Borracha (AMB). Foi apresentado que o pavimento agrega maior ductilidade à baixa temperatura e maior consistência a alta temperatura, características essas que afetam na redução de custos de manutenção/custos finais, uma vez que suportará maior diferenciação climática em relação ao pavimento convencional.

Palavras-chave: Pavimentação, pneus inservíveis, asfalto de borracha, viabilidade.

ABSTRACT

The highways and paved streets are necessary for the terrestrial transports, it is through these that gives the economic growth. In a country like Brazil, which carries 62% of its cargo and 96% of its passengers by road, the improvement of the road system is urgent not only for those who carry out the transport activity, but for all sectors of the economy and society in general, depend on them to achieve satisfactory levels of development. The choice for this theme was the search for sustainable measures and better cost in the engineering area, and, in this context has inserted the reuse of tire rubber, since conventional pavement has high costs and in some cases low quality, being important as soon as new alternatives with less cost benefit are looked for. The present study consists of performing a comparative cost analysis between rubber asphalt and conventional asphalt, presenting the advantages, disadvantages and economic-financial viability in the city of Goiânia. The study presented the improvements achieved with the use of rubberized asphalt in the durability, maintenance cost and sustainability of the amount of CO₂ ceased to be released in nature, thus encouraging public administration, area technicians, adopting the use of Rubber Modified Asphalt (AMB). The pavement adds ductility to lower temperatures and higher consistency at high temperatures, which affect the reduction of maintenance costs / final costs, since it will support greater climate differentiation compared to conventional pavement.

Keyword: Paving, unserviceable tires, rubber asphalt, feasibility.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Asfaltos modificados.	32
Figura 2: Asfaltos modificados.	33
Figura 3: Asfaltos modificados.	34
Figura 4: Asfaltos modificados.	34
Figura 5: Asfaltos modificados.	35
Figura 6: Linha de produção pelo processo de moagem – Ambiente na empresa ecobaldo.	39
Figura 7: Composição dos pneus radiais para automóveis.	40
Figura 8: Esquema de produção do AMB pelo processo.	45
Figura 9: A incorporação da borracha ao asfalto é realizada em reatores que promovem a modificação química e física do ligante.	47
Figura 10: Aspecto do ligante: TB.	47
Figura 11: Porcentagem de trincas versus idade de serviço em AMB e HMA.	51
Figura 12: Localização de Goiânia.	53
Figura 13: Mapa de localização do Residencial Jardim do Cerrado III.	54
Figura 14: Pavimentação asfáltica convencional no Residencial Jardim do Cerrado III.	55
Figura 15: Usina marca Ciber, modelo SUPER UA2 da Secretaria de Obras.	60
Figura 16: Laboratório de Análises de Materiais da SEINFRA.	61
Figura 17: Usina de asfalto da fornecedora terceirizada.	64
Figura 18: Laboratório de campo da fornecedora, instalado junto à usina.	65
Figura 19: Esquema do reaprovitamento de pneus.	71
Figura 20: Imagem ilustrativa da proporção de pneus usados.	71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Redução de ruído: asfalto borracha x asfalto convencional.	41
Tabela 2: Relação de Ruas e Avenidas com tráfego pesado e capa em CBUQ - e=3,0 cm.	56
Tabela 3: Relação de Ruas e Avenidas com tráfego médio/leve e capa em TSD - e=2,5 cm.	56
Tabela 4: Relação de Ruas e Avenidas com tráfego muito leve e capa em TSD - e=2,5 cm.	57
Tabela 5: Preço médio mensal ponderado praticado pelos distribuidores de produtos asfálticos (R\$/kg) - CAP MODIFICADO POR BORRACHA DE PNEU AB22.	57
Tabela 6: Preço médio mensal ponderado praticado pelos distribuidores de produtos asfálticos (R\$/kg) - CIMENTOS ASFÁLTICOS CAP-50-70	58
Tabela 7: Grandezas e quantitativos das vias a serem pavimentadas.....	66
Tabela 8: Cálculo da quantidade de CBUQ a ser utilizada.	67
Tabela 9: Custos de usinagem/aplicação e custos totais.....	68
Tabela 10: Diferença de custo para uso do CBUQ com borracha substituindo o convencional.....	69
Tabela 11: Custo de execução e manutenção do asfalto durante sete anos.	70
Tabela 12: Peso de pneus reaproveitados.	73
Tabela 13: Quantidade de CO ₂	74
Tabela 14: Valor economizado de CO ₂	74

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADOT	<i>Arizona Department of Transportation</i>
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AMB	Asfalto Modificado por Borracha
CEF	Caixa Econômica Federal
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CO ₂	Dióxido de carbono
CH ₄	Metano
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CFC's	Clorofluorcarbonos
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagens
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases Efeito Estufa
HMA	<i>Hot Mix Asphalt</i>
LPAV	Laboratório de Pavimentação
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
P + L	Produção Mais Limpa
N ₂ O	Óxido Nitroso
RUMAC	<i>Rubber Modified Asphalt Concrete</i>
SBS	Estireno Butadieno Estireno
SEINFRA	Secretaria Municipal de Infraestrutura e Obras Públicas
SAMI	<i>Stress Absorbing Membrane Interlayer</i>
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
t	Tonelada

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO 1 – ESPAÇO URBANO E O TRANSPORTE	15
1.1 Análise do espaço urbano	15
1.1.1 Cidades e o planejamento urbano com foco no meio ambiente	16
1.2 Processo de utilização do pneu na pavimentação das cidades contemporâneas	19
1.2.1 Consequência da destinação dos pneus usados no meio ambiente	21
1.3 Produção Mais Limpa (P+L) como contribuição ao meio ambiente	23
CAPÍTULO 2 - Pavimentações asfálticas	25
2.1 Definição de asfalto convencional.....	25
2.2 Pavimento sustentável	27
2.2.1 Asfalto de borracha.....	28
2.2.1.1 <i>História do asfalto borracha</i>	36
2.3 Processo de obtenção da borracha.....	38
2.3.1 Processo ambiente.....	38
2.3.2 Processo criogênico	39
2.4 Benefícios do uso do asfalto–borracha	40
2.4.1 Métodos de Incorporação da Borracha ao Ligante.....	41
2.4.1.1 <i>Processo úmido</i>	42
2.4.1.2 <i>Mistura contínua em usina (continuous blend)</i>	43
2.4.1.3 <i>Terminal Blend</i>	45
2.4.2 Processo seco (Via Seca)	48
2.4.3 Uso de diluentes (óleo extensor) na mistura	48
2.4.4 Durabilidade	49
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	52
3.1 Desenho da pesquisa.....	52
3.2 Local e delimitação da área.....	53
3.2 Coleta de informações, métodos encontrados e materiais utilizados	55
3.2.1 Variáveis.....	55
CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO NO RESIDENCIAL JARDIM DO CERRADO III	59
4.1 Viabilidade Técnica	59
4.2 Produção de CBUQ.....	64
4.3 Viabilidade econômico-financeira	65
4.3.1 Quantidade de pneus reaproveitados.....	70
4.4 Análise do pavimento sustentável	72
CONCLUSÃO	76
REFERÊNCIAS	79

INTRODUÇÃO

O asfalto é importante para a estrutura de uma cidade, é necessário que ruas estejam asfaltadas, para que os usuários tenham conforto ao dirigir ou como passageiro. O asfalto precisa dar segurança e estabilidade aos veículos que transitam nas vias. O inadequado estado de conservação do asfalto em uma via compromete o tráfego. Portanto, ter um asfalto conservado sem buracos, bacias, trincas, fadiga ou trilha de rodas, é essencial para a fluidez do tráfego, segurança e bem estar dos que nela transitam. Além da pavimentação influenciar na economia em aspectos socioambientais e na saúde da população de determinada região, positiva ou negativa dependendo apenas se essa região é contemplada ou não pela pavimentação (BERNUCCI et al., 2010).

O asfalto ou betume é obtido como resíduo da destilação do petróleo bruto, disperso em água, gerando uma emulsão asfáltica. Este cimento asfáltico é utilizado como emulsor de uma mistura (pedra, concreto, metal), com intenso poder agregante, gerando características de coesão, insolubilidade e isolamento térmico e acústico. Foi utilizado desde o início do século passado na pavimentação de estradas, e a partir de 1950, com seu uso na pavimentação da rodovia Dutra, introduzido à realidade brasileira. Hoje tem sua imagem ligada ao progresso e ao desenvolvimento (ORSI; SIMON, 2015, p. 06).

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2007) num país como o Brasil, que transporta 62% de sua carga e 96% de seus passageiros por estradas, a melhoria do sistema viário é urgente não apenas para quem exerce a atividade do transporte, mas para todos os setores da economia e da sociedade em geral, que delas dependem para alcançar níveis satisfatórios de desenvolvimento. Infelizmente muitas estradas estão comprometidas no nosso país. É possível notar que muitos defeitos começam a aparecer em um curto espaço de tempo.

Para Neves Filho (2004) os principais tipos de defeitos que ocorrem nos pavimentos são as trincas por fadiga e o acúmulo de deformação permanente nas trilhas de rodas. Uma das causas da ocorrência acentuada de deformação permanente nas trilhas de rodas é a baixa resistência ao cisalhamento das misturas, que depende da susceptibilidade térmica do ligante asfáltico e do esqueleto dos agregados minerais.

Com o crescimento da produção de pneus que tem a sua vida útil limitada, o pneu passa ser inservível, mas o descarte destes no meio ambiente traz muitos

danos para a natureza, assim o reaproveitamento na pavimentação asfáltica, deixando de ser lançado ou queimado no meio ambiente, reduzindo a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) lançado na natureza.

O primeiro impacto positivo no uso de borracha em misturas asfálticas está no ambiente, pois a restauração de pavimento com esse tipo de asfalto pode usar até mil pneus por quilômetro, o que reduz o depósito desse material em aterros ou fora deles. E, por meio da Lei Federal nº 12.305/2010 institui-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que entre as suas diretrizes trata da destinação ambiental dos descartes de pneus inservíveis, nos seguintes termos:

Art. 33. São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

- I) agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas;
- II) pilhas e baterias;
- III) pneus;
- IV) óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
- V) lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;
- VI) produtos eletroeletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2010).

A produção do asfalto borracha teve início na década de 40, quando a Companhia de Reciclagem de Borracha, U.S. *Rubber Reclaiming Company*, introduziu no mercado a Ramflex™, produto composto por material asfáltico e borracha desvulcanizada reciclada. Em 1845, o norte-americano Charles Goodyear descobriu acidentalmente que a borracha cozida com enxofre a altas temperaturas mantinha as condições necessárias de elasticidade para fabricação de pneus. A partir de então os pneus de borracha foram substituindo as rodas de madeira e ferro, usadas em carroças e carruagens, o que tornou o transporte mais confortável, seguro e funcional (BERNUCCI, et al., 2010).

Mais de 160 anos após a descoberta que ajudou a mudar a história da sociedade moderna, o pneu passou a ser motivo de preocupação para o poder público e para os ambientalistas, devido ao seu descarte inadequado, visto que quando se tornavam inservíveis eram lançados em locais impróprios, resultando em risco ao meio ambiente e à saúde pública, pelas seguintes razões:

1. A principal matéria-prima dos pneus, a borracha vulcanizada, não se

degrada facilmente (estima-se em 600 anos o prazo necessário para um pneu se decompor);

2. A queima ou incineração de pneus a céu aberto, em geral para aproveitamento do aço dos pneus radiais, produz um resíduo oleoso que contamina o solo e o lençol freático, além da intensa fumaça preta que contém dióxido de enxofre, hidrocarbonetos e outros produtos químicos responsáveis pela poluição do ar;
3. Os pneus lançados nos rios e lagoas represam a água e assoreiam os leitos;
4. Os pneus também são um problema de saúde pública, pois, acumulam água das chuvas, formando ambientes propícios à disseminação de doenças como a dengue e a febre amarela; e
5. A disposição de pneus em aterros sanitários tem se mostrado inadequada, por apresentarem baixa compressibilidade, reduzindo a vida útil dos aterros existentes e comprometendo a sua estabilidade.

Como dito acima, com o surgimento dos pneus de borracha as rodas de madeira e ferro usadas em carroças e carruagens foram substituídas. Esse avanço foi possível quando o norte-americano Charles Goodyear inventou o pneu ao descobrir o processo de vulcanização da borracha, quando deixou o produto misturado com enxofre cair na chapa quente do fogão. Sua invenção revolucionou o mundo (BERNUCCI, et al., 2010).

Entre as suas potencialidades industriais, além de ser mais resistente e durável, a borracha absorve melhor o impacto das rodas com o solo, o que tornou o transporte muito mais prático e confortável. Porém, juntamente com a revolução no setor dos transportes, a utilização dos pneus de borracha trouxe consigo a questão do impacto ambiental, uma vez que a maior parte dos pneus descartados são abandonados em locais inadequados, causando grandes transtornos pra a saúde e a qualidade de vida.

No Brasil, cerca de trinta milhões de pneus são descartados todos os anos. Nos Estados Unidos da América, os números são ainda mais impressionantes: o passivo fica em torno de três bilhões de carcaças, sendo que a cada ano são geradas mais trezentos milhões de novas carcaças (BERTOLLO; FERNANDES; SCHALCH, 2002).

O presente estudo visa apresentar as melhorias alcançadas com o uso do asfalto emborrachado na sustentabilidade e na durabilidade, custo de manutenção nos pavimentos urbanos e evitar o lançamento de CO₂ no meio ambiente, deste modo encorajar a administração pública, os técnicos da área, a adotarem o uso do AMB (BERNUCCI et al., 2010).

Os pneus quando se tornam inservíveis, acarretam uma série de problemas sanitários e ambientais, entre eles: servem como local para procriação de mosquitos e outros vetores de doenças; representam um risco constante de incêndio; com a queima inapropriada provoca a emissão de CO₂, contamina o ar devido a fumaça altamente tóxica e deixa como resíduo um óleo capaz de contaminar o lençol freático; e quando depositados em aterros sanitários dificultam a compactação reduzindo significativamente a vida útil dos aterros.

Dessa forma, esse estudo se justifica na medida em que a composição asfáltica desenvolvida com pneus descartados nas obras de recapeamento das rodovias brasileiras tendem a trazer benefícios ao meio ambiente, como a redução da impermeabilização das rodovias e o descarte inadequado da borracha, além de possibilitar uma cobertura 16 vezes mais resistente do que a usada com o material convencional, por ser a borracha mais elástica e ter o processo de fadiga mais lento. (BERTOLLO; FERNANDES; SCHALCH, 2002).

Ademais, a utilização de uma massa asfáltica nos moldes proposto tem como objetivo melhorar a qualidade do transporte terrestre e conseqüente o desenvolvimento econômico das regiões contempladas por vias com pavimentação de boa qualidade, visando assim minimizar prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

Sabe-se que esse asfalto borracha foi adotado nos estados Rio de Janeiro e São Paulo. A garantia de uma superfície aderente aos pneumáticos dos veículos também reflete em redução nos custos operacionais das vias e rodovias, pois os acidentes de trânsito são minimizados, tais custos possuem matizes que os tornam, muitas vezes, de difícil ponderação, emanando reflexos para a sociedade como um todo (BERTOLLO, et al. 2000).

Contudo, julga-se pertinente indagar: Quais são os principais ganhos na utilização do asfalto borracha no Residencial Jardim do Cerrado III em Goiânia?

A hipótese que ora se apresenta é que a partir da pavimentação asfáltica de borracha pode absorver, parcialmente, os pneus de descarte desde que as cadeias

de processamento e beneficiamento assegurem a demanda de mercado. E, mostrar que se consegue diminuir o volume de borracha decorrente de pneus inservíveis, lançado no meio ambiente, misturando a mesma no asfalto convencional, melhorando seu desempenho, e a vida útil dos pavimentos.

A pesquisa tem como objetivo consistiu em realizar uma análise comparativa de custos entre asfalto de borracha e asfalto convencional, apresentando as vantagens, desvantagens e viabilidade econômico-financeira na cidade de Goiânia, e como objetivos específicos, realizar comparativo do asfalto convencional e do asfalto de borracha, mostrando as vantagens e desvantagens; comprovar a viabilidade econômica do uso do AMB na pavimentação urbana no residencial em Goiânia-GO, Brasil; descrever a queima de pneus e vetores; e por fim apresentar a qualidade do asfalto em relação à sustentabilidade e a diminuição de CO₂ lançado na natureza.

A presente dissertação está estruturada em quatro capítulos, descritos a seguir.

O primeiro capítulo contém os conceitos e definições sobre análise do espaço urbano; cidades e o planejamento urbano com foco no meio ambiente; processo de utilização do pneu na pavimentação das cidades contemporâneas; consequência da destinação dos pneus usados no meio ambiente e produção mais limpa (p+l) como contribuição ao meio ambiente.

No segundo capítulo foi abordado a definição de asfalto convencional; pavimento sustentável; benefícios do uso do asfalto-borracha, tratando dos métodos de incorporação da borracha ao ligante; *processo úmido*; *mistura contínua em usina (continuous blend)*; *terminal blend*; processo seco (via seca), uso de diluentes (óleo extensor) na mistura e a durabilidade da pavimentação asfáltica.

O terceiro capítulo descreve os materiais e métodos utilizados na análise de viabilidade técnica e econômico-financeira do processo do asfalto borracha, e a quantidade de pneus reaproveitados, a partir de um estudo de caso realizado e na cidade de Goiânia.

No quarto e último capítulo são apresentadas as análises dos resultados coletados em campo, e as questões técnicas da substituição do CBUQ convencional. Em seguida são apresentadas as conclusões e considerações finais contendo proposta para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 1 – ESPAÇO URBANO E O TRANSPORTE

O referido capítulo trata de descrever no primeiro momento sobre o espaço urbano voltado para produção mais Limpa, com foco nas cidades, no planejamento urbano e no transporte, e em seguida, os conceitos relacionados às pavimentações asfálticas.

1.1 Análise do espaço urbano

Certamente não há um tópico mais central para o estudo do urbanismo do que a forma urbana. A noção de urbanismo, afinal só pode ser definida em termos relativos isto é, pelas diferenças e tipo, padrão e intensidade de desenvolvimento em relação às áreas não urbanas. Embora muito tem sido escrito sobre a forma urbana ou expansão, sua manifestação indesejável lá permanece considerável ambiguidade sobre os efeitos da forma urbana nos aspectos sociais, econômicos e resultados ambientais. Além disso, o progresso para um crescimento mais inteligente ou um novo urbanismo só pode ser feito com uma compreensão mais completa da forma urbana e medidas políticas são necessárias (GOITIA, 2005).

Segundo Meneses (2008), as discussões sobre as cidades são desprovidas de medição que seja capaz de se comunicar com a linguagem normativa do crescimento inteligente. Muito do vocabulário do crescimento inteligente e particularmente o novo urbanismo, baseia-se em conceitos que exigem novos métodos de medição.

Com efeito, a medição, avaliação e a representação do espaço urbano não acompanharam o ritmo de sofisticação das novas ideias sobre como mudá-lo. Meneses (2008) afirma que os novos urbanistas discutem a necessidade de reverter as monoculturas, aumentar a complexidade, a diversidade e promover a acessibilidade, ou desenvolver de acordo com os princípios do transepto. No entanto, sem as ferramentas para efetivamente medir e representar essas ideias essenciais para a implementação - os conceitos se revelam intangíveis. E, nota-se que o estudo da cidade é um tema tão sugestivo como amplo e difuso. Os

subcapítulos organizados a seguir propõem reflexões sobre o contexto, o surgimento das cidades e o planejamento urbano em relação ao asfalto e a cidade sustentável.

1.1.1 Cidades e o planejamento urbano com foco no meio ambiente

A respeito da dificuldade em se definir o termo cidade, Gehl e Gemzoe (2002) argumentam que mesmo diante de tantas definições, algumas das quais, mesmo que não sejam contraditórias, pelo menos não tem relação com outras igualmente respeitáveis. Para o autor não se trata de erro, mas sim do fato de estas definições se referirem à conceitos de cidade intermitente opostos ou a cidades que são constitutivamente diferentes.

Meneses (2008) relata que, embora a sociedade romana tenha sido fundamentalmente agrícola, ela desempenhava um papel central na vida de seu povo. Os romanos não eram os únicos a ver a cidade dessa maneira. A palavra grega *polis*, muitas vezes utilizada como sinônimo de "cidade-Estado", a *polis* era política, assim como os gregos imbuíam a ideia da cidade com um relevante significado. A Teoria política de Aristóteles de que o homem é "por natureza um animal político", assim, como a família foi vista no governo geral. Mais do que isso, no entanto, Aristóteles viu a *polis*, em essência a cidade, como o modelo ideal para o estado de natureza.

De acordo com Gehl e Gemzoe (2002) no século XX foi dada uma nova importância ao planejamento urbano moderno, um nova forma de cidade apareceu: a Nova Cidade. Na Romênia, o experimento de "novas cidades" começaram em uma escala maior no início do período socialista, nos anos 50. No entanto, a ideia de reestruturação urbana que chegou à Romênia no final do século XIX, resultou na quase completa transformação de cidades no Danúbio. Estas foram as primeiras cidades romenas planejadas pela frente por especialistas e, cuja reconstrução foi estreitamente controlada e supervisionada.

Para Goitia (2005) a ideia de "cidade nova" apareceu em tempos modernos, como uma reação ao que era percebido no momento como sendo problemático com os tipos de cidades existentes. Desde o final do século XVIII¹ e,

¹ Cantillon, 1928, p. 65 (*apud* GOITIA, 1994, p. 8) "imagina a origem de uma cidade da seguinte maneira [...] se um príncipe ou um senhor fixa a sua residência num lugar agradável, e se outros senhores aí acorrem para se verem e conviverem em agradável sociedade, este lugar converter-se-á numa cidade".

especialmente, no século XIX, as cidades europeias experimentaram um período de extrema urbanização, anteriormente inédita no curso da história. Com isso a urbanização rápida sem precedentes teve uma série de problemas, que invadiram as cidades modernas. Surgiram as chamadas "favelas", locais povoados por pessoas que viviam em condições precárias nas cidades, como os trabalhadores da indústria, famílias com muitas crianças. O desemprego e a poluição tornaram-se cada vez mais presente nos mapas das cidades. A superlotação foi sentida cada vez mais intensamente. O tipo tradicional de habitação e as áreas construídas existentes tornaram-se gradualmente insuficientes e abaixo dos padrões exigidos pela vida moderna.

Segundo Gehl (2015) o conceito de uma cidade inteligente e sustentável passou recentemente a dominar as agendas políticas de sustentabilidade e os discursos acadêmicos no Brasil. Esse tipo de cidade é a convergência de várias tendências internacionais predominantes: a devolução de padrões ambientais internacionais de governança ao nível local; o uso crescente de informação e comunicação, tecnologias no planejamento e desenvolvimento urbano; e a descentralização da economia e a formulação de políticas para os governos municipais.

Gehl e Gemzoe (2002) “[...] uma cidade sustentável é aquela que promove o uso de TIC e parcerias público-privadas colaborativas, como o principal meio de equilibrar o crescimento econômico com baixo carbono, desenvolvimento sustentável”. Este conceito está no potencial significativo para o transporte urbano e sistemas, capaz de conduzir mudanças comportamentais nos cidadãos, bem como, possibilitar mais decisões sobre os padrões de estilo de vida e consumo.

Assim, o conceito de cidade sustentável tem sido criticado por alguns pesquisadores das ciências sociais por sua ênfase excessiva na tecnologia para reformular os desafios da sustentabilidade urbana como mercado oportunidades para empresas privadas e corporações.

Neste trabalho, o conceito de "nova cidade" é usado com o significado de uma cidade que emergiu diretamente, construída seguindo um plano estabelecido e sob supervisão de especialistas. Para Goitia (2005), o surgimento de "novas cidades" é um evento típico dos tempos modernos e especialmente do século XX. As cidades são lugares absolutamente concretos, em que ao se tentar entender seu

desempenho, as boas informações vêm da observação do que ocorre no plano palpável e concreto, e não no plano metafísico.

Atualmente, a conscientização pública é de se construir cidade e manter sua mobilidade em um nível elevado. Como Gehl (2015) escreveu, serve para as pessoas se expressarem, brincarem e se exercitarem no espaço da cidade, o objetivo de criar cidades vivas e saudáveis. Este discurso de cidades saudáveis é relativamente novo e reflete mudanças na sociedade.

Como as cidades ou centros urbanizados são grandes ecossistemas artificiais, o uso de tecnologias adequadas e adaptadas para lidar com os problemas ambientais relacionados com a urbanização devem ser considerados, que confirme, assim, essa ruptura de paradigma estabelecido e o começo de uma nova trajetória tecnológica (JACOBS, 2014).

É no contexto das transformações científicas ocorridas em meados de 1960 e 1970, que muitas das bases teóricas de diversos conhecimentos científicos começaram a ser questionadas, tendo como referencial o crescente reconhecimento de expressivos impactos ambientais associados aos processos de produção e reprodução da sociedade industrial que não foram ainda estancados nem pelo desenvolvimento científico e muito menos o tecnológico.

Por conta dessas premissas, tanto as ciências exatas quanto sociais e/ou as ciências da terra vem alterando e modificando de alguma maneira seus paradigmas para se adequar e tentar responder as incertezas inerentes à relação entre sociedade e ambiente natural, e, neste sentido, a incerteza internalizada decorre da própria imprevisibilidade dos fenômenos observados na natureza que nos impede de considerar qualquer processo de intervenção sob apenas um aspecto ou enfoque. Sob pena, de desconsiderar a incerteza como algo imanente e indissociável dos processos naturais e sociais dentro dos conflitos observados nas cidades e centros urbanos pela utilização desenfreada dos meios sustentáveis. Após compreendermos a forma de organização das cidades, é notório a necessidade de análise do processo de utilização de pneus no meio de transporte.

1.2 Processo de utilização do pneu na pavimentação das cidades contemporâneas

As estradas sempre tiveram um objetivo, transporte nas cidades modernas, segundo Bernucci (*et al*, 2007) “o histórico da utilização de estradas é extenso, foram criadas a mais de 2000 a.C algumas para fins de simples transportes de suprimentos e outras com finalidades civis, como para a construção das pirâmides do Egito”. Estas primeiras estradas foram basicamente de terra prensada sem a utilização de muita ciência na sua construção. A primeira civilização a utilizar uma pavimentação estruturada foi a romana durante o império (27a.C – 476d.C), criou-se uma rede de estradas feitas de agregados principalmente cascalho que interligavam as principais cidades do império.

Em questão de pavimentação a primeira estrada a utilizar alguma tecnologia próxima da atual foi a Babilônia entre 625 a 604a.C, não se sabe ao certo o composto utilizado, porém, acredita-se que foi alcatrão. Este aglutinante também foi utilizado em pavimentações na Mesopotâmia e no próprio Egito neste último caso foi empregado na impermeabilização de tanques de líquidos.

De maneira geral, o asfalto deriva de “*asphaltu*” ou “*sphallo*” que significa esparramar em latim, do passado até os dias atuais, o asfalto tem sido usado como cimento, impermeabilizante e revestimento durante a evolução da sociedade (ABREU, OLIVEIRA, 2012). Atualmente, existem outras tecnologias para as demais áreas porém, o asfalto vem sendo utilizado ainda como revestimento, pois, é barato e se aplicado e utilizado corretamente tem uma vida longa.

No Brasil o asfalto demorou a ser implementado a primeira estrada compactada (está ainda sem aglutinante) foi apenas em 1661, na Estrada do Mar, a primeira estrada utilizar asfalto de petróleo foi a Rodovia Federal Rio-São Paulo em 1861, a partir daí se iniciou o processo de pavimentação das rodovias brasileiras que só foi dar um grande salto durante o governo militar, no fim deste o Brasil contava com 111.000 km de rodovias pavimentadas e a tão famosa ponta Rio-Niterói (BERNUCCI *et al*, 2007, p.19).

Em 2007, levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontou que o Brasil tem mais de 219.000 km de estradas pavimentadas, pode-se concluir que a metade do asfalto brasileiro é anterior ao ano de 1990, podendo-se inferir que essas pavimentações estão com a vida útil

extremamente elevada, por não conter uma tecnologia atual, isto pode justificar a situação atual dos pavimentos no território nacional.

Segundo o IBGE, o Brasil é o 5º maior país em extensão territorial, com dimensão de 8.515.759,090 km². Para o desenvolvimento de um país o processo de transporte em geral está ligado ao seu crescimento, e o Brasil escolheu historicamente através de políticas públicas a modalidade do transporte rodoviário como o principal meio o sistema de infraestrutura de logística sendo este aplicado como meio principal de deslocamento de pessoas e produtos (IBGE, 2018).

Assim, de acordo com a Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2017) a malha nacional de rodovias pavimentadas é composta por aproximadamente cerca de 212.886,00 km, sendo 12,3% de malha rodoviária brasileira. Já a mesma confederação realizou pesquisa em 2015 a partir do levantamento realizado pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2015) analisando o sistema ferroviário brasileiro, e obteve 29.291 km, mostrando então a disparidade no traslado brasileiro. O que veio a se tornar um problema no ano de 2018, com a greve dos caminhoneiros, mas, devido a atual situação brasileira se torna um árduo processo imaginar uma mudança na logística nacional por fatores de investimento, além de serem processos com alta complexidade e que demandam tempo e o número de desemprego que este fator acarreta (CNT, 2017).

No Brasil, o sistema de transporte rodoviário é considerado o principal modal de transporte, e dificilmente será alterado nos próximos anos, assim, tem-se um problema ambiental causado pelo descarte de forma inadequada dos pneus inutilizáveis que em sua maioria até os presentes dias tem um descarte impróprio ocorrendo por diversas vezes em terrenos baldios, rios, encostas de rodovias, às vezes acabam indo para aterros e lixões (CNT, 2017).

Os pneus inutilizados possuem um longo processo de decomposição, estimado em 600 anos, sendo imensuráveis os danos que podem causar ao ecossistema, além do fato de que o descarte de forma inadequada está ligado diretamente à saúde pública, pois, este pode vir a se tornar criadouro de mosquitos que podem disseminar doenças. No país, sobre o assunto o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) apresentou Resolução n. 416, de 30 de setembro de 2009, que trata da prevenção e degradação ambiental, causadas por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências (BRASIL, 2009).

O aumento constante do tráfego e de carga exige desenvolvimento repensado no dimensionamento, construção e manutenção da infraestrutura rodoviária. Logo, é necessário um planejamento focado em proporcionar e certificar segurança por intermédio da sustentação das ações do tráfego e por consequência, dos agentes climáticos os quais a estrutura está exposta (CNT, 2017).

Sobre os pneus inservíveis, o desperdício de pneus pertence ao desperdício de borracha, e o descarte de resíduos de borracha é um dos sérios problemas que as pessoas estão enfrentando hoje. A fim de atender aos requisitos crescentes das propriedades do material, a borracha está se desenvolvendo em direção a alta resistência, resistência ao desgaste, estabilidade e resistência ao envelhecimento. Mas, ao mesmo tempo, causa o problema de que a borracha residual não pode ser degradada naturalmente por um longo tempo. Um grande número de resíduos de borracha é mais difícil de lidar do que a poluição por plásticos (poluição branca); por outro lado, desperdiça recursos (CERATTI; CRUZ; NUÑEZ, 2004).

O pneu é composto principalmente de borracha (incluindo borracha natural, borracha sintética), negro de fumo e uma variedade de aditivos orgânicos e inorgânicos (incluindo plastificantes, antioxidantes, óxido de enxofre e zinco, etc.). A pirólise de resíduos de pneus é um processo no qual as ligações insaturadas na cadeia principal de borracha se desfazem sob condições anaeróbicas ou anóxicas e a temperaturas apropriadas. Os produtos são principalmente monômeros, dímeros e fragmentos. Os produtos são então polimerizados em uma variedade de olefinas, e então as substâncias voláteis são removidas e o carbono sólido é formado. Energia combustível não condensável e carbono pirolítico, fio de aço, a composição do produto com o modo de pirólise, temperatura de pirólise e outras alterações são diferentes. A eliminação de sucata de pneus automotivos é um problema desafiador e diferentes processos de reciclagem foram propostos.

1.2.1 Consequência da destinação dos pneus usados no meio ambiente

O Brasil acredita que os pneus usados são criadouros de mosquitos portadores de doenças e liberam substâncias químicas nocivas quando queimadas, ameaçando a vida e a saúde humana. Portanto, o Brasil presta mais atenção à

reciclagem e ao tratamento inofensivo de resíduos de pneus (CERATTI; CRUZ; NUÑEZ, 2004).

Já em 2010, o Departamento de Meio Ambiente e Recursos Renováveis do Ministério do Meio Ambiente do Brasil emitiu um regulamento que diz que após um único pneu doméstico ou importado vendido no Brasil com uma massa de mais de 2 kg é usado para sucata, as empresas de vendas interessadas deve ser responsável pela reciclagem e pelo tratamento inofensivo, e a qualidade dos pneus usados que são reciclados e tratados de forma inofensiva não deve ser inferior a 70% do volume de vendas.

Formas inadequadas de disposição de pneus e suas consequências no ambiente, conforme descrito a seguir.

- Jogados em terrenos baldios, acumulam, por causa de seu formato, água da chuva no seu interior, servindo de local onde os mosquitos transmissores de doenças, como a dengue e a febre amarela, colocam seus ovos.
- Colocados em lixões, misturam-se com o resto do lixo, absorvendo os gases liberados pela decomposição, inchando e estourando. Acabam sendo separados e abandonados em grandes pilhas em locais abertos, junto a esses lixões.
- Queimados, podem causar incêndios, pois cada pneu é capaz de ficar em combustão por mais de um mês, liberando mais de dez litros de óleo no solo, contaminando a água do subsolo e aumentando a poluição do ar. Saiba então que isto é proibido pela legislação ambiental.

Manter os pneus inservíveis em lugar abrigado ou cobri-los para evitar que a água entre e se acumule. Antes de jogar pneus num aterro, furar as carcaças para deixar escorrer a água ou cortá-las em muitos pedaços, para diminuir seu volume. Deve se reciclar, porque: economiza energia – para cada meio quilo de borracha feita de materiais reciclados, são economizados cerca de 75% a 80% da energia necessária para produzir a mesma quantidade de borracha virgem (nova); economiza petróleo (uma das fontes de matéria-prima); reduz o custo final da borracha em mais de 50%. E reduzir o consumo dos pneus, mantendo-os adequadamente cheios e alinhados, fazendo rodízio e balanceamento a cada dez

mil quilômetros e procurar usar pneus com tiras de aço, que têm uma durabilidade 90% maior do que o normal (BEDUSCHI, 2014).

1.3 Produção Mais Limpa (P+L) como contribuição ao meio ambiente

O termo produção “mais Limpa” significa a aplicação contínua de estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, com o objetivo de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não-geração, minimização e reciclagem de resíduos gerados no processo produtivo. Esta abordagem induz inovação nas empresas, dando um passo em direção ao desenvolvimento econômico sustentável e competitivo, não apenas para elas, mas para toda região que abrangem (SANTOS, CABRAL, 2013).

Tecnologias ambientais convencionais trabalham principalmente no tratamento de resíduos e emissões gerados em um processo produtivo. São as chamadas técnicas de ‘fim-de-tubo’. A Produção mais Limpa pretende integrar os objetivos ambientais aos processos de produção, com o propósito de reduzir os resíduos e as emissões em termos de quantidade e periculosidade. São utilizadas várias estratégias visando a Produção mais Limpa e a minimização de resíduos (WU et al., 2013).

A preocupação com o impacto ambiental despontou nas últimas décadas, sendo alvo de alertas cada vez mais contundentes da comunidade científica internacional, especialmente quando se considera o uso indevido de recursos naturais (SANTOS, CABRAL, 2013).

Além do aumento econômico, deve existir uma preocupação com a proteção dos ecossistemas da Terra contra as ameaças decorrentes de nossas atividades (WU et al., 2013). As legislações que abordam as responsabilidades sobre resíduos gerados são catalisadores fundamentais para que haja maior engajamento e mudança nas empresas e nas atitudes, valores, paradigmas e práticas da sociedade (BONILLA et al., 2010).

As estratégias empresariais, que até então se resumiam à questão econômica, como competitividade, eficiência, lucratividade, etc., passam a introduzir em suas preocupações a variável ambiental, tornando-se, então, vital incorporá-la aos processos produtivos. Isso levou à necessidade de modificações no âmbito da gestão e da estrutura organizacional, reorientando objetivos e metas, visando a

internalização das questões ambientais nos modelos gerenciais (PIOTTO, 2003; RADONJIC, TOMINC, 2007).

CAPÍTULO 2 - PAVIMENTAÇÕES ASFÁLTICAS

2.1 Definição de asfalto convencional

É necessário compreender a definição de pavimentar uma via de circulação de veículos:

[...] é obra civil que enseja, antes de tudo, a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular (garantia de melhor conforto no deslocamento do veículo), uma superfície mais aderente (garantia de mais segurança em condições de pista úmida ou molhada), uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos, (garantia de melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais), seja qual for a melhoria física oferecida (BALBO, 2007, p.15).

Para Bernucci et al., (2010) o cimento asfáltico é especificamente obtido para apresentar características adequadas à pavimentação, podendo ser obtido por destilação do petróleo em refinarias ou do asfalto natural encontrado em jazidas. O cimento oriundo petróleo recebe o símbolo CAP enquanto o natural identificado por CAN.

O CAP é definido como um sistema coloidal constituído por micelas de asfaltenos dispersadas em um meio intermicelar oleoso, formado pela mistura de óleos aromáticos e saturados, chamados maltenos. Os métodos de separação do CAP em frações têm um ponto comum que é a separação da parte sólida do CAP (os asfaltenos) pela adição de um solvente que dissolva os maltenos e não dissolva os asfaltenos. Utiliza-se de uma propriedade fundamental dos sistemas coloidais, que é a destruição de sua estabilidade pela eliminação da camada de proteção das micelas, que faz com que elas se associem e precipitem pela ação da gravidade (BRULÉ, 1974, p. 47).

Segundo Castro (2010) acredita-se que a palavra asfalto seja uma derivação do antigo Acádico “*Asphaltic*” adotado pelos gregos na época de Homero com o significado de “tornar firme ou estável”. Até hoje o asfalto é empregado como cimento para aglutinar. Para o autor os primeiros asfaltos ocorriam na natureza e eram encontrados em camadas geológicas, ora como argamassas moles e prontamente utilizáveis, ora como veios negros duros e friáveis de formação rochosas. Estes passaram a ser conhecidos como asfaltos naturais e foram amplamente utilizados até o início do século XX.

Muitos destes asfaltos com o tempo, ou mesmo num curto espaço de tempo, apresentaram sintomas de degradação, devido à pouca qualidade dessa variedade natural, com isso vieram os defeitos nas estradas e ruas. Em função disso foram desenvolvidos estudos sobre o asfalto e suas variações visando o aprimoramento desta tecnologia, para melhorar a sua durabilidade em uso.

Segundo Fontes et al., (2009), durante a vida dos pavimentos flexíveis o aparecimento de degradações contribui para a perda de sua qualidade. Assim, a velocidade de deterioração de um pavimento varia, sobretudo em função dos seguintes fatores:

1. Condições ambientais;
2. Capacidade de suporte do pavimento e das camadas estruturantes sub-base, base;
3. Qualidade dos materiais utilizados e do processo construtivo;
4. Volume de tráfego;
5. Carga por eixo do caminhão.

De acordo com Oda (2000) para aumentar sua resistência, os cimentos asfálticos de petróleo podem ser modificados através de adições de asfaltos naturais, como gilsonita Estados Unidos da América (EUA), asfaltita (Argentina) e asfalto de Trinidad, ou ainda pela adição de fileres (cal, cimento, sílica, etc.), fibras (fibra de vidro, fibras de celulose e fibras poliméricas) ou por enxofre elementar. A modificação mais utilizada atualmente é através do uso de polímeros ou por borracha de pneus.

Para se ter uma boa conservação do asfalto, além de se utilizar bons materiais na execução e a técnica corretiva apropriada para cada tipo de patologia, é necessária uma manutenção preventiva do pavimento nas ruas e rodovias, que não só melhora o conforto e causa menor transtorno ao tráfego, como reduz consideravelmente o custo em relação à manutenção corretiva. O asfalto possui uma vida útil que pode ser de 5 a 30 anos, dependendo de condições executivas, fatores climáticos, volume do tráfego e do porte dos veículos que trafegam. É importante a tempestividade ao se identificar a necessidade de recuperação de um pavimento asfáltico, e também a escolha dos produtos e/ou soluções que melhor atendem a necessidade de manutenção em cada caso.

2.2 Pavimento sustentável

Define-se como pavimento sustentável aquele que consegue alcançar seus objetivos funcionais, enquanto em uma escala mais ampla: (1) atende às necessidades humanas básicas; (2) usa recursos efetivamente; e (3) preserva / restaura os ecossistemas circundantes (HENKES, RODRIGUES, 2015).

Etimologicamente, o termo sustentabilidade deriva de sustentável, “que pode sustentar-se”. Em termos ecológicos, veio a significar a consciência de que os recursos naturais são finitos e que se deve aproveitar ao máximo o que foi retirado como matéria prima, preservando-o e reutilizando-o. Trata-se de um movimento novo quando comparado ao da revolução industrial, que ocorreu a partir do século XVIII, acelerou-se no século XIX e criou raízes em diversas classes sociais e nações, pelo qual o que vem da natureza deve ser crescentemente explorado para enriquecer o homem. Pneus usados vêm-se tornando um problema mundial, e seu descarte crescendo ano a ano sem suficiente reciclagem (HENKES, RODRIGUES, 2015).

No entanto, pouca importância vem sendo dada ao descarte sustentável deles em muitos países, inclusive no Brasil, em que a Resolução CONAMA no n. 258/1999 organizou a terminologia nessa área relativa a pneus (BRASIL, 1999). Essa resolução foi idealizada considerando que o passivo ambiental devido aos restos de pneumáticos inservíveis dispostos inadequadamente traz sério risco ao ambiente e à saúde pública, com foco na proliferação de mosquitos, em especial o *Aedes aegypti* – transmissor da dengue, da chikungunya e da febre amarela.

O ciclo de vida útil do pneu tradicional é composto, geralmente, de cinco etapas principais, compreendidas por extração das matérias-primas, produção, consumo (uso), coleta de pneus usados e, posteriormente, gestão de resíduos gerados por esses pneus – observando que essa configuração depende das condições locais de cada país ou região para onde são produzidos ou vendidos. Portanto, são materiais que não possuem tempo determinado para decomposição. No Brasil, estimativas mostram um quadro preocupante, pois anualmente apontam um passivo ambiental negativo sobre o número de pneus descartados de forma irregular. Em São Paulo, em 2014, de acordo com o Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN), foram emplacados 186 mil carros (509/dia) e 45 mil motocicletas (123/dia) – 3,4% mais que em 2013. Assim, o número de carros

acumulou 5,63 milhões e o de motocicletas, 1,04 milhão (SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, 2012).

Neste contexto, o número de pneus descartados aumenta também proporcionalmente. A indústria da borracha é responsável por controlar a logística reversa dos pneus e destinar adequadamente todo tipo de material considerado inservível, isto é, incapacitado e inseguro para qualquer tipo de rodagem. Além de controlar, os fabricantes devem criar centrais de recepção do produto inservível, localizadas e instaladas de acordo com as normas ambientais vigentes, para armazenamento temporário e posterior destinação final ambientalmente segura e adequada.

O não cumprimento do disposto na Resolução n. 258 do CONAMA, segundo o art. 12–P.535, implicará sanções estabelecidas na Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 1998), e no Decreto n. 3.179, de 21 de setembro de 1999 (BRASIL 1999). Qualquer negligência com essas leis é considerada crime ambiental.

2.2.1 Asfalto de borracha

O asfalto borracha utiliza em sua composição pneus antigamente considerados resíduos a serem descartados, hoje sendo reciclados e incorporados aos ligantes asfálticos em obras de pavimentação e o reaproveitamento da borracha dos pneus, além de contribuir com o meio ambiente, oferece mais segurança para os usuários das vias rodoviárias e maior vida útil para o pavimento asfáltico (PANTAROTTO, 2007).

A borracha natural é um polímero obtido da seiva da seringueira, árvore de origem amazônica, mas que ganhou o mundo, principalmente pela rápida adaptação que sofreu quando, na virada do século, foi plantada com sucesso nas florestas tropicais asiáticas. Para sua extração são feitos pequenos cortes superficiais no caule da árvore, através dos quais o látex é captado. Depois de sua coagulação e secagem, este material é aquecido e posteriormente processado com outras substâncias químicas, transformando-se em borracha.

Com o passar do tempo, criou-se na Alemanha a tecnologia para fabricá-la artificialmente a partir do petróleo. Apesar de a borracha sintética ser muito parecida com a borracha natural, ela não é tão resistente ao calor e racha com a mudança de

temperatura muito rápida. Por isso, os artefatos são sempre constituídos de uma parcela da borracha natural.

No Brasil, a maior parte da borracha produzida industrialmente é usada na fabricação de pneus, correspondendo a 70% da produção. Além disso, ela pode ser empregada em calçados, instrumentos cirúrgicos (como tubos, seringas e outros produtos farmacêuticos, além de luvas cirúrgicas e preservativos).

Com a incorporação de borracha de pneus inservíveis em revestimentos asfálticos de pavimentos rodoviários e urbanos tem sido empregada há décadas no exterior. Pesquisas e aplicações de inúmeras técnicas utilizando borracha é uma realidade nos estados americanos do Arizona, Califórnia e Flórida (EUA). A tecnologia de reaproveitamento de borracha de pneus inservíveis encontra-se bastante difundida atualmente nos Estados Unidos. Somente no Estado do Arizona, mais de 3.300 quilômetros de rodovias foram construídos ou restaurados utilizando ligantes modificados com borracha. Contudo, é de suma importância fazer novos trabalhos mostrando o quanto de produtivo e eficiente é o asfalto borracha, visando também uma produção mais limpa em relação ao meio ambiente (PANTAROTTO, 2007).

O asfalto borracha começou na década de 40 nos USA, quando a companhia de reciclagem de borracha U.S. Rubber Reclaiming Company começou a vender borracha desvulcanizada reciclada, denominada Ramflex, como partículas para serem adicionadas em misturas asfálticas para pavimentos. Em 1963, Charles Mcdonald que é considerado o pai do asfalto borracha nos USA, desenvolveu um ligante modificado para asfalto usando borracha de pneu triturada, altamente elástico para ser utilizado na manutenção de pavimentos asfálticos. O produto era composto de ligante asfáltico e 25% de borracha moída de pneu (0,6mm a 1,2mm), misturado a 190° C durante vinte minutos para ser utilizado em remendos conhecidos como “*ban-aid*” (PANTAROTTO, 2007, p. 25).

Nos Estados Unidos, depois de grandes incêndios de pneus que causaram a contaminação do ar, da água e do solo, surgiu o interesse no desenvolvimento de pesquisas visando à reutilização de borracha de pneus em obras de engenharia. Em 1991, a Lei sobre a Eficiência do Transporte Intermodal de Superfície (*Public Law 102-240 - Istea, 1991*) obrigou os Departamentos de Transportes Estaduais (DOTs) e a Agência de Proteção Ambiental (EPA), em cooperação, a desenvolver estudos para utilizar pneus na construção de pavimentos asfálticos. Dessa forma, os estados americanos começaram a construir pavimentos asfálticos com borracha de pneus descartados moída: em 1994, cerca de 5% de pavimentos asfálticos, foram

construídos com borracha de pneus descartados moída; em 1995, 10%; em 1996, 15% e a partir de 1997, 20% (EPPS, 2010).

Para Giulio (2007) no Brasil, o uso da borracha em pavimentação asfáltica foi aprovado em 1999, por resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). O primeiro impacto positivo está no ambiente, pois a restauração de pavimento com esse tipo de asfalto pode usar até mil pneus por quilômetro, o que reduz o depósito desse material em aterros ou fora deles.

Segundo Oda et al. (2005), a borracha proporciona um aumento da flexibilidade, tornando a mistura asfáltica mais resistente ao envelhecimento e ao aparecimento de deformações (trilhas de rodas). O asfalto borracha contém resíduos de borracha proveniente de pneus inservíveis reciclados. Para isso, os pneus passam por um processo de beneficiamento que é composto pela retirada do talo dos pneus, trituração, separação do aço da estrutura dos pneus, e posterior peneiramento, para separação do resíduo em diferentes faixas granulométricas, sendo cada uma dessas apropriada para uso em tipos diferentes de asfaltos, para aplicações diversas.

O asfalto de borracha é uma forma de preparo da mistura asfáltica aproveitando resíduos sólidos (pneus, nesse caso) para aprimorar características como resistência, permeabilidade e aderência. O asfalto leva o nome de ecológico por receber 20% de borracha de pneu velho triturado, contribuindo para o reaproveitamento desse resíduo de difícil destinação. Quantidades variáveis entre 200 e 1000 pneus, dependendo da tecnologia utilizada, são aproveitados para a construção de um quilômetro dessa forma de pavimentação (ORSI; SIMON, 2015, p. 3).

Para Mendes e Nunes (2009) o asfalto borracha consiste em uma camada constituída de material betuminoso, agregado mineral (pedra britada, areia e pedregulho britado) e pó de borracha, preparado e aplicado a quente sobre um pavimento antigo ou sobre uma base com grau de compactação prevista em projeto.

Houve uma época em que o esforço para usar pneus no asfalto parecia ser apenas um meio de se livrar de pilhas de pneus velhos. Para muitas agências, sua primeira experiência com borracha granulada em asfalto resultou na ênfase do uso de pneus no aglutinador de asfalto é melhorar o desempenho do pavimento.

Ligantes de asfalto modificados com borracha de pneu de terra têm várias qualidades positivas. A adição de borracha de pneu moído ao asfalto pode contribuir para melhorar a resistência, a resistência à derrapagem, a qualidade da condução, a vida útil do pavimento e os níveis reduzidos de ruído do pavimento. A adição de

borracha ao líquido asfáltico retarda o envelhecimento e a oxidação do aglomerante resultante, o que aumenta a vida útil do pavimento ao diminuir a fragilidade e a fissuração. Ligantes asfálticos modificados com borracha podem ser usados em misturas asfálticas de graduação aberta, que reduziram a hidroplanagem, pulverização de veículos e redução do ruído do pavimento. Os benefícios do uso de asfalto modificado com borracha estão sendo mais amplamente experimentados e reconhecidos, e a incorporação de pneus ao asfalto deve aumentar.

O caminho para experimentar as aplicações e vantagens da reciclagem de pneus usados foram apresentadas na 18ª edição do Ecomondo Itália, uma Feira Internacional sobre desenvolvimento sustentável. Entre chuveiros sonoros e telas de LCD, no “setor esportivo” da feira, falava-se sobre as capacidades elástica e de absorção de choque dos materiais usados em pavimentos desportivos derivados dos grãos obtidos da borracha de pneus decomposta. O granulado da borracha do pneu vai ligada com resina de poliuretano ou com outros polímeros termoplásticos.

De acordo com Florios (2015) experimentar a diferença entre dirigir sobre um asfalto tradicional e aquele modificado com este material para testar a redução do ruído do tráfego, a melhor resposta para frear, e aumento da drenagem em caso de chuva, foi um pulo. Uma simulação reproduzia os ruídos que podem ser ouvidos em uma casa normal e na casa que tem paredes com bainhas de isolamento acústico, feitas com os grãos da borracha de pneus, onde o som é silenciado e abafado. Esta, então, seriam as novas vidas que pneus velhos poderiam ter, um recurso valioso a partir do qual é possível extrair materiais reutilizáveis para muitas aplicações de interesse público (Figura 1).



Figura 1: Asfaltos modificados.

Fonte: Google (2019).

Para Florios (2015) a borracha triturada que é obtida com o esmagamento do pneu é usada em todo o mundo para a produção de asfalto modificado: a adição de borracha no asfalto permite realizar ruas e estradas caracterizadas por uma elevada durabilidade, baixo ruído e aderência de travagem. Uma vez reduzidos em grãos os pneus de borracha, eles podem ser usados como preenchimento de campos de futebol com grama artificial, pistas de atletismo, pavimentações antitraumas e superfícies equestres. A propriedade drenante do material, combinada com a capacidade elástica para absorver impactos fazem o grânulo deste tipo de borracha particularmente adequado para tais utilizações.



Figura 2: Asfaltos modificados.

Fonte: Google (2019).

O Brasil, em particular a Petrobrás Distribuidora, domina a tecnologia de produção, transporte e aplicação do asfalto borracha, que começou a ser utilizado no Brasil em agosto de 2001, quando foram asfaltados trechos da BR-116, entre Guaíba e Barra do Ribeiro, no Estado do Rio Grande do Sul, utilizando a adição de partículas de borracha (Figura 2).

De acordo com Florios (2015) o material obtido com a reciclagem de pneus é comumente usado para produzir painéis isolantes de som, tapetes anti-derrapantes, membranas impermeabilizantes, materiais anti-vibrações e anti-sísmicos, particularmente apreciados pelas propriedades elásticas do material, o que garante proteção de segurança.

Também é usado na construção civil, em que a borracha do pneu decomposta em grãos pode ser utilizada no lugar de outros materiais para a construção de pontes, viadutos e bacias de retenção de água da chuva para que fiquem mais leves. A propriedades de drenagem, anti-mofo, anti-vibração, isolamento térmico e baixo peso são específicas dos materiais derivados do reciclo de pneumáticos e faz com este tipo de aplicação seja particularmente vantajosa.



Figura 3: Asfaltos modificados.

Fonte: Google (2019).

Na aplicação urbana lombadas, delimitadores de tráfego, redutores de velocidade e delimitadores de pistas são apenas alguns exemplos do uso da borracha reciclada de pneus no campo do desenvolvimento urbano. A capacidade de suportar o impacto sem deformação a torna particularmente popular nesta área (Figura 3).



Figura 4: Asfaltos modificados.

Fonte: Google (2019).

Os jardins revestidos com resina de poliuretano e coloridos em diferentes tons encontrou larga aplicação na realização de mantas e acolchoados em jardins públicos e privados de alguns países. A técnica representa uma barreira física à transferência de energia e vapor d'água entre o solo e a atmosfera, para reduzir as perdas de água do solo e a infestação de parasitas

E, por fim, aqui vai uma ideia para reutilizar (não reciclar) os pneus velhos: fazendo essas lindas caminhas para pets (Figura 5).



Figura 5: Asfaltos modificados.
Fonte: Google (2019).

Outras formas de reciclagem e reaproveitamento dos pneus

- Proteção de construções à beira mar – nos diques e cais; barragens e contenção de encostas, onde são geralmente colocados inteiros;
- Recauchutagem – são adicionadas novas camadas de borracha nos pneus “carecas” ou sem friso. A recauchutagem aumenta a vida útil do pneu em

40% e economiza 80% de energia e matéria-prima em relação à produção de pneus novos.

- Reaproveitamento energético (fornos de cimento e usinas termoelétricas) – cada quilograma de pneu libera entre 8,3 a 8,5 kilowatts por hora de energia. Esta energia é até 30% maior do que a contida em 1 quilo de madeira ou carvão. As indústrias de papel e celulose e as fábricas de cal também são grandes usuárias de pneus em caldeiras, usando a carcaça inteira e aproveitando alguns óxidos contidos nos metais dos pneus radiais.

A rodovia dos Bandeirantes, no trecho entre Campinas e São Paulo, sentido Capital, também utiliza a tecnologia da massa asfáltica com adição de borracha de pneus. Outros Estados que utilizam esse tipo de mistura asfáltica (asfalto borracha) na pavimentação de suas rodovias são: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Pará. Em julho de 2011, o governo do Rio de Janeiro publicou Decreto em que autoriza a utilização do pavimento ecológico (asfalto borracha) nas rodovias do Estado (ECOFLEX, 2011).

2.2.1.1 História do asfalto borracha

A incorporação de borracha de pneus inservíveis em revestimentos asfálticos de pavimentos rodoviários e urbanos tem sido empregada há algumas décadas no exterior. São encontradas aplicações importantes no Canadá, Portugal, Austrália e principalmente nos Estados Unidos da América (EUA). Pesquisas e aplicações de inúmeras técnicas utilizando borracha são uma realidade nos Estados americanos do Arizona, Califórnia e Flórida. O asfalto borracha começou na década de 40, quando a Companhia de Reciclagem de Borracha, U.S. *Rubber Reclaiming Company*, introduziu no mercado um produto composto de material asfáltico e borracha desvulcanizada reciclada denominada Ramflex™ (PANTAROTTO, 2007).

Mais de 160 anos depois da descoberta que ajudou a mudar a história da sociedade moderna, o pneu tornou-se um motivo de grande preocupação para o poder público e para ambientalistas de todo o mundo. Os pneumáticos inservíveis

abandonados, ou dispostos inadequadamente, acabam por resultar em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública, uma vez que:

- A principal matéria-prima dos pneus, a borracha vulcanizada, não se degrada facilmente (estima-se em 600 anos o prazo necessário para um pneu se decompor);
- A queima ou incineração de pneus a céu aberto, em geral para aproveitamento do aço dos pneus radiais, produz um resíduo oleoso que contamina o solo e o lençol freático, além de intensa fumaça preta contendo dióxido de enxofre, hidrocarbonetos e outros produtos químicos responsáveis pela poluição do ar;
- Os pneus atirados nos rios e lagoas represam a água e assoreiam os leitos dos mesmos.
- Os pneus são também um problema de saúde pública, pois, acumulam água das chuvas, formando ambientes propícios à disseminação de doenças como a dengue e a febre amarela; e
- A disposição de pneus em aterros sanitários tem se mostrado inadequada, por apresentarem baixa compressibilidade, reduzindo a vida útil dos aterros existentes e comprometendo a sua estabilidade (PANTAROTTO, 2007). Essa parte toda está na introdução.

A história de adição de asfalto de borracha reciclada de pneus para materiais de pavimentação remonta à década de 1940, quando os Estados Unidos começaram a comercializar um produto desvulcanizado ou borracha reciclada, denominado Ramflex, como uma partícula seca aditivada à mistura de asfalto. Quando, nas primeiras décadas do século XIX, Charles Goodyear deixou cair enxofre e borracha sobre o fogo e percebeu que esta adquiria uma consistência mais sólida, estava dando os primeiros passos no desenvolvimento do processo de vulcanização (adição, a altas temperaturas, do elemento enxofre) da borracha. Entre os aproveitamentos desta nova tecnologia nas décadas subseqüentes, os pneus tornaram-se para a incipiente indústria automobilística a forma ideal, e até hoje única, de contato de seus protótipos com o solo (SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, 2012).

De acordo com Oliveira e Castro (2007) durante o século XX, a pavimentação de vias desenvolveu-se mundialmente, acompanhando a expansão da indústria automobilística. Misturas asfálticas foram desenvolvidas, recobrando malhas viárias e garantindo um padrão de pavimentação de estradas. Junto com a constante ampliação das rodovias, veio o aumento na produção de pneus para os automóveis que as utilizariam.

Quase dois séculos depois, estima-se em centenas de milhões o número de carcaças de pneus velhos descartados anualmente. Só no Brasil, são mais de 30 milhões de pneus inservíveis por ano. Nos Estados Unidos, estima-se que esse número chegue a aproximadamente 200 milhões. Como somente uma pequena parcela é reaproveitada, o resíduo sólido e seu destino, como combustível ou descartado na natureza, tornou-se uma questão ecológica de difícil resolução.

Nas últimas décadas, buscou-se integrar de forma ecológica esse resíduo. Entre os processos de reaproveitamento, a adição de granulados de borracha provenientes de pneus velhos às misturas asfálticas tem sido recebida com grande interesse. O asfalto contendo quantidades de polímeros provenientes da borracha de pneus inservíveis adquire características que alteram significativamente sua resistência, permeabilidade, aderência e durabilidade (SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, 2012).

O método vem sendo empregado há algumas décadas no exterior, principalmente nos E.U.A. Em 1999 começam os estudos e pesquisas sobre o asfalto modificado por borracha (AMB) no Brasil. Os estudos tinham como foco a utilização da borracha como meio de aprimorar e melhorar as qualidades do asfalto comum. Em 2001, após pesquisas, houve a primeira utilização do AMB no Brasil. (GRECA ASFALTOS, 2011).

2.3 Processo de obtenção da borracha

Existem dois processos de moagem para a obtenção da borracha moída na granulometria adequada ao uso na modificação de ligantes asfálticas, são eles:

2.3.1 Processo ambiente

A moagem à temperatura ambiente consiste em uma série de trituradores, peneiras, correias transportadoras, aspiradores que removem o *nylon*, e tambores

magnéticos que removem o aço, ainda presentes nas partículas de borracha. O processo ambiente gera partículas de borracha com uma extensa e esponjosa superfície, a qual ajuda a promover a rápida reação com o ligante (ROBERTS *et al.*, 1996). Na Figura 6 são mostrados os pneus já sem os talões metálicos sendo levados para os trituradores.



Figura 6: Linha de produção pelo processo de moagem – Ambiente na empresa ecobaldo.

Fonte: Balaguer (2012).

2.3.2 Processo criogênico

Esse processo consiste em congelar a borracha de pneus em um tanque com nitrogênio líquido, com temperaturas entre -90°C e -200°C , até que ela se torne quebradiça e possa ser facilmente triturada em partículas pequenas por um moinho de martelos (BANDINI, 2011). O material resultante deste processo é composto por partículas lisas, limpas e planas. Tais características podem não ajudar e até mesmo retardar o tempo de reação com o asfalto quente (ROBERTS *et al.*, 1989).

Na Figura 2 são mostrados os elementos componentes dos pneus e os percentuais em que eles se apresentam nestes e conseqüentemente nos ligantes modificados por essa borracha reaproveitada.

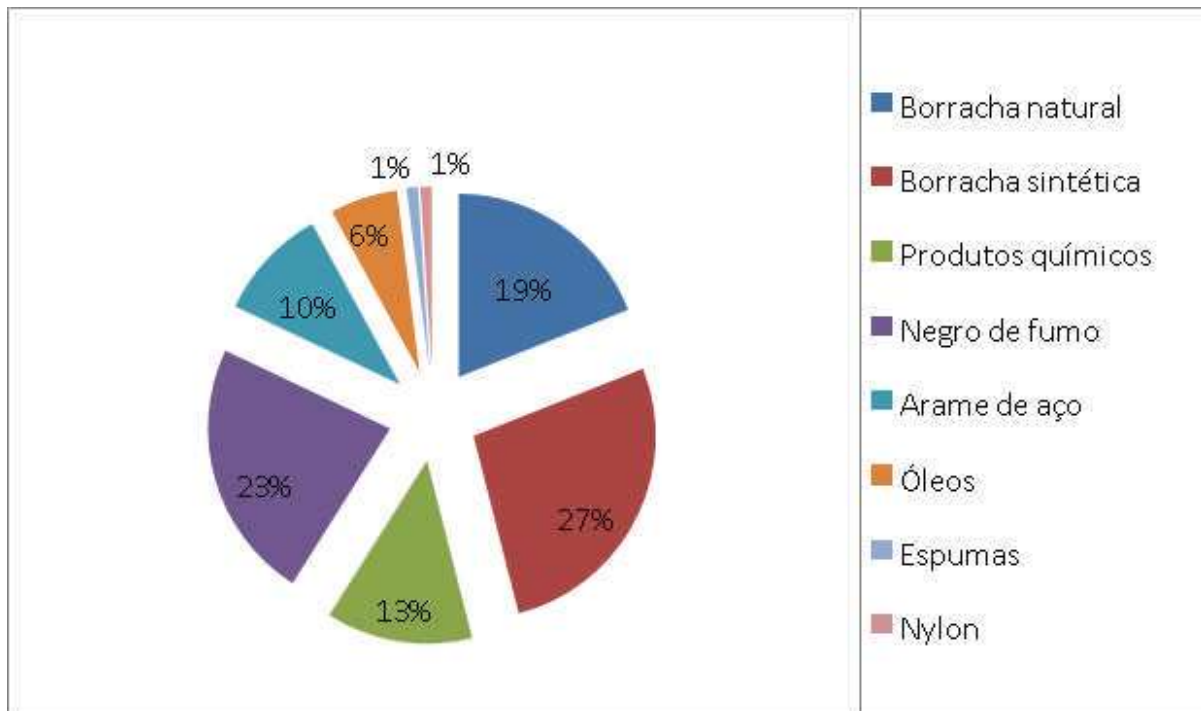


Figura 7: Composição dos pneus radiais para automóveis.

Fonte: Salini (2000).

2.4 Benefícios do uso do asfalto–borracha

Um quesito beneficiado pela presença da borracha no ligante é a redução do ruído na passagem do tráfego em vias e rodovias. Um estudo conduzido pelo Condado de Sacramento (1999), nos Estados Unidos da América (EUA), concluiu que o uso do asfalto borracha em duas rodovias (*Antelope Road e Alta Arden Expressway*), resultou na redução do nível de ruído do tráfego em aproximadamente 4db, comparando com o nível de ruído apurado em rodovias com asfalto convencional. O levantamento não especifica a granulometria adotada.

Este levantamento e outros, conduzidos por diversos estados americanos e por outros países, dão suporte à viabilidade do uso do asfalto borracha como uma opção para a mitigação de ruídos. Seu uso pode, em alguns casos, eliminar a necessidade de barreiras antirruídos ou reduzir a altura requerida para estas barreiras, no intuito de atingir níveis satisfatórios de ruído pelos padrões normatizados. Na Tabela 1 é apresentado um estudo, feito no condado de Sacramento/Califórnia (USA), de redução de ruído comparando o desempenho entre o AMB e o Asfalto Convencional (*Sacramento County Department of Environmental Review and Assessment, 1999*).

Tabela 1: Redução de ruído: asfalto borracha x asfalto convencional.

Rodovia	Tipo de Pavimento	Tempo Decorrido Após Pavimentação (Meses)	Redução Nos Níveis de Ruídos (Db)
Alta Arden Expressway	Asfalto Borracha	1	-6
		16	-5
		72	-5
Antelope Road	Asfalto Borracha	6	-4
		60	-3
Bond Road	Asfalto Convencional	1	-2
		48	0

Fonte: *Sacramento County Department of Environmental Review and Assessment (1999).*

A borracha vem com uma variedade de vantagens inerentes que a tornaram uma opção de revestimento extremamente popular para ambientes comerciais de tráfego. Em virtude dos benefícios econômicos e ambientais, o uso do pavimento borracha continua aumentando. Assim, devido as suas adjacentes qualificações, as estradas de asfalto modificado por borracha são caracterizadas como mais duráveis, sendo dessa forma menos quebradiço e oferecendo resistência à fissuração, com potencial para durar até 10 anos. Logo, sua superfície lisa e altamente resistente, proporciona uma melhor qualidade de passeio (CURY, *et al.*, 2015).

2.4.1 Métodos de Incorporação da Borracha ao Ligante

A borracha de pneu é uma borracha vulcanizada e serve como modificador de ligantes asfálticos. A incorporação pode ser feita por dois processos: processo seco e processo úmido. O processo seco consiste em utilizar a borracha como mais um agregado da mistura asfáltica, quando a borracha passa a ser chamada de agregado borracha. O processo úmido adiciona a borracha moída diretamente ao Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), a alta temperatura (e.g. 240° C), tornando os dois uma única mistura chamada de ligante asfalto borracha com propriedades diferentes do ligante inicial (ODA, 2000; BERTOLLO *et al.*, 2002; FAXINA, *et al.* 2002).

Pela via úmida o asfalto borracha pode ser produzido através de dois processos: Mistura Contínua em Usina (*Continuous Blend*) e Mistura em Fábrica (*Terminal Blend*).

2.4.1.1 Processo úmido

O processo úmido é o método de modificação do ligante asfáltico através da adição de borracha moída de pneus inservíveis antes de o ligante ser incorporado aos agregados. O produto resultante desta mistura é chamado de asfalto borracha (*Asphalt Rubber*) ou Asfalto Emborrachado (*Rubberized Asphalt*). O processo úmido (via úmida) requer que a temperatura na qual é feita a mistura dos componentes esteja entre 190° C e 224° C e requer ainda a manutenção da temperatura, durante a reação da mistura, entre 190° C e 218° C, por pelo menos 45 minutos para permitir uma perfeita interação entre a borracha e o asfalto. A viscosidade adequada do ligante asfalto borracha é obtida através do aquecimento, de forma a facilitar a incorporação da borracha ao ligante. O tempo de reação da mistura é função do teor e granulometria da borracha, do tipo de ligante e da temperatura da mistura (CALTRANS, 2006).

Leite (1999) mostrou que a produção de ligante asfalto borracha com estabilidade à estocagem só foi possível quando elevou-se a temperatura de mistura acima de 190° C e o tempo de mistura acima de 120 minutos. Nestas condições, só se tornam estocáveis os ligantes que possuíam borracha com 80% do seu peso passando na peneira #200 (0,075). O critério de compatibilidade usado foi a diferença máxima de 5° C no ensaio de ponto de amolecimento entre o topo e o fundo, conforme a metodologia descrita em ASTM D 5892/2000. As misturas ensaiadas na referida pesquisa contaram com a presença de diluente no papel de óleo extensor.

Durante o processo de mistura, as partículas de borracha podem dilatar (inchar) até cinco vezes seu tamanho original, o que muda a proporção da borracha moída na mistura, e podem quebrar (separar) parcialmente (*breakdown partially*). A redução do tamanho das partículas aumenta com o tempo de mistura e diminui com o aumento do tamanho original da partícula da borracha, conforme relata ARTS (2012).

De acordo com Specht (2004), o inchamento da borracha é uma difusão (migração) e não uma reação química porque não há ligações livres nas borrachas vulcanizadas para interação química com o asfalto. Após a imersão das partículas de borracha no asfalto, a sua superfície fica com alta concentração de líquidos. Posteriormente estes líquidos movem-se para o interior da partícula, sendo este

movimento controlado pelos seguintes fatores: (i) compatibilidade molecular entre a borracha e o betume; (ii) tempo de digestão; e (iii) viscosidade do asfalto.

2.4.1.2 Mistura contínua em usina (*continuous blend*)

Neste processo, a borracha de pneus inservíveis triturada é adicionada ao CAP aquecido, produzindo um ligante modificado que recebe a denominação de asfalto borracha (*Asphalt Rubber*) ou Asfalto Emborrachado (*Rubberized Asphalt*). O asfalto borracha é produzido com equipamento misturador na própria obra, por isso recebe também a denominação de *Field Blend* (BANDINI, 2011) em uma unidade especial. Ele deve ser misturado ao agregado e aplicado na pista imediatamente devido à instabilidade da massa, diferentemente do TB que pode ser estocado (mediante agitação), para uso posterior. Por precisar ser aplicado imediatamente, esse sistema recebe outra denominação, conhecida por “Sistema Não Estocável”. Roberts *et al.*, (1989) recomendam como tempo máximo de armazenamento do asfalto borracha, 16 horas após a sua produção.

Pelo processo de Mistura Contínua em Usina, a borracha moída de pneus é incorporada ao ligante asfáltico em no mínimo 15% do peso total do ligante modificado. A reação esperada para as partículas de borracha, quando em contato com o ligante suficientemente aquecido, é o inchamento e o amolecimento destas partículas. O asfalto borracha mantém ou excede a viscosidade rotacional em 1500Cp (um mil e quinhentos centipoise) a 190° C depois do período de reação e, conseqüentemente, precisa ser agitado para manter a mistura em suspensão, e igualmente distribuída no tanque de armazenamento. Por isso, o processo Field Blend é também denominado como Processo Úmido de Alta Viscosidade (BANDINI, 2011).

O asfalto borracha, ao final do processo, apresenta propriedades reológicas diferentes do ligante original. No processo úmido, a interação entre o ligante asfáltico e a borracha moída é classificada como uma reação. O grau de modificação do ligante depende de alguns fatores, entre eles:

- Granulometria e textura da borracha;
- Proporção de ligante asfáltico;
- Proporção de borracha;

- Tempo de reação;
- Temperatura de reação;
- Energia mecânica durante a mistura; e
- Uso de aditivos (óleos extensores).

Segundo Bandini (2011), a borracha moída deve ser misturada ao asfalto quente (175° C) até causar inchamento das partículas de borracha e um considerável aumento da viscosidade (no mínimo 1500cP). Quando é feita a adição da borracha ao ligante, ocorre uma absorção dos óleos aromáticos do ligante pelas cadeias do polímero da borracha, o que acarreta a alteração das propriedades do ligante asfáltico.

A borracha utilizada no processo de Mistura Contínua em Usina é proveniente de pneus novos rejeitados e/ou inservíveis (retirados do meio ambiente) de carros de passeio e de caminhões em proporções que influenciam as características finais do ligante asfalto borracha. A borracha triturada deve estar isenta das partes metálicas (talões dos pneus) e de fibras como o nylon, também presente na composição de pneus.

Existem dois processos para moagem da borracha: moagem à temperatura ambiente (processo mecânico) e processo criogênico. Estes processos serão examinados adiante. A granulometria da borracha possui um efeito relevante nas propriedades do asfalto modificado com borracha. As partículas grossas de borracha aumentam a viscosidade do produto final, asfalto borracha, enquanto que, partículas finas, principalmente com percentagem de partículas que passam na peneira n. 50 (0,30 mm), resultam em um menor tempo de digestão (CALTRANS, 2006).

O asfalto borracha é principalmente usado em camadas de *Gap* e *Open Graded*, mas é usado também como *spray* selador de trincas e como camadas de absorção de tensões *Stress Absorbing Membrane Interlayer* (SAMI). Entre os benefícios, destacam-se: espessuras menores das camadas, redução da reflexão de trincas, aumento da segurança em dias chuvosos e redução de ruído do tráfego. O asfalto borracha produzido pelo processo Contínuo em Usina não pode ser usado em misturas com graduação densa (SANTUCCI, 2009).

O asfalto borracha produzido pelo sistema Contínuo em Usina é executado na própria usina de mistura asfáltica da obra, através da incorporação de

equipamentos adicionais ou utilizando caminhões estacionários. Dentre os equipamentos adicionais normalmente utilizados, está um tanque de mistura e digestão do asfalto borracha ligado a uma central de comando que controla as variáveis do processo como a temperatura do ligante, o tempo de digestão do produto final, além de manter o ligante modificado em constante agitação. O ligante modificado pelo processo deve ser utilizado imediatamente após sua produção, podendo ficar armazenado por até quatro horas após sua fabricação. Veja o esquema de produção na Figura 8, em que todo o processo é apresentado (CALTRANS, 2006).

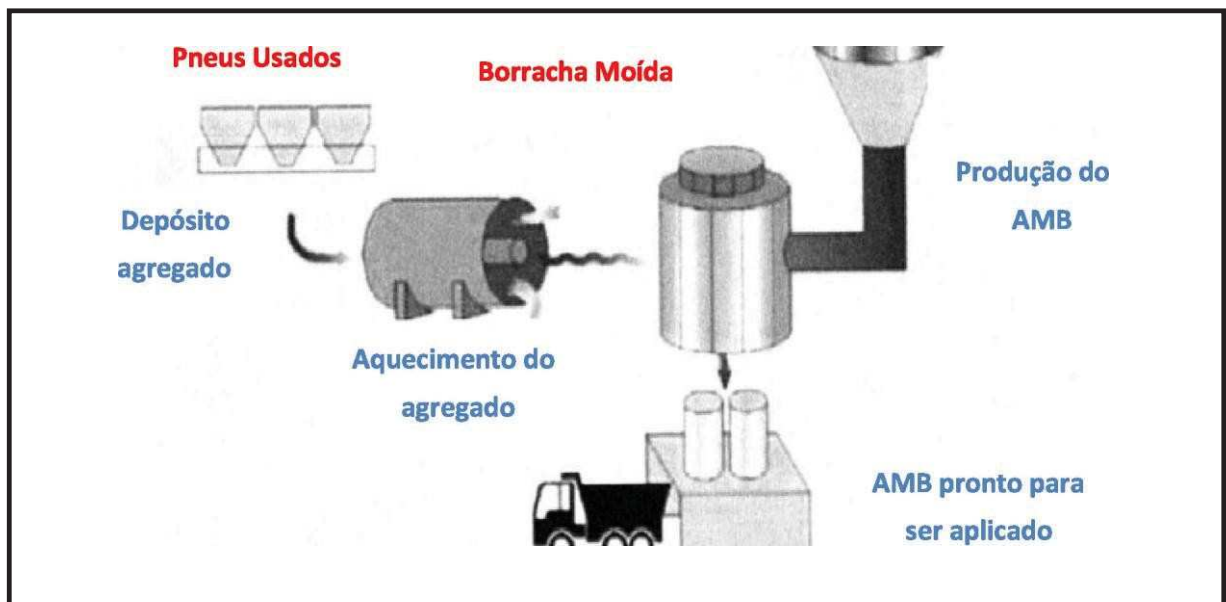


Figura 8: Esquema de produção do AMB pelo processo.
Fonte: Caltrans (2006).

2.4.1.3 Terminal Blend

O processo *Terminal Blend* é também um processo úmido no qual a borracha é misturada ao asfalto em uma refinaria ou terminal de distribuição. A partir desse terminal, o ligante modificado pode ser distribuído para várias obras. No sistema TB a modificação física, reológica e química do asfalto é feita através do processo de fusão entre os componentes, por meio de agitação mecânica e digestão térmica em moinhos de cisalhamento. Ao final do processo, o ligante modificado é um produto uniforme e estável, não dando a separação dos constituintes, mesmo durante o armazenamento (CALTRANS, 2006).

O conceito adotado pelo Caltrans é de que o sistema *terminal blend* não requer constante agitação do asfalto borracha porque neste tipo de sistema é possível manter as partículas de borracha uniformemente distribuídas no betume, com a vantagem de ser armazenado por longos períodos de tempo (CALTRANS, 2006).

O asfalto borracha no Brasil é produzido pelo sistema terminal blend. Na tecnologia brasileira, o asfalto borracha possui estabilidade sem que ocorra a separação de fases durante o armazenamento, ou seja, as características deste asfalto permitem a sua utilização muito tempo após a sua produção. Entretanto, para a utilização do asfalto borracha na central betuminosa, os tanques devem ser adaptados com agitadores. Pode ficar armazenado por até três semanas com agitação de forma periódica diariamente (MORILHA, GRECA, 2003).

O asfalto borracha no sistema terminal *blend*, em função das suas características pode ser aplicado em diferentes técnicas e em misturas betuminosas com diferentes granulometrias (*open graded, gap graded e dense graded*). O asfalto borracha terminal *blend* com 20% de borracha é recomendado na elaboração de misturas betuminosas descontínuas com qualquer teor de vazios (drenante ou densa) e também na execução de tratamentos superficiais. O asfalto com 15% de borracha é indicado para fabricação de misturas betuminosas densas contínuas (MORILHA, GRECA, 2003).

Neste sistema, o asfalto deve ser processado em altas temperaturas por agitação em alto cisalhamento. Desta forma, obtém-se a despolimerização e a desvulcanização da borracha moída de pneus, o que permite melhor absorção da borracha pelo ligante, resultando em uma viscosidade menor do produto final (ROBERTS *et al.*, 1989).

Na Figura 9 são mostrados os reatores utilizados para realizar a incorporação da borracha de pneus inservíveis no asfalto, tornando-o uma mistura homogênea e estável.



Figura 9: A incorporação da borracha ao asfalto é realizada em reatores que promovem a modificação química e física do ligante.

Fonte: Greca Asfaltos (2006).

O processo de produção para o TB é similar ao processo usado para produção do asfalto modificado por polímeros. Ele foi inicialmente produzido em meados da década de 80 e, por isso, tem um histórico de resultados avaliados, menor que o asfalto borracha que é usado desde a década de 1960 (SANTUCCI, 2009). Na Figura 10 são mostrados os aspectos característicos dos ligantes, em que se observa que o ligante produzido pelo processo é mais viscoso por ter mais borracha em sua composição.

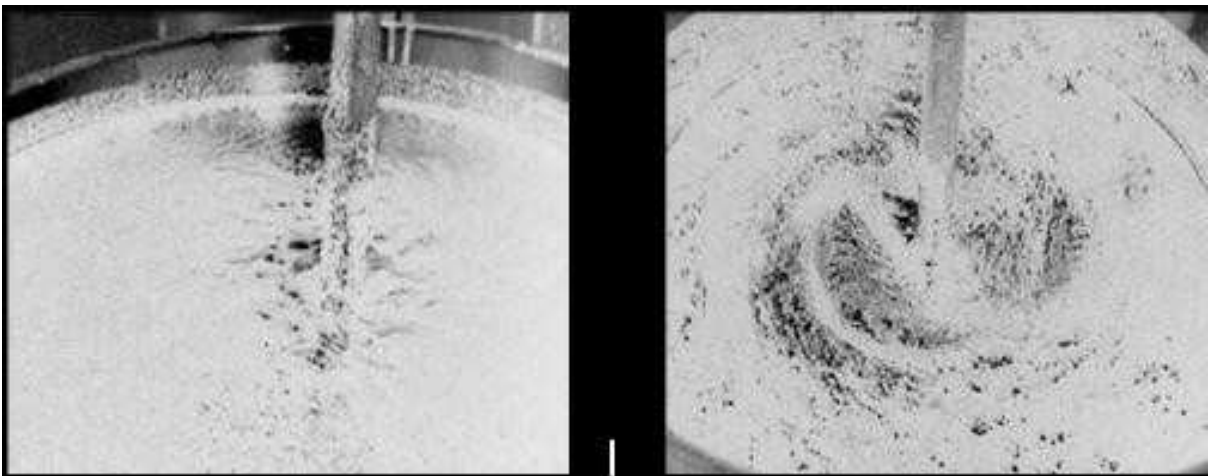


Figura 10: Aspecto do ligante: TB.

Fonte: Caltrans (2006).

2.4.2 Processo seco (Via Seca)

No processo seco a borracha é utilizada como agregado fino em misturas betuminosas. Nesse processo a borracha (normalmente 1% a 3% em peso do agregado total da mistura) é incorporada na mistura antes da mistura asfáltica ser introduzida e pode ser aplicada em misturas do tipo *gap graded* (descontínua densa), *dense graded* (contínua densa) e *open graded* (descontínua aberta) (HEITZMAN, 1992).

A borracha triturada (agregado borracha) entra na mistura asfáltica como parte do agregado pétreo, formando o asfalto modificado com adição de borracha *Rubber Modified Asphalt Concrete* (RUMAC). Esse método só deve ser utilizado em misturas asfálticas a quente, não devendo ser usado em misturas a frio (SPECHT, 2004).

O volume de vazios da mistura betuminosa é de 2% a 4% e com uma percentagem de betume de 7,5% a 9,0% (TRHRC, 2005, BAKER *et al.*, 2003). Os resultados de investigações conduzidas no Estado de Linois (USA) revelaram que os trechos experimentais com misturas asfálticas utilizando o processo seco apresentaram desempenho inferior aos trechos onde foram aplicadas misturas convencionais (VOLLE, 2000).

As eventuais reações entre as partículas de borracha granulada e o asfalto convencional que ocorrem no processo seco dependem da granulometria utilizada. A utilização de borracha com grãos de elevada superfície específica aumenta a área de contato asfalto borracha, favorecendo as reações entre esses materiais durante pequenos intervalos de tempo e a temperaturas relativamente baixas quando comparadas àquelas utilizadas no processo úmido (DANTAS NETO, 2004).

2.4.3 Uso de diluentes (óleo extensor) na mistura

Dependendo do tipo de ligante selecionado, do tamanho e do teor de borracha, pode haver necessidade da adição de um diluente para facilitar a mistura entre os componentes, ou seja, aumentar a compatibilidade entre o ligante e a borracha. Se, por um lado, o diluente facilita a mistura, por outro ele reduz, temporariamente, a viscosidade do ligante asfalto borracha, facilitando a

aplicação². Takallou e Sainton (1992) observaram que, após cerca de duas horas, a viscosidade do ligante volta ao seu valor original.

O teor de ligante sofre redução em função do uso do diluente de 10% a 25%. Takallou e Sainton (1992) relatam que uma grande quantidade de diluente (maior que 6%) pode reduzir o ponto de amolecimento, aumentar a penetração e a ductilidade e reduzir a resistência do ligante.

Algumas conclusões de Faxina et al. (2006) sobre o uso de resíduo de óleo de xisto: (i) em termos de estabilidade à estocagem, o óleo de xisto só é viável quando a diferença máxima entre pontos de amolecimento é 5° C; (ii) teores muito altos de borracha moída, aparentemente em torno de 18% e acima, prejudicam o processamento das misturas, mesmo com teores altos de resíduo de óleo de xisto. Parece existir uma proporção de borracha acima da qual a mistura passa para o estado de semi-sólido. Misturas desta natureza apresentam um comportamento peculiar: a viscosidade diminui muito pouco com o aumento da temperatura do ensaio.

Embora o resíduo de óleo de xisto consiga reduzir consideravelmente a consistência do ligante asfalto borracha, quando se emprega teores altos de borracha, a redução obtida não é suficiente para adequar a viscosidade do ligante aos níveis desejados para ligantes asfálticos não-modificados, visando o bombeamento e o processamento em usina; e (iii) o resíduo de óleo de xisto tem efeito positivo sobre as propriedades que indicam resistência à formação de trincas de origem térmicas.

2.4.4 Durabilidade

A durabilidade de ambos os asfaltos (borracha ou convencional) varia de acordo com as condições da rodovia, temperatura da localidade, drenagem de águas, intensidade do tráfego. Entretanto, levantamentos apontam que, para rodovias com um alto volume de tráfego e com veículos de grande porte, o pavimento pode durar cerca de cinco anos, e as que possuem tráfego reduzido e de veículos leves, o pavimento pode atingir durabilidade de 25 a 30 anos.

² Melhorando a trabalhabilidade na pista.

O monitoramento de pistas, nos Estados Unidos, nos últimos 40 anos aponta para uma durabilidade que é o dobro daquela encontrada nos pavimentos construídos com ligantes convencionais, além do retardamento da reflexão de trincas; observando-se que a reflexão de trincas em pavimentos construídos com asfalto borracha chega a ser 3 vezes menor que nos pavimentos convencionais, ou seja, as trincas levam 3 vezes mais tempo para aparecer na superfície do revestimento asfáltico (MENDES; NUNES, 2009, p. 55).

Na Figura 6 é apresentado o resultado do estudo, conduzido *pelo Arizona Department of Transportation (ADOT)*, a respeito do monitoramento da ocorrência de trincas em pavimentos com AMB e sem borracha denominado de *Hot Mix Asphalt (HMA)*. Pode-se observar que a evolução de trincas é substancialmente maior pavimento cuja mistura asfáltica não possui modificação do ligante.

Pantarotto (2007) o uso de borracha de pneu reciclado não será a solução definitiva para o problema da disposição ambiental deste resíduo, mas vai amenizá-lo ao mesmo tempo, que promete modificar para melhor o concreto asfáltico. A adição da borracha ao concreto asfáltico pode ser feita em misturas a quente, de duas maneiras básicas:

- *Via Seca*: a borracha é introduzida diretamente no misturador da usina de asfalto, entrando neste caso, como um agregado na mistura. Embora seja prejudicada a transferência de propriedades importantes da borracha ao ligante asfáltico, ainda sim, é possível agregar melhorias à mistura asfáltica, desde que na sua fabricação seja possível obter uma mistura totalmente homogênea.
- *Via Úmida*: a borracha é previamente misturada ao ligante, modificando-o permanentemente, ocorrendo uma transferência mais efetiva das características de elasticidade e resistência ao envelhecimento para o ligante original.

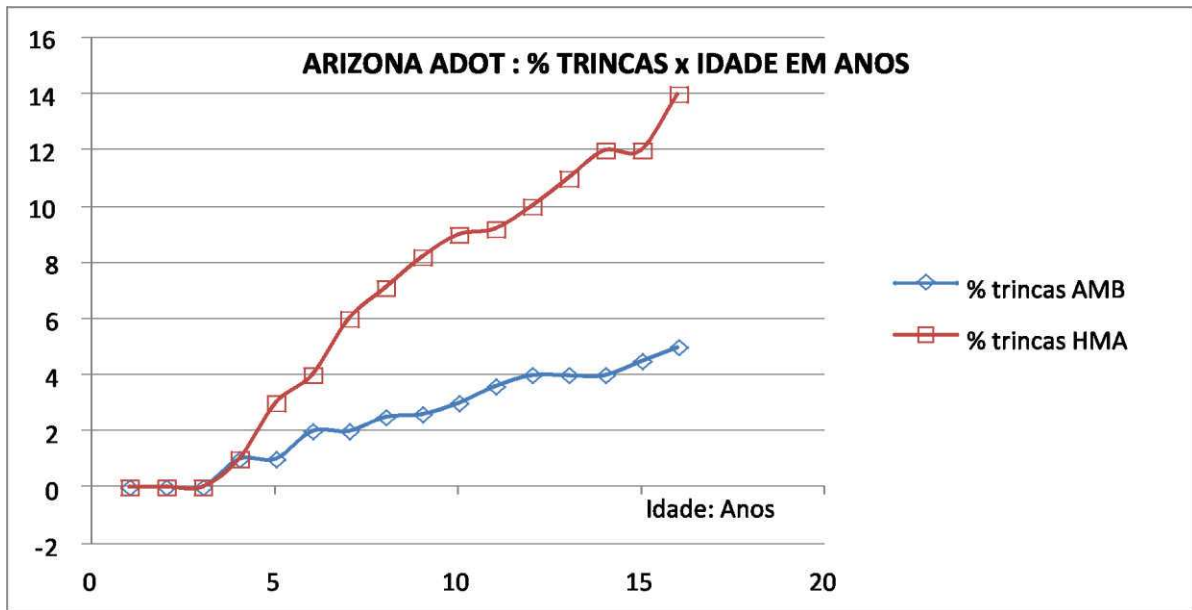


Figura 11: Porcentagem de trincas versus idade de serviço em AMB e HMA.
 Fonte: Pavement Technology Update, Pavement Research Center, University of Califórnia (2009).

Como vantagem tem-se ainda no caso do pavimento de borracha, em que o aumento da consistência a altas temperaturas diminui a probabilidade de que as trilhas sejam afundadas com o atrito de rodas e fadigas, ainda, possui uma grande resistência aos combustíveis despejados eventualmente por veículos, assim, ocorre o aquecimento do material favorecendo a deformação do composto final (SPETCH, 2004).

Dados da *Rubberized Asphalt Concrete Technology Center* (RATC) comprovam que rachaduras no pavimento asfáltico faz com que a água se infiltre nas camadas inferiores da via, e, então, surgem buracos e conseqüentemente deteriorando a superfície. O pavimento borracha possui propriedades físico-químico superiores quando comparadas ao do asfalto tradicional, posto que afim de não se tornar quebradiço, a química contida na borracha retarda a oxidação do asfalto que juntamente com a sua maior flexibilidade, o asfalto emborrachado resiste e reduz a quantidade de rachaduras. Dessa forma, a mistura final tem melhor adesividade aos agregados, maior aderência pneu-pavimento, além de ser altamente resistente ao trincamento como: rupturas, fissuras, etc., e assim, ocorre o envelhecimento, a partir do processo de ajuntamento de antioxidantes e inibidores de raios ultravioletas na borracha.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

Neste capítulo delinea-se os métodos utilizados na pesquisa empírica, as abordagens utilizadas, os critérios para aplicação dos instrumentos de pesquisas e suas etapas. A pesquisa empírica requer habilidades múltiplas do pesquisador, porque há necessidade de aptidão para realizar uma pesquisa, cujas etapas não são previamente definidas. As habilidades dizem respeito a realizar entrevistas informais, observar e analisar documentos e capacidade de analisar e interpretar dados, sem o recurso estatístico, instrumento dos pesquisadores experimentais ou de levantamento.

3.1 Desenho da pesquisa

Esta dissertação quanto ao aprofundamento, trata-se de uma pesquisa descritiva. Quanto à natureza classifica-se como quantitativa. A pesquisa descritiva tem como característica descrever os fatos e fenômenos de uma determinada realidade e, que para tanto, o pesquisador necessita de uma série de informações sobre o que deseja pesquisar.

Esta pesquisa quanto à coleta de dados, classifica-se como bibliográfica e documental. A pesquisa bibliográfica, segundo Gerhardt e Silveira (2009, p. 66), é “[...] desenvolvida a partir de material já elaborado constituído principalmente de livros e artigos científicos”. A pesquisa bibliográfica e documental teve como base um estudo empírico, tendo como objetivo a pesquisa exploratória. A pesquisa bibliográfica fundamenta-se:

[...] em fontes bibliográficas; ou seja, os dados são obtidos a partir de fontes escritas, portanto, de uma modalidade específica de documentos, que são obras escritas, impressas em editoras, comercializadas em livrarias e classificadas em bibliotecas (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 69).

A coleta de dados da dissertação foi realizada através de pesquisa Bibliográfica retiradas de páginas eletrônicas como: ANP, DNIT, entre outros sites, livros e revistas sobre pavimentação asfáltica, pesquisa de campo com Engenheiros

de concessionárias de rodovias, bem como trabalhos e artigos relacionados ao tema.

A pesquisa documental é realizada a partir de “[...] documentos, contemporâneos ou retrospectivos, considerados cientificamente autênticos (não-fraudados), a fim de descrever/comparar fatos sociais, estabelecendo suas características ou tendências” (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 69). Foi realizada uma busca por materiais tanto elaborados por autores quanto dados no site da cidade e do empreendimento estudado.

3.2 Local e delimitação da área

A coleta de dados foi realizada no período de março de 2015 a dezembro de 2018 na cidade de Goiânia, localizada no Centro-Oeste brasileiro (Figura 12).



Figura 12: Localização de Goiânia.
Fonte: Google (2018).

Segundo dados do IBGE o Estado de Goiás possui uma população de 6.778.772 habitantes, alta de 1,24% em relação aos 6.695.855 habitantes de 2016,

segundo estimativa do IBGE. Goiânia detém 21,63% da população do Estado, com uma taxa de crescimento de 1,24% entre 2016 e 2017. Para identificar o local de pesquisa foi utilizada o Programa Qgis e imagem do Google Earth Pro.



Figura 13: Mapa de localização do Residencial Jardim do Cerrado III.
Fonte: Autor (2019).

Na pesquisa foi analisado o projeto de pavimentação asfáltica do Residencial Jardim do Cerrado III, que possui duas avenidas e vinte ruas, sendo um total de 9,06 km de extensão pavimentados, ou seja, 66.840 km², situado na cidade de Goiânia–GO. Projeto esse que foi executado como obra direta pela Prefeitura Municipal de Goiânia, com verba concedida pela Caixa Econômica Federal (CEF) por meio do programa Pró-Transporte, Mobilidade, Pavimentação e Qualificação de Vias Urbanas do Ministério das Cidades. A verba de mais de R\$ 91 milhões foi destinada à execução de pavimentação asfáltica, drenagem de águas pluviais, passeios e sinalização viária da capital.

A Figura 14 mostra o local da pesquisa:



Figura 14: Pavimentação asfáltica convencional no Residencial Jardim do Cerrado III.

Fonte: Autor (2018)

3.2 Coleta de informações, métodos encontrados e materiais utilizados

3.2.1 Variáveis

Viabilidade técnica

No primeiro foi realizada uma visita à Agência Municipal de Obras (AMO) da Prefeitura Municipal de Goiânia, com o intuito de obter informações sobre o projeto da pavimentação asfáltica do setor Jardim do Cerrado III.

Foi analisado o item “6 – CRITÉRIO TÉCNICOS” do referido projeto, em que a capa asfáltica foi em C.B.U.Q. numa espessura de 0,03m a 0,05m. O teor de betume foi de 6% em peso e a faixa granulométrica em “C” do DNIT 031/2006-ES das Especificações Gerais para Obras Rodoviárias do DNIT, o CAP-20 ou similar empregado deverá ser o de penetração 50/60 ou 85/100. 6.2. Os serviços de terraplenagem e pavimentação serão controlados com base nas Especificações Gerais para Obras Rodoviárias do DNER. 6.3. Quando da execução da capa asfáltica a imprimação receberá banho de ligação com taxa de 0,5 l/m² de emulsão asfáltica tipo RR-1C. O custo do material ligante está incluído na composição do custo do C.B.U.Q. 6.4. Os ensaios utilizados são: Proctor normal - 5 camadas, 16

golpes, soquete 10 lbs e Proctor intermediário - 5 camadas, 29 golpes, soquete 10 lbs.

No segundo momento, foi realizada visita à SEINFRA, para coletar informações e dados sobre o maquinário disponibilizado na obra. Foi necessário também realizar visita em uma usina privada localizada em Goiânia, a fim de realizar comparativo da estrutura da produção de CBUQ.

Viabilidade econômico-financeira

As informações sobre a quantidade de CBUQ utilizado foram retiradas do projeto da AMO. Nas Tabelas 2, 3 e 4 são mostradas as vias que foram pavimentadas, sua classificação de tráfego quanto a peso e tipo de pavimento utilizado.

Tabela 2: Relação de Ruas e Avenidas com tráfego pesado e capa em CBUQ - e=3,0 cm.

Rua/Avenida	Comprimento	Largura	Classificação	Tipo de Revestimento
Av. Rainha dos Lagos-D	269,64	9	Tráfego Pesado	CBUQ 3,0 cm
Av. Brasil-D	957,94	9	Tráfego Pesado	CBUQ 3,0 cm
Av. Brasil-E	961,19	9	Tráfego Pesado	CBUQ 3,0 cm
Av. das Américas-D	412,42	9	Tráfego Pesado	CBUQ 3,0 cm
Av. das Américas-E	412,42	9	Tráfego Pesado	CBUQ 3,0 cm
Rotatória 1	201,06	12	Tráfego Pesado	CBUQ 3,0 cm
Rotatória 2	201,06	12	Tráfego Pesado	CBUQ 3,0 cm

Fonte: Projeto do Jardim do Cerrado III (2012).

Tabela 3: Relação de Ruas e Avenidas com tráfego médio/leve e capa em TSD - e=2,5 cm.

Rua/Avenida	Comprimento m	Largura m	Classificação	Tipo de Revestimento cm
R. Luiza M. Coimbra Bueno	909,12	9	Tráfego Médio	Tsd 2,5
R. Angra dos Reis	396,61	7	Tráfego Leve	Tsd 2,5
R. da Amizade	436,45	7	Tráfego Leve	Tsd 2,5
R. da Paz	364,91	7	Tráfego Leve	Tsd 2,5
R. das Camomilas	993,56	7	Tráfego Leve	Tsd 2,5
R. dos Cactos	67,69	7	Tráfego Leve	Tsd 2,5
R. dos Crisântemos	473,50	7	Tráfego Leve	Tsd 2,5
R. dos Gerânios	74,03	7	Tráfego Leve	Tsd 2,5
R. José Epitacio Medeiros	969,44	7	Tráfego Leve	Tsd 2,5

Fonte: Projeto do Jardim do Cerrado III (2012).

Tabela 4: Relação de Ruas e Avenidas com tráfego muito leve e capa em TSD - e=2,5 cm.

Rua/Avenida	Comprimento m	Largura m	Classificação	Tipo de Revestimento cm
R. das Baronezas	309,27	7	Tráfego Muito Leve	Tsd 2,5
R. das Begônias	281,67	7	Tráfego Muito Leve	Tsd 2,5
R. das Bromélias	268,39	7	Tráfego Muito Leve	Tsd 2,5
R. das Buganvileas	241,89	7	Tráfego Muito Leve	Tsd 2,5
R. das Cicas	217,29	7	Tráfego Muito Leve	Tsd 2,5
R. das Gardênias	170,16	7	Tráfego Muito Leve	Tsd 2,5
R. das Heras	60,62	7	Tráfego Muito Leve	Tsd 2,5
R. das Orquídeas	368,44	7	Tráfego Muito Leve	Tsd 2,5
R. dos Copos-De-Leite	203,80	7	Tráfego Muito Leve	Tsd 2,5
R.Flor da Noite	384,10	7	Tráfego Muito Leve	Tsd 2,5

Fonte: Projeto do Jardim do Cerrado III (2012).

Foram realizados cálculos comparativos da quantidade de CBUQ utilizado tanto no convencional como no de borracha. No mês de maio de 2018, foi levantado junto ao DNIT, dados referentes aos valores de Kg dos produtos asfálticos convencional e modificado de borracha. Para a pesquisa foi necessária a transformação da unidade de medida de quilograma para tonelada.

Tabela 5: Preço médio mensal ponderado praticado pelos distribuidores de produtos asfálticos (R\$/kg) - CAP MODIFICADO POR BORRACHA DE PNEU AB22.

Mês	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
mar/18	***	***	2,09820	***	2,02367	2,03428
abr/18	***	***	2,10020	***	2,06749	2,07406
mai/18	***	***	***	1,81970	2,18753	2,16138
jun/18	***	***	***	1,96350	2,21243	2,12023
jul/18	***	***	***	2,12170	2,27665	2,24296
ago/18	***	***	***	2,29724	2,39635	2,37202
set/18	***	***	***	2,29420	2,26474	2,27077
out/18	***	***	***	2,29883	2,33568	2,32478
nov/18	***	***	***	***	2,42983	2,42983
dez/18	***	***	***	***	2,71396	2,71396

Fonte: ANP (2018).

Tabela 6: Preço médio mensal ponderado praticado pelos distribuidores de produtos asfálticos (R\$/kg) - CIMENTOS ASFÁLTICOS CAP-50-70

Mês	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
jan/18	1,78839	1,64223	1,85168	1,59067	1,61302	1,64469
fev/18	1,79740	1,61046	1,79137	1,59938	1,60347	1,62125
mar/18	1,80136	1,60646	1,89570	1,61174	1,60363	1,63886
abr/18	1,79117	1,60509	1,85750	1,60068	1,63963	1,65621
mai/18	1,91350	1,72470	1,94544	1,71406	1,71421	1,75733
jun/18	2,06556	1,82240	2,09132	1,79948	1,79854	1,85966
jul/18	2,06863	1,94514	2,14078	1,94030	1,94465	1,97560
ago/18	2,22535	2,09576	2,48041	2,10243	2,09698	2,13972
set/18	2,32425	2,12340	2,49274	2,12942	2,09898	2,17295
out/18	2,25359	2,14762	2,29321	2,17959	2,14252	2,17957
nov/18	2,48338	2,40275	2,86506	2,42959	2,41113	2,44337
dez/18	2,49081	2,42093	2,70932	2,42824	2,45480	2,45567

Fonte: ANP (2018).

Viabilidade de impacto de CO₂

Nesta variável foram levantados dados gerais obtidos por meio de estudos correlatos disponibilizados na *internet*. O estudo base para a análise da diminuição de CO₂ foi baseado nos achados de Lafarge (2010) e Sanches *et al.* (2012), e ainda, as resoluções do CONAMA: Resolução n. 258/1999; n. 301/2002; n. 416/2009; Braga (2005); Greca Asfaltos (2011) e Orsi e Simon (2015).

Ao tratar da principal Resolução n. 258 do CONAMA de 1999, que traz para a pesquisa a preocupação da legislação brasileira em garantir que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficaram obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis. E, ainda a referida resolução estabeleceu os prazos e quantidades para coleta e destinação final de pneus inservíveis, de forma ambientalmente adequada. Porém, cabe esclarecer que apesar de esta resolução ter sido publicada em 1999, estava condicionado em seus artigos 7º e 8º que somente a partir de 1 de janeiro de 2002, as empresas importadoras e fabricantes, deveriam comprovar junto ao Ibama anualmente a destinação final dos pneus inservíveis de forma ambientalmente adequada.

CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO NO RESIDENCIAL JARDIM DO CERRADO III

4.1 Viabilidade Técnica

Visto o que pede o projeto, buscou se comprovar a viabilidade técnica e financeira da substituição do CBUQ convencional pelo CBUQ modificado por borracha triturada de pneus inservíveis, considerando se o processo Via Seca e Via Úmida e as possíveis necessidades de adaptação nos equipamentos e ou usina de asfalto para este fim.

Neste estudo foram analisadas as seguintes possibilidades, primeira, a produção do CBUQ convencional e modificado por borracha de pneus inservíveis, pela usina de asfalto da Secretaria Municipal de Infraestrutura e Obras Públicas (SEINFRA) da Prefeitura de Goiânia, segunda, a usinagem do CBUQ convencional, e CBUQ modificado por borracha produzido por usina terceirizada vencedora de licitação conforme pede a lei de licitações públicas Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 8.666/1993, nos dois casos foi analisada a produção Via Úmida com o Asfalto Modificado por Borracha (AMB), produzido pelo processo Terminal *Blend* fornecido por empresa produtora deste insumo também vencedora de licitação para compra do produto.

A usina própria da secretaria de obras da prefeitura de Goiânia é do modelo SUPER UA2, marca CIBER ano 1981, tipo Gravimetrica com capacidade de produção de 60 a 80 t/h. Atualmente a usina encontra-se defasada sem a devida manutenção, o filtro de mangas, por exemplo, sofre com a ação da corrosão o que provoca vazamento de pó³.

Evitando que seja lançado à atmosfera, preservando o meio ambiente, a correia de transporte de agregado para o secador está desgastada e teve parte da sua espessura total removida o que diminuiu a capacidade de transporte, conseqüentemente a capacidade de produção da usina foi afetada. Além do fato de a caldeira de aquecimento do CAP neste caso do modelo TENGE, com aquecedor

³ É o Filtro de Mangas – responsável pela retenção dos finos de menor granulometria passante na peneira 200.

de óleo térmico de 400kcal/h e retificador de temperatura auxiliar para 150°C, não atende a temperatura de armazenamento do AMB.

De modo que todos os reparos para a plena reativação da usina e modificações necessárias no sistema de aquecimento e caldeira, para que ela esteja apta a rodar o CBUQ modificado por borracha inviabilizaria a produção em usina própria, pelo processo Via Úmida que seria a opção mais provável visto que na região não foram encontrados fornecedores de borracha a ser utilizada na granulometria adequada no processo Via Seca de modo que a borracha seria usada como um agregado, usualmente dito (agregado borracha) e misturado diretamente aos demais componentes da massa durante o processo de usinagem.

Deste modo, considera-se oneroso à produção em usina própria, considerando se somente a obra em questão neste estudo, por causa das condições de conservação da usina e pelo fato de a pedreira e britadores da secretaria de obras (SEINFRA) com o ritmo atual de exploração não suprirem a demanda de insumos como: agregado graúdo e miúdos e finos.

Na Figura 15 pode se constatar as condições da usina de asfalto da SEINFRA da Prefeitura de Goiânia.



Figura 15: Usina marca Ciber, modelo SUPER UA2 da Secretaria de Obras.
Fonte: SEINFRA

A SEINFRA tem um laboratório de análise de solos agregados e massa asfáltica que não está devidamente equipado para fazer o controle tecnológico do CBUQ convencional ou modificado por borracha. Na Figura 16 é possível ver a precariedade do laboratório.



Figura 16: Laboratório de Análises de Materiais da SEINFRA.

Fonte: SEINFRA

Na análise de viabilidade técnica, há vários fatores que são influenciados positivamente pelo uso do AMB no pavimento, estudos e acompanhamentos de trechos experimentais executados por estudiosos da área e também pela equipe de pesquisa e desenvolvimento da Greca Asfaltos que é a pioneira no estudo e uso do asfalto borracha no Brasil.

Segundo Greca Asfaltos (2006) no fim do ano 2000, procurando respaldar técnica e cientificamente a pesquisa do Asfalto Borracha, o grupo Greca Asfaltos participa e consagra um Convênio de Cooperação Técnica com o Laboratório de Pavimentação (LPAV)⁴ da Universidade Federal do Rio Grande do Sul Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Assim surgiu o Asfalto

⁴ Considerado o centro de referência nacional na área de pesquisas rodoviárias.

Ecológico, também denominado comercialmente como ECOFLEX, que foi especialmente fabricado para consumir pneus inservíveis e melhorar as propriedades do asfalto comum.

Após pesquisa bibliográfica e estudos de laboratório em torno de ligantes e de misturas asfálticas, em meados de agosto de 2001, foi implantado o trecho experimental de CBUQ confeccionado com asfalto borracha na rodovia BR 116/RS, trecho Guaíba – Camaquã, consolidando efetivamente uma iniciativa pioneira de aplicação desta técnica.

O segmento teste localizado no km 319 desde então vem sendo monitorado para avaliação de desempenho da camada aplicada de aproximadamente 3 cm de mistura asfáltica densa. Seu comportamento em termos de retardar a reflexão de trincas é bem superior ao dos revestimentos construídos com ligante tradicional e com ligante modificado por 3% de Estireno Butadieno Estireno (SBS) localizados no mesmo segmento teste. Os segmentos executados com ligante CAP 20 e com ligante com polímero, por terem trincado de forma significativa, já foram cobertos com uma camada de micro revestimento asfáltico, enquanto o segmento com Ecoflex apresenta-se praticamente sem trincas por fadiga.

Desse modo, a partir do monitoramento do trecho experimental constatou-se a superioridade do desempenho da mistura asfáltica com o Ecoflex que é o ligante com borracha, o qual neste estudo se propõe o uso, no trecho experimental da Greca Asfaltos à resistência do AMB a reflexão de trincas foi maior que a do ligante convencional e a do ligante modificado por polímero SBS, assim o pavimento executado com esses dois últimos ligantes precisaram de manutenção/reparos (cobertura com micro revestimento – processo oneroso) muito antes do CBUQ emborrachado, o asfalto borracha mostrou-se também efetivo contra as trincas por fadiga, que é uma das principais patologias do asfalto convencional.

Segundo estudos feitos na UFRGS, pavimentos com asfalto borracha resistem aproximadamente seis vezes mais à propagação de trincas se comparados a pavimentos convencionais. Neste estudo, o pavimento convencional fadigou devido a trincas após 90 mil ciclos do Simulador de Tráfego DAER/UFRGS, enquanto que o pavimento de asfalto borracha sofreu trincamento com 500 mil ciclos. Isso ocorre devido à capacidade de deformação dos materiais. Enquanto o asfalto convencional não apresenta elasticidade e estabilidade sob condições adversas, o asfalto borracha possui elasticidade e ponto de

amolecimento superior, o que permite a construção de pavimentos com melhor desempenho e conseqüentemente maior vida útil (SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, 2012).

Segundo Greca Asfaltos (2011) o ligante modificado por borracha granulada de pneus ou simplesmente asfalto borracha, apresenta as seguintes características:

- Redução da suscetibilidade térmica: misturas com ligante asfalto borracha são mais resistentes às variações de temperatura, quer dizer, o seu desempenho tanto a altas como a baixas temperaturas é melhor quando comparado com pavimentos construídos com ligante convencional;
- Aumento da flexibilidade, devido a maior concentração de elastômeros na borracha de pneus;
- Melhor adesividade aos agregados;
- Aumento da vida útil do pavimento;
- Maior resistência ao envelhecimento: a presença de antioxidantes e negro de fumo na borracha de pneus auxiliam na redução do envelhecimento por oxidação;
- Maior resistência à propagação de trincas e a formação de trilhas de roda;
- Permite a redução da espessura do pavimento;
- Proporciona melhor aderência pneu-pavimento;
- Redução do ruído provocado pelo tráfego entre 65 e 85%.
- Todo esse conjunto de características faz do pavimento executado com AMB mais resistente tanto em altas quanto em baixas temperaturas, tornando-se assim durável e com baixa exigência de manutenção.

Os desempenhos do asfalto borracha e do asfalto convencional podem ser avaliados por meio de diversos ensaios de laboratório como, por exemplo: Ponto de Amolecimento; Ductilidade; Adesividade; Viscosidade; Penetração, dentre outros (BERNUCCI et al., 2007).

De acordo com Bertollo et al. (2002) o asfalto tem uma vida útil determinada. Uma estrada não é construída para durar 50 anos. Ela é feita para durar cerca de

10 anos, porque existe o processo natural de envelhecimento do ligante asfáltico, que é um produto perecível. Mas quando se funde a borracha com o asfalto, sua vida útil passa a ser de 25 a 30 anos.

4.2 Produção de CBUQ

Considerando se a produção do CBUQ dos dois tipos em usina terceirizada tem-se que:

A vencedora do processo licitatório de aquisição da massa asfáltica para a pavimentação dos bairros contemplados pelo programa Pró-Transporte, Mobilidade, Pavimentação e Qualificação de Vias Urbanas do Ministério das Cidades, que fornecera o CBUQ convencional faixa C do DNIT como pede o projeto. A fornecedora utiliza no seu processo de produção do CBUQ a usina da marca Ciber, modelo (UACF 17P-2), gravimétrica, com contra fluxo e peneira vibratória que permite a seleção da granulometria dos agregados conforme o tipo de mistura asfáltica (GG ou OP), com capacidade de produção de 80 a 120 t/h. Esse modelo de usina tem capacidade de produzir o CBUQ modificado com borracha sem a necessidade de se fazer alterações, o que possibilita o uso do asfalto borracha na pavimentação do Jardim Cerrado.

A usina da fornecedora, como pode se ver na Figura 17 é de um modelo moderno e com grande capacidade de produção.



Figura 17: Usina de asfalto da fornecedora terceirizada.
Fonte: Autor (2017)

Além de uma usina com alta capacidade de produção e que atende aos requisitos do AMB, a fornecedora conta com laboratórios muito bem equipados e técnicos altamente capacitados para fazer o controle tecnológico da massa produzida, o que garante que a produção esteja de acordo com o que pede o projeto e as normas pertinentes, na Figura 18 vê se um do laboratório da fornecedora.



Figura 18: Laboratório de campo da fornecedora, instalado junto à usina.

Fonte: Autor (2017)

Analisados os dados anteriormente citados, conclui-se que a massa adquirida de empresa terceirizada apresenta por vários fatores maior viabilidade técnica, para os dois tipos de massa, convencional e modificado por borracha, visto que a empresa tem total capacidade de produção e controle de qualidade.

4.3 Viabilidade econômico-financeira

Na análise de viabilidade financeira da substituição do CBUQ convencional pelo CBUQ modificado por borracha triturada de pneus inservíveis, na pavimentação do residencial Jardim do Cerrado III foram considerados os seguintes parâmetros na quantificação do volume e massa tanto convencional quanto o modificado por borracha. Foi considerada uma mesma espessura de capa para os dois tipos de CBUQ.

A redução de espessura, também com Asfalto Borracha foi possível e se justifica com base em estudos internacionais e nacionais que indicam reduções de espessura de até 50% (como no caso da norma californiana e sul-africana) quando da utilização de misturas com ligante modificado por borracha de pneus. No Brasil, dentro do âmbito das aplicações realizadas pela Greca Asfaltos (2006), em aproximadamente 80% dos casos, foi projetada uma redução de espessura em relação ao projeto original.

Esta redução depende da análise mais elaborada da deformabilidade da estrutura, do tráfego da rodovia, do clima da região e do tipo de mistura asfáltica com Asfalto Borracha utilizada, podendo variar de 20 a 30% da espessura do revestimento prevista com ligante convencional (no caso de misturas asfálticas densas). O projeto de pavimentação adequado com redução de espessura dever ser realizado por consultor especializado (GRECA ASFALTOS, 2006).

Sendo que não é objeto de estudo a redução de espessura do pavimento, como já citado, mantido a espessura de 3 cm para o CBUQ modificado por borracha assim como o projeto pede para o CBUQ convencional. A Tabela 7 refere-se aos quantitativos das vias que foram pavimentadas.

Tabela 7: Grandezas e quantitativos das vias a serem pavimentadas.

Avenida/Rua	Largura da Capa(m)	Comp. Total (m)	Area de Capa (m²)	Volume de Cbuq (m³)	Massa do CBUQ (t)
<i>Das Baronezas</i>	6,85	30 8,23	2111,35	63,34	158,35
<i>Da Amizade</i>	6,85	43 6,45	2989,66	89,69	224,22
<i>Das Begonias</i>	6,85	15 4,67	1059,47	31,78	79,46
<i>Das Bromelias</i>	6,85	14 1,39	968,50	29,06	72,64
<i>Bem-Me-Quer</i>	6,85	39 6,61	2716,80	81,50	203,76
<i>Das Baganvileas</i>	6,85	24 1,88	1656,88	49,71	124,27
<i>Dos Copos-De-Leite</i>	6,85	23 0,85	1581,32	47,44	118,60
<i>Da Paz</i>	6,85	36 4,91	2499,61	74,99	187,47
<i>Das Cicas</i>	6,85	21 7,21	1487,92	44,64	111,59
<i>Angra Dos Reis</i>	6,85	33 7,32	2310,61	69,32	173,30
<i>Das Heras</i>	6,85	6 0,62	415,23	12,46	31,14
<i>Dos Cactos</i>	6,85	6 7,69	463,67	13,91	34,78
<i>Dos Geranios</i>	6,85	7 4,03	507,08	15,21	38,03
<i>Das Gardenias</i>	6,85	17 0,10	1165,20	34,96	87,39
<i>Das Camomilas</i>	6,85	99 3,57	6805,94	204,18	510,45
<i>Flor-Da-Noite</i>	6,85	38 4,09	2630,98	78,93	197,32
<i>Dos Crisantemos</i>	6,85	47 3,50	3243,48	97,30	243,26
<i>Das Orquideas</i>	6,85	36 8,44	2523,79	75,71	189,28
<i>José Epitácio Mendeiros</i>	6,85	96 9,44	6640,65	199,22	498,05

Cont.

<i>Avenida/Rua</i>	Largura da Capa(m)	Comp. Total (m)	Area de Capa (m²)	Volume de Cbuq (m³)	Massa do Cbuq (t)
<i>Luiza M. Coimbra Bueno</i>	6,85	90 9,12	6227,50	186,82	467,06
<i>Av Rainha-Das-Lagoas-D</i>	8,85	26 9,64	2386,31	71,59	178,97
<i>Av Rainha-Das-Lagoas-E</i>	8,85	26 9,64	2386,31	71,59	178,97
<i>Av. Das Américas-D</i>	8,85	41 2,42	3649,92	109,50	273,74
<i>Av. Das Américas-E</i>	8,85	41 2,42	3649,92	109,50	273,74
<i>Rotatória 1</i>	11,85	20 1,06	2382,56	71,48	178,69
<i>Rotatória 2</i>	11,85	20 1,06	2382,56	71,48	178,69
Total		906 6,33	66843,21	2005,30	5013,24
		Área Total De Capa (M²)			66843,21
		Comprimento Total A Ser Pavimentado			9066,33
		Largura Da Faixa De Capa (M)			6,85
		Largura Da Faixa De Capa Em Avenidas (M)			8,85
		Largura Da Faixa De Capa Em Rotatórias (M)			11,85
		Espessura Da Capa (M)			0,03
		Peso Específico Do CBUQ (T/M³)			2,5
		Volume De CBUQ (M³)			2005,30
		Quantidade Total De CBUQ (T)			5013,24

Fonte: Autor (2018)

Tem-se a mesma quantidade de CBUQ tanto para o convencional quanto para o modificado por borracha. Segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP), o valor do preço médio mensal ponderado praticado pelos distribuidores de produtos asfáltico em abril de 2018 no Centro-Oeste do cimento asfáltico CAP 50-70 foi de R\$ 1,85750 o Kg, enquanto, o CAP modificado por borracha de pneus AB22 ficou em R\$ 2,0020 o Kg. Deste modo na Tabela 8 tem-se os quantitativos o de CBUQ utilizado neste empreendimento.

Tabela 8: Cálculo da quantidade de CBUQ a ser utilizada.

REVESTIMENTO EM CBUQ CONVENCIONAL:	REVESTIMENTO EM CBUQ COM ASFALTO BORRACHA:
$(7300,12 \text{ m} \times 6,85 \text{ m} + 1364,12 \text{ m} \times 8,85 \text{ m} + 402,12 \text{ m} \times 11,85 \text{ m}) \times 0,03 \text{ m} \times 2,5 \text{ t/m}^3 = 5.013,26 \text{ t}$	$(7300,12 \text{ m} \times 6,85 \text{ m} + 1364,12 \text{ m} \times 8,85 \text{ m} + 402,12 \text{ m} \times 11,85 \text{ m}) \times 0,03 \text{ m} \times 2,5 \text{ t/m}^3 = 5.013,26 \text{ t}$

Fonte: Autor (2018)

Na análise do somatório do comprimento de cada rua pela sua largura de capa multiplicado pelo produto da espessura da capa e peso específico do material, chegou-se a quantidade de 5.013,26 t de CBUQ utilizada para a pavimentação de toda a etapa Jardim do Cerrado III. Tem-se na Tabela 9 os valores médios encontrados no mercado regional, para os serviços de usinagem/aplicação e por meio destes o custo do asfalto utilizado e custo total da obra.

Tabela 9: Custos de usinagem/aplicação e custos totais.

	GRANDEZAS	CÁLCULO	UNIDADE	ASFALTO CONVENCIONAL CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA AB22
a	Quantidade de massa asfáltica de CBUQ		t	5.013,26	5.013,26
b	Custo de usinagem 20% do CAP		R\$/t	371,5	420,04
c	Quantidade de massa x custo de usinagem	axb	R\$	1.862.426,09	2.105.769,73
d	Custo do CAP		R\$/t	1.857,5	2.100,2
e	Custo do CBUQ	axd	R\$	9.312.130,45	10.528.848,65
f	Custo total da obra	cx d	R\$	11.174.556,54	12.634.618,38

Fonte: Autor (2018)

Considerando que o custo de usinagem e aplicação do asfalto borracha foi de R\$ 420,04 (quatrocentos e vinte reais e quatro centavos) sendo assim, o valor de R\$ 48,54 (quarenta e oito reais e cinquenta e quatro centavos) foi mais caro que o asfalto convencional, que tem o custo de usinagem de R\$ 371,50, em que o teor de ligante no CBUQ modificado com borracha é de 5,5% logo tem se que o aumento de custo quando se utiliza o revestimento de CBUQ com asfalto borracha, dada em porcentagem pelo cálculo:

$$\% \text{ Aumento de Custo} = \frac{(12.634.618,38 - 11.174.556,56) \times 100}{11.174.556,56}$$

São mostrados na Tabela 10 o valor a ser pago a mais pela pavimentação em asfalto borracha e o percentual correspondente em relação ao custo da pavimentação em asfalto convencional.

Tabela 10: Diferença de custo para uso do CBUQ com borracha substituindo o convencional.

AUMENTO DE CUSTO DO CBUQ COM ASFALTO BORRACHA EM SUBSTITUIÇÃO AO CAP 50/70	R\$	1.460.061,82
	%	13,07

Fonte: Autor (2018)

Deste modo, contata-se que o CBUQ modificado por borracha tem um custo de R\$ 1.460.061,82 mais caro que o CBUQ convencional, esse valor corresponde à um custo inicial de 13,07% maior que o convencional. Partindo-se de um custo 13,07% maior o AMB pode não parecer interessante, mas para se ter noção real da viabilidade financeira é necessário que se faça análise mais aprofundada considerando-se a vida útil do pavimento com adição de borracha. Pois, esta chega a ser até três vezes maior que a do pavimento convencional (BERTOLLO, *et al.* 2002).

É necessário também considerar quanto de manutenção cada tipo de pavimento usa durante sua vida útil, para assim, se chegar ao real custo deste tipo de pavimento. Devida à dificuldade de se obter registros de custo de manutenção de pavimentos urbanos na cidade de Goiânia, onde se dá o presente estudo, foram utilizados outros trabalhos científicos para auxiliar na avaliação da viabilidade financeira.

Para a viabilidade financeira de uso do AMB em relação ao convencional, foi realizado o estudo de uma via, onde foi executado 2/3 de asfalto convencional tipo CAP 50/70 e o restante em asfalto borracha tipo AB-8, foram analisados dois trechos de mesmo comprimento desta via, um para cada tipo de asfalto, depois de sete anos da execução e de uso da via em estudo, chegou-se aos seguintes preços finais para os pavimentos, com cada um dos tipos de asfaltos citados.

De acordo com Sanches *et al.* (2012) analisando os dois trechos de cada tipo de pavimento é possível verificar o maior desgaste por parte do asfalto convencional. Como os dois modelos estiveram sob ação das mesmas intempéries, podem se associar os defeitos somente ao tipo de material utilizado.

Após sete anos de utilização da via em estudo, fez-se uma análise e chegou-se à conclusão que aproximadamente 70% do trecho com CAP-50/70 sofreu algum tipo de manutenção, enquanto, o asfalto borracha precisou somente de 10% de reparo. Deste modo na Tabela 11, tem-se o comparativo dos valores.

Tabela 11: Custo de execução e manutenção do asfalto durante sete anos.

Tipos de Asfalto	Custo de Execução (R\$)	Manutenção em %	Custo de Manutenção (R\$)	Custo de Execução e Manutenção (R\$)
Asfalto Convencional	11.174.556,56	70	7.882.189,59	19.056.746,15
Asfalto Borracha	12.634.618,38	10	1.263.461,84	13.898.080,22

Fonte: Autor (2018)

Assim, o asfalto borracha passa a ficar mais barato em relação ao convencional, dado e porcentagem pelo cálculo.

$$\% \text{execução e manutenção} = \frac{(19.056.746,15 - 13.898.080,22) \times 100}{13.898.080,22}$$

$$\% \text{execução e manutenção} = 37,12$$

Somando-se a execução e a manutenção tem-se um custo (37,12%) maior para o asfalto convencional neste período de sete anos. Tendo em vista a viabilidade financeira citada, tem-se que o pavimento com asfalto borracha tem seu custo diminuído ao longo da sua vida útil, devido à baixa necessidade de manutenção, chegando a um custo final de até (37,12%) menor que o pavimento com asfalto convencional.

4.3.1 Quantidade de pneus reaproveitados

Considerando-se que o ligante ECOFLEX, sugerido neste estudo para compor o CBUQ modificado por borracha tem 20% de borracha moída de pneus inservíveis, pode-se chegar a uma estimativa do número de pneus reaproveitados na produção da massa asfáltica, destinados a um fim ecologicamente correto de acordo com a Resolução n. 258/99 (BRASIL, 1999).

Segundo Greca Asfaltos (2011), para cada tonelada de ECOFLEX tem-se 800 quilos de ligante e 200 quilos de borracha de pneus moída, o que corresponde em média a (dois pneus de carga com aproximadamente 50 kg cada, mais 16 pneus de passeio com aproximadamente seis kg cada). Para pavimentar o Residencial Jardim do Cerrado III, foram necessárias 5.013,26 toneladas de CBUQ emborrachado, sendo a taxa de ligante de 5,5% seriam utilizadas 276 toneladas do

ECOFLEX o que resultaria em 552 pneus de carga mais 4.412 pneus de passeio, resultando em total de 4.964 reutilizados, convertendo este número para um número equivalente em pneus de passeio tem-se um total de 8.833 reciclados.

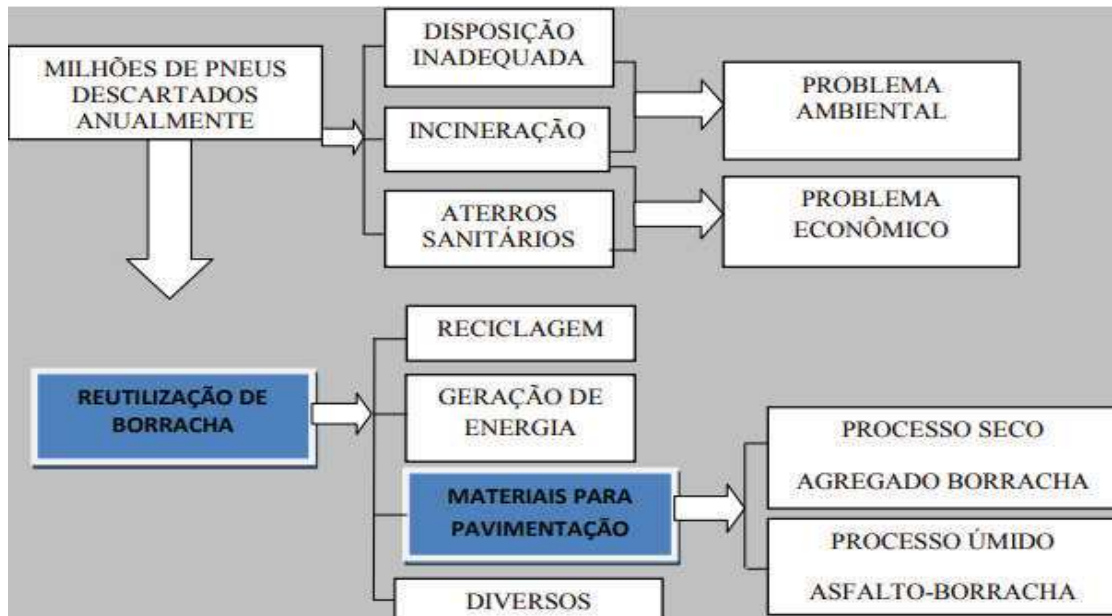


Figura 19: Esquema do reaproveitamento de pneus.

Fonte: Autor (2019).

Na Figura 20 pode-se ver o que segundo Edel (2010) seria também uma forma de se estimar o consumo de pneus, e distribuindo um pneu por unidade de distância ele conseguiu chegar à estimativa de que para cada um quilometro de rodovia de pista simples utilizam-se em média 4.000 pneus.



Figura 20: Imagem ilustrativa da proporção de pneus usados.

Fonte: Edel (2010).

Esse quantitativo de pneu retirado da natureza levaria até 600 anos para se decomporem, é importante para que a cidade e o país como um todo, esteja livre da degradação ambiental causada por pneus descartados indevidamente e ainda desenvolvendo ações sustentáveis.

4.4 Análise do pavimento sustentável

Em 1999, foi aprovada a Resolução nº 258/1999 do CONOMA, a primeira lei voltada, especificamente, para regularização do destino dos pneus no Brasil. Em 2002, foram realizadas alterações em busca de melhor aplicabilidade das normas e Resolução nº 301/2002 passa, então, a vigorar.

Com isso foi determinada obrigatória a responsabilidade, dos produtores e importadores de pneus, de todo o ciclo de vida dos produtos gerados, incluído a etapa do pós-consumo. As empresas devem cumprir as metas determinadas, organizar o sistema de coleta e prover a destinação adequada para os pneus inservíveis. Conforme o art. 1º, os agentes participativos do ciclo da vida do pneu como comerciantes, distribuidores, poder público e consumidores também devem atuar como corresponsáveis no gerenciamento do sistema de coleta dos pneus usados (BRASIL, 2009).

No Brasil, a fim de reduzir os impactos negativos que o descarte inadequado dos pneus inservíveis pode causar, o material possui diversas formas de reutilização, sendo uma delas na produção de asfalto borracha. De acordo com a resolução CONAMA nº 416/2009, art. 15º, o descarte de pneus em áreas como: terrenos baldios, em córregos e rios, regiões alagadas, aterros sanitários é proibido, assim como, a queima do material. Com isso, o termo “destinação ambientalmente adequado de pneus inservíveis” é definido no art. 2º, inciso VI, como:

Procedimento técnico em que os pneus são descaracterizados de sua forma inicial, e que seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados por outra(s) técnica(s) admitida(s) pelos órgãos ambientais competentes, observando a legislação vigente e norma operacional específica de modo a evitar danos ou risco à saúde pública e à segurança, e minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2009).

A emissão dos chamados de Gases Efeito Estufa (GEE), Dióxidos de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O) e Clorofluorcarbonos (CFC's),

aumentam a quantidade de energia que é mantida na atmosfera em decorrência da absorção do calor superfície do planeta, o que provoca a elevação da temperatura da atmosfera. Admite-se que, além de provocar modificações climáticas, o aquecimento da Terra possa causar a elevação do nível médio dos mares, terem impactos na agricultura e na silvicultura, afetando todas as formas de vida do planeta (BRAGA, 2005).

Levando em consideração o reaproveitamento de pneus inservíveis na pavimentação do Residencial Jardim do Cerrado III, no qual reaproveitaria 552 pneus de automóveis de cargas e 4.964 pneus de carro de passeio.

Segundo os fabricantes de pneus o peso de um pneu de carro de passeio pesa entre 5,5 e 7,0 kg e de um caminhão ente 55 e 80 kg. Assim, a Tabela 12 mostra os resultados em toneladas dos pneus reaproveitados na pavimentação do Residencial Jardim do Cerrado III.

Tabela 12: Peso de pneus reaproveitados.

Tipos de Pneus	Quantidades de Pneus	Média do Peso de Cada Pneu (Kg)	Peso em Kg	Peso em Toneladas
Automóvel de Passeio	4964	6,25	31025	31,025
Automóvel de Carga	552	67,5	37260	37,26
Total	5516		68285	68,285

Fonte: Autor (2018)

Para a análise, faz-se necessário levar em consideração que estes pneus inservíveis seriam descartados na natureza, muitas vezes levado para lixões, onde é feita a queima destes pneus, gerando assim o chamado efeito estufa. Segundo Lafarge (2010), a cada 12 mil toneladas de pneus triturados gera 26.869,5 toneladas de CO₂. Assim:

$$1 \text{ tonelada de pneus} = \frac{26869,5}{12000} = 2,239125 \text{ toneladas de CO}_2$$

A Tabela 13 mostra a quantidade de CO₂ que foram deixados de ser lançado na natureza com o reaproveitamento dos pneus inservíveis na pavimentação do Residencial Jardim do Cerrado III.

Tabela 13: Quantidade de CO₂.

Quantidade de Pneus Triturados (t)	Quantidade de CO ₂ (tCO ₂)
68,285	152,8986506

Fonte: Autor (2018)

Um grupo mundial de economistas coordenado pelo americano Joseph Steightz e pelo britânico Nicholas Stern estimou que, para cumprir os compromissos do acordo do clima de Paris o preço da tonelada de carbono deveria estar entre US\$ 40 a US\$ 80 em 2020 e US\$ 50 a US\$ 100 em 2030, segundo estudo do Banco Mundial divulgado em Berlim, na Alemanha (ORSI; SIMON, 2015).

A Tabela 14 mostra o valor economizado em CO₂ no reaproveitamento de pneus inservíveis na construção da pavimentação asfáltica no Jardim do Cerrado III.

Tabela 14: Valor economizado de CO₂.

Ano	Quantidade de Pneus (t)	Quantidade de CO ₂ (tCO ₂)	Média do Valor do CO ₂ (Us\$)	Valor Economizado (Us\$)
2020	68,3	152,9	60	9.174,00
2030	68,3	152,9	75	11.467,50

Fonte: Autor (2018)

Com a retirada destes pneus inservíveis do meio ambiente que leva mais de 150 anos para se degradarem (ORSI; SIMON, 2015).

Após verificar a literatura que defende o uso do asfalto convencional e borracha, notou-se que em relação ao asfalto convencional o de borracha apresenta características que conferem maior eficiência para o uso na pavimentação. Constatou-se que o asfalto de borracha proporciona uma melhor aderência, menos ruído e retardado envelhecimento e suscetibilidade térmica, e aumenta a resistência à fadiga.

Visto que o asfalto com adição de resíduos de borracha apresentou um diferencial de superior qualidade, durabilidade e desempenho em relação ao asfalto convencional, os profissionais do ramo e interessados, precisam empenhar esforços com o intuito de adotar essa tecnologia, e investir em pesquisas para desenvolvê-la e expandir ainda mais o seu uso, fazendo dela uma alternativa para agregar maior

qualidade à pavimentação de nossas ruas e rodovias, tanto no processo de construção como na manutenção.

Em relação à sustentabilidade, o estudo do asfalto ecológico vem sendo discutido com maior ênfase a literatura brasileira, aquele que tem borracha de pneus em sua composição, porém a nomenclatura está errada visto que, o asfalto é um produto agressivo ao meio ambiente e o termo técnico usado no mundo inteiro é asfalto borracha. Pode-se afirmar então que asfalto ecológico não existe do ponto de vista conceitual. Asfalto ecológico é uma jogada de *marketing* restrita ao nosso país, Brasil.

CONCLUSÃO

Do presente estudo, pode-se concluir que o uso da tecnologia do AMB é uma técnica financeiramente viável em termos técnico, econômico-financeiro e de meio ambiente, na pavimentação urbana de uma cidade como Goiânia, que atualmente, compra a massa asfáltica de suas obras de pavimentação e operações de tapa buraco, de usina terceirizada com total capacidade de produzir o CBUQ modificado por pó de borracha.

Deste modo, foi observado na literatura e pesquisa em campo que o custo inicial é maior que o custo do CBUQ convencional seria compensado pelo baixo custo de manutenção ao longo da vida útil do pavimento, e principalmente a diminuição de CO₂. Atualmente, está sujeita ao descaso para com a manutenção da pavimentação em várias vias da cidade além de vários bairros que ainda não são contemplados pela pavimentação.

O uso de pavimento com adição de borracha, também conhecido como pavimento/asfalto Ecológico acarreta boa imagem para a administração pública municipal, por dois motivos, pelo fato de contribuir com a conservação do meio ambiente e por oferecer um pavimento mais durável e de modo geral mais barato para a população.

A difusão de novas tecnologias é prioridade em se tratando de crescimento, sustentado dos resultados e aumento da produtividade, e é definida como a maneira que uma inovação é disseminada desde a sua primeira aplicação para outro país, região, indústria, mercado ou empresa. Os processos de inovação e seus impactos econômicos ainda são considerados deficientes. As dificuldades de difusão e baixo índice de adoção de tecnologias fundamentais há setores críticos, por exemplo, é considerável potencial de contribuição para o desenvolvimento de soluções sustentáveis, como os setores: químico, sucoenergético, transporte e de bens de consumo.

A viabilidade econômica para fabricação ainda é alta em relação ao asfalto convencional, porém, se reduz após sua produção, já que são utilizados equipamentos convencionais de pavimentação e a camada com o revestimento de asfalto borracha pode ser reduzida pelo seu desempenho superior. Além de um custo

de manutenção menor devido à resistência ao envelhecimento e as propriedades de melhor absorção de tensões

Destaca-se nesse estudo a constante manutenção de uma via, o material retirado precisa ter destinação adequada. Uma das alternativas é a reutilização dos resíduos. A reciclagem, que pode ser realizada em usinas, diminui a necessidade de exploração de novas pedreiras.

Infelizmente em se tratando de manutenção preventiva, nota-se que não tem acontecido com os pavimentos brasileiros. A opção usual é o remendo, que nada mais é do que um tapa-buraco paliativo. A pavimentação está muito deteriorada, e a espessura que utiliza se não tem sido suficiente implicando negativamente na drenagem. E, pelas vias estarem repletas de problemas, as trincas e deformações aparecem com poucos meses de uso.

As vias pavimentadas usando o asfalto borracha são mais duráveis, mais aderentes, possuem menos deformações e produzem menos ruídos, escoam melhor as águas e ainda tem se um ganho ambiental, visto que para cada quilômetro pavimentado reutiliza-se uma quantidade que varia de entre 200 e 1000 pneus inservíveis que iriam para a natureza.

Todos os fatores acima citados, que podem ser obtidos através do uso do asfalto borracha, acarretam inúmeros ganhos à sociedade como um todo, primeiro aos órgãos que executam e dão manutenção nos pavimentos, sejam secretarias municipais ou estaduais de obras ou ainda a união Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), que a médio e longo prazo constataram um custo reduzido devido a maior durabilidade e menor exigência de manutenção deste tipo de pavimento, os usuários ganharam em bem estar, com o aumento da segurança e preservação de vidas dos que transitam nas vias, com a diminuição de ruídos e ainda com a diminuição de patologias como fadiga, bacias e trilhas de rodas que geram grande desgaste aos veículos. De um modo geral a sociedade ganha por ter, um tráfego fluido que garanta o escoamento dos produtos e serviços produzidos bem como o transporte de passageiros, todos esses fatores garantem o crescimento econômico das regiões e do país como um todo, já que somos um país rodoviarista.

Além do projeto, o principal fator que define a vida útil da pavimentação é a qualidade dos materiais utilizados. Apesar da importância do asfalto nesse contexto, a indústria petroquímica nacional acaba deixando o material de lado e focando na

fabricação de querosene para aeronaves e gasolina. O ideal é evitar que as vias exijam recapeamento a cada três ou quatro anos.

É necessária a elaboração de um projeto de lei adequado e execução que siga rigorosamente o planejado seguindo o objetivo deste trabalho que é demonstrar a viabilidade do uso do pavimento com borracha em substituição ao convencional; dentro da realidade de uma pavimentação urbana de um grande centro urbano como a capital, na qual se deu esse estudo. A partir de dados que mostrem as vantagens do uso e encorajem os responsáveis técnicos e a administração pública desta cidade a implementar medidas que levem ao uso do AMB que já é uma técnica consagrada em muitas regiões do país e que é bem superior em termos de qualidade e durabilidade que a técnica convencional atualmente utilizada.

Como observado no estudo, a tecnologia de reaproveitamento de borracha de pneus inservíveis, encontra-se bastante difundida nos Estados Unidos. Contudo, diante dos resultados sugere-se que novos trabalhos sejam realizados, a fim de mostrar o quanto é produtivo e eficiente a utilização do asfalto borracha, visando também uma produção mais limpa em relação ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Preços médios ponderados mensais (produto / estado)**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-de-distribuicao>. Acesso em: 30 de abr. 2018.

BAÇAGUER, M. **Avaliação estrutural de um pavimento flexível executado em asfalto-borracha, elaborado pelo processo de produção contínua em usina**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2012.

BALAGUER, M. **Avaliação estrutural de um pavimento flexível executado em asfalto-borracha elaborado pelo processo de produção contínua em usina**. (2012). Disponível em: <<http://transportes.ime.eb.br/disserta%c3%87%c3%95es/disserta%c3%87%c3%83o%20marcos%20balaguer.pdf>> Acesso em 10 out. 2018.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558p

BANDINI, P. **Rubberized asphalt concrete pavements in New Mexico**. Mexico: Department of Civil Engineering of New Mexico State University, 2011.

BAKER, T. E.; ALLEN, T. M.; JENKINS, D. V.; MOONEY, T. M.; PIERCE, L. M.; CHRISTIE, R. A.; WESTON, J. T. *Evaluation of the Use of Scrap Tires in Transportation Related Applications in the State of Washington. Report to the Legislature as Required by SHB 2308*. Washington State Department of Transportation, Olympia, Washington, USA, 2003.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B., **Pavimentação asfáltica Petrobrás**, Rio de Janeiro, 2007.

_____. **Pavimentação Asfáltica** – formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: Imprinta, 2010.

BERTOLLO, S. A. M; FERNANDES JR, J. L; SCHALCH, V. Benefícios da Incorporação de Borracha de Pneus em Pavimentos Asfálticos. *In: XXVIII. Congresso Interamericano de Engenharia Ambiental*. Cancun-México, out. 2002.

BEDUSCHI, E. F. S. Utilização de pneus inservíveis na composição da massa asfáltica. Disponível em: <https://www.quick-surf.com/search?q=utiliza%C3%A7%C3%A3o> Acesso em: 20 jul. 2015.

BONILLA, S. H; ALMEIDA, C. M. V. B; GIANNETTI, B. F; HUISINGH, D. The roles of cleaner production in the sustainable development of modern societies: an introduction to this special issue. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 1-5, 2010.

_____. **Lei Federal n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 25 fev. 2018

_____. **Resolução Conama n. 258, de 26 de agosto de 1999.** Alterada pela Resolução nº 301/02 (acrescentados considerados, alterados os arts. 1o , 2o , 3o , 11 e 12, e acrescentado o art. 12-A). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030342.pdf> Acesso em 10 out. 2018.

_____. **Lei n. 14.691, de 06 de janeiro de 2012.** Dispõe sobre o uso de asfalto enriquecido com borracha proveniente da reciclagem de pneus inservíveis na conservação das estradas estaduais, nas condições que especifica. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2012/lei-14691-06.01.2012.html> Acesso: 10 de maio de 2018.

_____. **Resolução Conama n. 416/2009.** Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Data da legislação: 30/09/2009 - Publicação DOU Nº 188, 2009.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT. **Manual de Pavimentação.** 3. Ed. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **Norma 031/2006-ES.** Disponível em: <http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/DNIT031_2006_ES.pdf>. Acesso em 10 out. 2018.

BRULÉ, B; LAVAL, C. *Etude Experimentale de la Compatibilité de Resin Epoxydes avec lê Bitume.* **Rapport de Recherche**, n, 40, Paris, LCPC 1974.

CALTRANS. **Use of scrap Tire Rubber.** *California: State of California State of California Department of Transportation, Materials and Testing Services, Office of Flexible Pavement Materials, 2006.*

CASTRO, B. A. C. **Construção de estradas e vias urbanas.** Dissertação de mestrado, UFMG, 2010.

CERATTI, J. A.; CRUZ, L. L.; NUÑEZ, W.P. Estudo Comparativo do Desempenho de um Recapeamento Utilizando Asfalto-Borracha em Pavimento Flexível. 118 f. Tese de Doutorado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

CNT. **Confederação Nacional dos Transportes.** Pesquisa Rodoviária, 2007.

CORBUSIER, L. **Urbanismo.** Tradução. Maria Ermantina de Almeida Prado Galvão. São Paulo: Martins Fontes, 2011.

CURY, M. V. Q; MURTA, A. L. S; FIGUEIREDO, L. H. F; MONTENEGRO, L.C.S. **Análise socioeconômica e ambiental para o uso de asfalto emborrachado na construção de rodovias**, 2015. Disponível em: <<http://marcusquintella.com.br/sig/lib/uploaded/producao/Asfalto.pdf>>. Acesso em: 06 de jun. 2018.

DANTAS NETO, S. A. **Avaliação das Propriedades dos Ligantes e das Misturas Asfálticas Modificados com Borracha Granulada de Pneus Usados**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 265p, 2004.

DNIT. Departamento Nacional de Infra Estrutura de Transporte. Manual de pavimentação. 3. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2006. 274p

ECOFLEX. Disponível em: <http://www.asfaltoborracha.com.br/index.php/1-art-historia-asfalto-borracha-brasil>. Acesso: 13 de maio de 2018.

FAXINA, A. L; SÓRIA, M. H. A; LEITE, L. F. M; TAHARA, C. S. **Efeito do Envelhecimento a curto prazo em asfaltos modificados com borracha de pneu e Óleo de Xisto**. Florianópolis: Anais do 28º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET, 2006.

FONTES, L; TRICHÊS, G; PEREIRA, P; PAIS, J. **Comparação do desempenho de asfaltos produzidos através dos sistemas continuous blend e terminal blend**. (2009). Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/8003/1/1Compara%C3%A7%C3%A3oDesempenho.pdf>. Acesso: 09 de maio de 2018.

FLORIOS, D. **Pneus velhos: 8 formas para reciclar**. Disponível em: <<https://www.greenme.com.br/consumir/reutilizacao-e-reciclagem/1300-8-formas-reciclar-pneus-velhos>> Acesso: 09 de jan. 2018.

GOITIA, F. C. **Breve história do urbanismo**. 4. ed. Lisboa: Editorial Presença, 2005.

GERHARDT, T. E; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GEHL, J; GEMZOE, L. **Novos espaços urbanos**. Barcelona, Espanha: Edição em português editorial Gustavo Gili, SA, 2002. 263p.

GEHL, J. **Cidade para Pessoas**. São Paulo: Perspectiva, 2015.

GIULIO, G. **Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto**. Disponível em: http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S180823942007000300008&lng=pt&nrm=is. Acesso: 9 de maio de 2018.

GRECA ASFALTOS. **Estudo comparativo do desempenho de um recapeamento utilizando asfalto-borracha**. 1. ed. 2011. Disponível em: <http://www.grecaasfaltos.com.br>. Acesso em 12 de novembro de 2018.

_____. **Informativo asfalto borracha ecoflex**. Informativo trimestral. Agosto de 2003.

_____. **Fatos Asfaltos**. Informativo trimestral, ano 2, número 5. Outubro de 2005.

IBGE. **Brasil é 5º maior país em extensão territorial**. Disponível em: <www.ibge.com.br> Acesso em 18 set. 2018.

JACOBS, J. **Morte e vida de grandes cidades**. Tradução: Carlos S. Mendes Rosa> São Paulo: Martins Fontes, 2014.

HEITZMAN, M. *Design and construction of asphalt paving materials with crumb rubber modifier*. **Transp. Rese. Rec.**, TRB, Washington, DC, n.1339, p.01-08, 1992.

HENKES, J. A; RODRIGUES, C. M. Reciclagem de Pneus: atitude ambiental aliada a estratégia Econômica. **Revista Gestão & sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, SC, v. 4, n. 1, p. 448-473, 2015.

LAFARGE. **Construindo Cidades Melhores**. Sala de Imprensa – Últimas Notícias / Releases. (2010). Disponível em <http://www.lafarge.com.br>. Acesso em 22 novembro de 2018.

MENDES, C; NUNES, F. **Asfalto borracha - minimizando os impactos ambientais gerados pelo descarte de pneus inservíveis no meio ambiente. (2009)**. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/2010/Biologia/monografias/2asfalto.pdf. Acesso em 12 de maio de 2015.

MENESES, U. B. T. Morfologia das cidades brasileiras. Introdução ao estudo histórico da iconografia urbana. **Revista USP**, n. 30. São Paulo, jun/ago 2008.

MORILHA J. R, A; TRICHÊS, G. **Análise comparativa de envelhecimento em laboratório de nove ligantes asfálticos**. São Paulo: 34ª Reunião Anual de Pavimentação, 2003.

NEVES FILHO, C. L. D. **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, USP – São Carlos-SP, 2004.

ODA, S. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto. Borracha em Obras de Pavimentação**. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

_____; NASCIMENTO, L. A; EDEL, G. **Aplicação de asfalto-borracha na Bahia**. Disponível em: http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP067_2_05.pdf. Acesso em 10 de maio de 2015.

ORSI, A; SIMON, C. **Uma alternativa ambiental para pneus em desuso**. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/ensinodareportagem/meiob/asfaltob.html>. Acesso: 12 de maio de 2018.

OLIVEIRA, O. J; CASTRO, R. **Estudo da destinação e da Reciclagem de pneus inservíveis no Brasil.** UNESP. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007_tr650481_0291.pdf>. Acesso em 04 de maio de 2017.

PANTAROTTO, T. **Concreto betuminoso usinado a quente modificado por asfalto borracha.** Disponível em: <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1070.pdf>. Acesso: 11 de maio de 2018.

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel - Estudo de Caso.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

RATC. *Rubberized Asphalt Concrete Technology Center.* **Asfalto borracha.** Disponível em: <http://www.ratc.ro/>. Acesso em: 29 jan. 2019.

RADONJIC, G; TOMINC P. *The role of environmental management system on introduction of new technologies in the metal and chemical/paper/plastics industries.* **Journal of Cleaner Production**, v. 15 p. 1482-1493, 2007.

ROBERTS, F. L; KANDHAL, P. S; BROWN, E. R; DUNNING, R. L. **Investigation and Evaluation of Ground Tire Rubber in Hot Mix Asphalt.** Auburn: National Center for Asphalt Technology, n. 89- 3, 1989.

RPA. RUBBER PAVEMENT ASSOCIATION. **Associação do asfalto borracha / Rubberized asphalt – there is the difference.** Phoenix, 1999. 2p. Disponível em: <<http://www.rubberpavements.org/library/> Acesso em 10 out. 2018.

SACRAMENTO *County Department of Environmental Review and Assessment*, 1999.

SANCHES, F. G.; GRANDINI, F. H. B.; JUNIOR Orlei B. **Avaliação da Viabilidade Financeira de Projetos com Utilização do Asfalto-Borracha em Relação ao Asfalto Convencional.** 2012. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso Superior de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2012.

SALINI, R. B. **Utilização de borracha reciclada de pneus em mistura asfálticas.** Florianópolis, 2000.

SANTOS, P; CABRAL, A. Inclusão do indicador “impactos ambientais” na ferramenta “Diagnóstico do Sistema Embalagem”: um estudo de caso em vinícola. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 75-82. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522013000100009ordo-do-climadiz-estudo>. Acesso em 07 set. 2018.

SANTUCCI, L. **Rubber Roads: Waste Tires Find a Home.** California: University of California - Pavement Research Center, 2009.

SENÇO, W. de. **Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários.** 1. ed. São Paulo: Pini, 2007.

SILVA L. S; SPECHT L. P; CERATTI J. A. P; FORTE M. C; ROSSINI, G. Utilização do ensaio de inchamento na seleção de polímeros como modificadores asfálticos. *In: 6º Congresso Brasileiro de Polímeros*. Anais... 2001.

SPECHT, L. P. **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus**. Porto Alegre: Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGEC/UFRGS), 2004.

TAKALLOU, B. H; SAINTON A. *Advances in Technology of Asphalt Paving Material Containing Used Tired Rubber*. **Transportation Research Record**. Washington, n.1339, p.23- 29. 1992

VOLLE, T. H. **Performance of Rubberized Asphalt Pavements in Illinois**. Illinois: Illinois Department of Transportation, 2000.

WU, D. D; OLSON, D. L; BIRGE, J. R. *Risk management in cleaner production*. **Journal of Cleaner Production**, v. 53, p. 1-6, 2013.