

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

IVAN DA COSTA CARDOSO

**APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA EM
PAVIMENTAÇÃO**

Paracatu

2019

IVAN DA COSTA CARDOSO

APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA EM PAVIMENTAÇÃO

Monografia apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia civil.

Área de Concentração:
Pavimentação

Orientador (a): Prof. Msc. Felipe Neto Vasconcelos.

Paracatu

2019

IVAN DA COSTA CARDOSO

APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA EM PAVIMENTAÇÃO

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Pavimentação

Orientador: Prof. Msc. Felipe Neto Vasconcelos

Banca Examinadora:

Paracatu – MG, ___ de _____ de 2019.

Prof. Msc. Felipe Neto Vasconcelos
Centro Universitário Atenas

Prof.: msc. Thiago Alvares da Costa
Centro Universitário Atenas

Prof.: Matheus Dias Ruas
Centro Universitário Atenas

Dedico esse trabalho aos meus pais, pela atenção e a compressão que me deram, eles são muitos importantes em minha vida, o amor e a esperança me que me dão me estimulam sempre a continuar em frente, nos momentos tristes e felizes, me ajudando sempre a crescer e adquirir experiência, não importa o que aconteça eles sempre estão do meu lado, por isso essa dedicação vai para vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS pois minhas forças vem dele, é graças a fé que eu tenho nele e a certeza da vitória que enfrento todos os dias esse curso, e está aprendendo e crescendo na sua vontade a cada dia mais.

A minha família que sempre me apoia e me ajuda nessa batalha constante dentro de casa no que estão no alcance deles, o amor e o carinho que tenho pela minha família, me dá forças para conquista esse prêmio por eles.

Agradeço ao meu professor orientado Felipe Neto que com seus grandes conhecimentos me orienta, sempre na direção certa, não deixa eu desanimar, e me faz melhorar sempre, tem grandes qualidades não só como professor, mas como pessoa.

Ao meu professor Matheus, que sempre acreditou ne mim e em meu potencial, graças aos seus ensinamentos em sala de aula me direcionou a escolha do meu tema, e a busca mais conhecimentos dessa área.

Agradeço ao professor Carlos Eduardo chula, que com seus grandes conhecimentos e experiência na área de engenharia civil, me faz querer me espelhar nele.

Agradeço a minha coordenadora de curso Glenda Maria Colim Messias, que desde meu primeiro dia no curso tem me direcionado e me ajudado a resolver problemas, sempre buscou o melhor para mim, e para o curso.

RESUMO

Este trabalho apresenta estudo e possibilidade técnica da adição de borracha de pneus em ligantes asfálticos usando em obras de pavimentação, o asfalto borracha é uma alternativa para solucionar um grave problema ambiental, com o desenvolvimento e crescimento das frotas automobilísticas, cresceram também o número de pneus inservíveis, que na maioria dos casos são depositados em locais inapropriado, aumentando o número de doenças e contaminando o meio-ambiente. O asfalto borracha consome uma grande quantidade de pneus inservíveis para sua construção sendo uma ótima alternativa sustentável na construção civil. Além de melhorias para o meio ambiente ele ainda proporciona melhorias nas suas propriedades químicas e físicas de forma que seja melhor do que o asfalto convencional. O benefício da sua reutilização proporciona resistência ao envelhecimento, aumento da flexibilidade, Aumento do ponto de amolecimento, Redução na suscetibilidade térmica. Também demonstrará a conceituação de pavimentação, e pavimentação com adição de resíduos de borracha. E também os processos de uso do resíduo de borracha na pavimentação, e pôr fim a relação entre os benefícios da reutilização da borracha com sustentabilidade.

Palavra-chave: *pneus inservíveis, reutilização, asfalto-borracha.*

ABSTRACT

This work presents a study and technical possibility of adding rubber tires to asphalt binders using paving works. Rubber asphalt is an alternative to solve a serious environmental problem. With the development and growth of automobile fleets, the number of tires has also grown. waste, which in most cases are deposited in inappropriate places, increasing the number of diseases and contaminating the environment. Rubber asphalt consumes a large amount of waste tires for its construction and is a great sustainable alternative in construction. In addition to improvements to the environment it also provides improvements in its chemical and physical properties so that it is better than conventional asphalt. Modified asphalt provides aging resistance, increased flexibility, increased softening point, reduced thermal susceptibility. It will also demonstrate the concept of waste paving with rubber. And also the processes of using rubber waste paving, and ending the relationship between the benefits of rubber reuse with sustainability.

Keywords: *waste tires, reuse, rubber asphalt*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1- ILUSTRAÇÃO DAS CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO COM MÉTODO ASFALTO BORRACHA

16

TABELA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANIP	Associação Nacional da Indústria Pneumáticos.
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.2 HIPÓTESES	13
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 OBJETIVO GERAL	13
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	14
1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO	14
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 CONCEITUAÇÃO DE PAVIMENTAÇÃO, PAVIMENTAÇÃO COM RESÍDUOS E SUSTENTABILIDADE	16
2.1 SURGIMENTO DA PAVIMENTAÇÃO	16
2.2. COMPOSIÇÃO DOS PNEUS	17
2.3 CONSTITUIÇÕES PAVIMENTO E SUAS CARACTERÍSTICAS	18
2.3.1 REVESTIMENTO	19
2.3.2 BASE E SUB-BASES	20
2.3.3 REFORÇOS DE SUBLEITOS	20
2.3.4 SUBLEITOS	20
3.1 ASFALTO BORRACHA PROCESSO SECO	21
3.2. ASFALTO BORRACHA PROCESSO ÚMIDO	22
3.2.1 PROCESSOS ÚMIDO TERMINAL BLEND	23
3.2.2 PROCESSOS ÚMIDO CONTINUOUS BLEND	24
3.3 CONDIÇÕES DE PREPARO	24
4 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO ASFALTO BORRACHA E SEUS BENEFÍCIOS SUSTENTÁVEIS	26
4.1 ASFALTO BORRACHA E SUSTENTABILIDADE	26

4.2 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA NO CIMENTO ASFÁLTICO	27
4.3 ENSAIOS DE DEFINIÇÃO DE QUALIDADE DOS LIGANTES ASFÁLTICOS	28
4.3.1 PENETRAÇÃO	28
4.3.2 PONTO DE AMOLECIMENTO (ANEL E BOLA).....	28
4.3.3 PONTO DE FULGOR	28
4.3.4 RETORNO ELÁSTICO	29
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

As primeiras estradas se deram início na China, para fins de ter acesso as áreas de cultivo e fontes de madeiras, rochas, minerais e água. Depois os romanos aperfeiçoaram-nas instalando pavimentos e drenagem, para que elas tornassem mais duradoras. Essas vias tinham grande importância nessa época, para estabilidade política, econômica, militar e agricultura como atividade econômica. Com o passar dos anos foi-se melhorando as técnicas e os conhecimentos sobre pavimentação, com criação e uso crescente de veículos tracionados mecanicamente a utilização de pavimento de camadas granulares pura e simples ficou em desuso, e em 1960 foram desenvolvidas misturas asfálticas com ajuste da matriz de agregados graúdos, com alta resistência ao cisalhamento (BALDO, 2007).

Segundo RUSSO (2010), já na época de 2000, o Brasil já tinha frota de aproximadamente 35.700.000 veículos automotores, nacionais e importados em circulação, 10,6% mais do que em 1998. O Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, no artigo 2º da Resolução nº 416 (BRASIL, 2009) definiu pneus usados são aqueles que possuem em sua estrutura danos irreparáveis estando impossibilitados de rodagem ou à reforma. Em algum momento os pneus se transformaram em resíduos poluentes e trará danos à saúde, com o crescimento da frota de veículos constante tem a necessidade de evitar esse grande número de poluentes (BERTOLLO *et. al.*, 2000).

Vistos os danos que esses pneus trazem para a natureza e para a saúde, o asfalto borracha é uma ótima alternativa, pois usa-se uma grande quantidade de pneus que se transformam em resíduos de borracha para sua construção, já que as borrachas de pneus possuem excelentes propriedades química e físicas, que junto ao ligante convencional trazem melhorias para a pavimentação (PINTO, 2018).

Portanto o uso de resíduos de borracha na pavimentação, é um forma sustentável de construção, aproveitando pneus velhos que eram inservíveis e ajudando na despoluição da natureza (PINTO, 2018).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Como obter a sustentabilidade utilizando em pavimentação com o asfalto borracha?

1.2 HIPÓTESES

- a) No Brasil existe uma grande quantidade de pneus velhos jogados pela natureza, visto isso o asfalto borracha oferece grandes benefícios pois utiliza uma grande quantidade de pó extraído desses pneus, além de trazer melhorias para o asfalto.
- b) O asfalto borracha ainda reutilizando pneus para sua construção, deve-se ter uma atenção para o termo ecológico, pois o asfalto borracha exige maiores temperaturas para a mistura da borracha, dessa maneira quanto maior a temperatura dessas usinas maior é a liberação de poluentes atmosféricos devido a produtos presentes no asfalto.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Apresenta os benefícios da reutilização da borracha na pavimentação.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) conceituar pavimentação, pavimentação com resíduos e sustentabilidade;
- b) apresentar o processo de uso do resíduo de borracha (pneus) na pavimentação;

c) relacionar os benefícios da reutilização da borracha com sustentabilidade.

1.4 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

Este trabalho se apoia na premissa de que as cidades e veículos crescerá com o passar dos anos isso aumentará o número de pneus descartados na natureza sem destino.

Nesse contexto o asfalto borracha virá a ser uma excelente alternativa sustentável pois possui vários benefícios, ecológicos e até econômicos, ele consome boa partes de pneus que estavam jogados na própria natureza para produção de resíduos para construção de rodovias e estradas, além de estimular o crescimento de industrias e fabricas que processam esse material.

Sendo assim a transformação desses pneus em resíduos para a construção de asfalto borracha diminuirá os impactos ambientais e melhorará as estradas e rodovias do pais.

1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO

Este presente estudo é apoiado em um levantamento bibliográfico de caráter descritivo exploratório com abordagem qualitativa.

De acordo com GIL (2010) qualquer classificação precisa avaliação e escolha. Este estudo caracteriza-se por pesquisa exploratória descritiva, são aquelas realizadas por pesquisadores preocupados com a atuação pratica. Ela tem como objetivo a apresentação de características de determinada população ou fenômeno logo ela e a relação entre variáveis. Ainda sobre GIL (2010) a pesquisa bibliográfica e construída em materiais já realizados, que são em sua grande maioria livros e artigos científicos.

Nesta pesquisa, será realizada levantamentos de bibliográfico por meio de registros e documentos acadêmicos, livros e artigos, que aborda os conceitos de pavimentação, pavimentação com resíduos de borracha, asfalto borracha, e NBRs de pavimentação retirados da biblioteca do Centro Universitário UniAtenas e por pesquisas no Google Acadêmicos.

Portanto este trabalho tem como fins de instigar o leitor sobre os conhecimentos de asfalto borracha, como é fabricado, e suas contribuições para o meio ambiente.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho tem como finalidade demonstrar que é possível construir pavimentos sustentáveis reutilizando pneus inservíveis, então no primeiro capítulo especifica-se os objetivos e os porquês deste tema, no primeiro capítulo eu relata sobre a história da pavimentação e seu surgimento no Brasil.

No segundo capítulo é demonstrado a pavimentação e suas características, e a incorporação de resíduos de borracha no asfalto. Já no terceiro capítulo apresentam-se os processos de construção do asfalto borracha,

E no quarto capítulo faz-se uma ligação entre pavimentação e sustentabilidade, mostrando os benefícios da implantação do asfalto borracha.

Portanto no quinto capítulo concluí o trabalho confirmando as hipóteses a e b, e os objetivos alcançados.

2 CONCEITUAÇÃO DE PAVIMENTAÇÃO, PAVIMENTAÇÃO COM RESÍDUOS E SUSTENTABILIDADE.

Pavimento é uma estrutura não perene, ou seja, ela não é durável, e precisa de reformas diariamente, são compostas por camadas umas sobre as outras de diferentes materiais, ela tem que suportar os esforços verticais e horizontais sem se deformar, as cargas são transportadas para a fundação de forma aliviada para que não ocorra deformações na utilização e nem mesmo a ponto de causar ruptura. Cada carga aplicada na superfície do pavimento gera determinados estados de tensões na estrutura, que irá depender do comportamento mecânico de cada camada, e de seu conjunto completo. O pavimento ainda deve ser construído de forma durável e de melhor custo benefício possível, deve proporcionar aos condutores sensações de conforto e segurança além de oferecer condições de rolamento em qualquer condição climática (BALDO, 2007).

A pavimentação está presente na história da humanidade já há muito tempo, elas davam melhor acesso às áreas cultiváveis e às fontes de madeira, rochas, minerais e água naquela época (BALDO, 2007).

2.1. SURGIMENTO DA PAVIMENTAÇÃO

A pavimentação é de suma importância para a vida do ser humano, na antiguidade, quando existiam apenas estradas feitas de trilhos de animais e pessoas, e ainda continua tendo nos dias modernos da atualidade (BALDO, 2007).

Segundo BALDO (2007), as primeiras estradas deram-se início na China, anos depois os romanos aperfeiçoaram as técnicas e melhoraram as construções, e em 1870 foi construído o primeiro pavimento com revestimento betuminoso em Newark, New Jersey (EUA), sabia-se já naquela época que as estradas eram parte de sociedade desenvolvida, elas continuaram a se desenvolver e criar novas técnicas e conceitos de construção. Assim como as estradas os meios de locomoção também se modernizam surgindo os pneus. Os pneus vieram substituindo as rodas de madeira e de ferro (BALDO, 2007).

2.2. COMPOSIÇÃO DOS PNEUS

Segundo o Sindicato Nacional da Indústria os pneus (SINPEC, 2019) são componentes de extrema importância no funcionamento de veículos, e também é o principal produto usado no asfalto borracha, ele é composto por uma mistura de fumo negro, produtos químicos, fibras orgânicas, arame de aço, entender oil, borracha natural e borracha sintética.

O látex: é extraído das seringueiras uma árvore da Amazônia, depois transformado em borracha natural. Graças o petróleo foi possível a fabricação da borracha sintética, mas ela possui menor resistência a variação de calor, e pode ser capaz de trincar com fortes mudanças de temperatura, A borracha natural é perecível necessitando ser aquecida e adicionados aditivos depois da coagulação e secagem são adicionados enxofre, aceleradores orgânicos, antiozonantes e antioxidantes, óxido de zinco, agentes de fluxo, mica e em destaque o negro de fumo (INFOPNEUS,2016).

O negro de fumo: é um carbono amorfo derivado da combustão incompleta do petróleo. Sua fabricação é executada em fornos especiais de forma controlada, onde se adquire vários tipos de negro de fumo empregados na indústria da borracha. Ele contém propriedades que dão a borracha poder de pigmentação e resistência mecânica. São utilizados nos pneus 8 tipos de negro de fumo, que aumenta em aproximadamente 16 vezes sua vida útil (GMSM, 2016; CHEMISOL, 2016).

O óxido de zinco: é muito usado em plásticos, borracha, cerâmicas, vidros e em outros produtos farmacêuticos. O óxido de zinco é um pó branco em temperatura ambiente, e quando aquecido fica amarelado. Ele é um ativador de aceleração química, o processo de vulcanização aumenta a temperatura da borracha até o ponto de fusão (MISAWA, 2011; WIEBECK, ESPER, FEIJÓ, 2002).

A borracha sintética: teve surgido na Alemanha no ano de 1930, precisando de uma matéria prima acessível e mais barata, logo depois sendo sintetizada assim produzido um elastômero, mais conhecida como borracha sintética. A borracha sintética possui maior resistência a abrasão, altas temperaturas e ao envelhecimento do que a borracha natural, mas tratando-se de baixas temperaturas tem menor flexibilidade e elasticidade. Ela endurece e tem a

possibilidade de parecer trincas quando em temperaturas elevadas (GOMES, 2008; MISAWA, 2011).

O enxofre e os óleos aceleradores: formam aproximadamente 4% da matéria-prima da borracha. Todos estão ligados com o poder de vulcanização, verificando possíveis deformações em altas temperaturas, direcionando o processo de vulcanização, melhorando suas propriedades físicas, amolece a borracha e concede trabalhabilidade, catalisa a vulcanização (SOUZA, 2013)

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP, 2019) só no Brasil no ano de 2019 venderam aproximadamente 44.357.575 pneus, que já teve um crescimento maior que os anos passados, e esse número aumentara nos próximos anos.

Desse modo, um dos caminhos para utilização desses pneus que voltam para as fabricas é na utilização de combustível alternativo para fornos de clínquer na indústria de cimento. Essa queima gera energia elétrica, porém, o brasil ainda utiliza apenas 57% dos pneus inservíveis (MARQUES & PAZ, 2007).

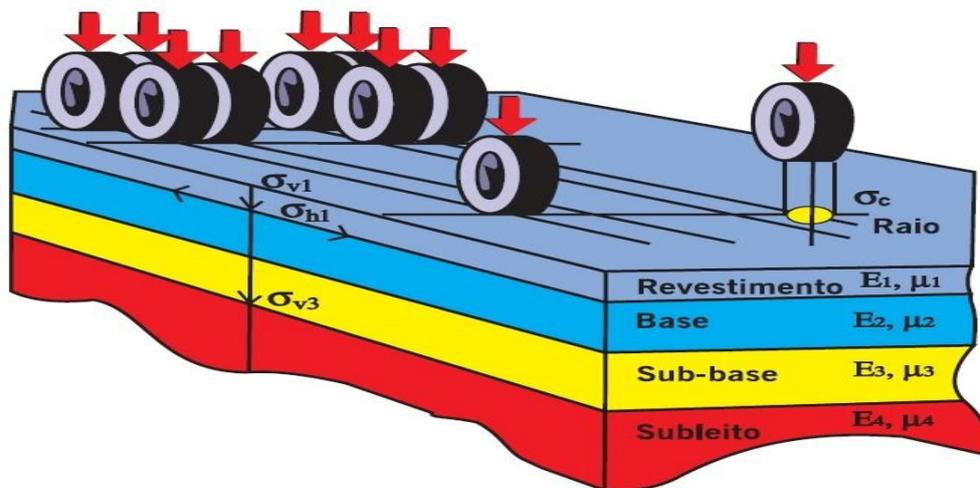
De acordo com a RESOLUÇÃO CONAMA nº 258, de 26 de agosto de 1999 e RESOLUÇÃO No 416, DE 30 DE SETEMBRO DE 2009, essas resoluções obrigou as fabricas de pneus e ás importadoras impondo metas de retirada de pneus do meio ambiente. As empresas importadoras ou fabricas de pneus são responsáveis por darem um destino final a esses pneus a quatro pneus inservíveis para cada três pneus novos postos no mercado.

CHARLES GOODYAR (1839), descobre casualmente ao derrubar enxofre em uma amostra de borracha estava sendo aquecida, a atividade para aquisição da borracha vulcanizada. Desse modo, tem-se o material fabricado usando o processo de vulcanização, o qual vem sendo utilizado até os dias atuais. Por meio desta descoberta, foi possível observar, as características da pavimentação e melhora-la de uma forma sustentável (ODA e FERNANDES JÚNIOR, 2001).

2.3. CONSTITUIÇÕES PAVIMENTO E SUAS CARACTERÍSTICAS

O pavimento é constituído por 5 camadas: Revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito. Cada umas dessas camadas possuem funções específicas (BALDO, 2007).

FIGURA 1- ILUSTRAÇÃO DAS CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO COM MÉTODO ASFALTO BORRACHA



2.3.1 REVESTIMENTO

O revestimento é a primeira camada, e é ela que recebe as cargas estáticas e dinâmicas, além dos intemperes do ambiente sem sofrer deformações ou trincas ou até mesmo a remoção da cobertura, ela é formada por materiais bem aglutinados de maneira que evite movimento horizontal. O revestimento é composto por duas camadas, de rolamento e de ligação, e também há outras duas de manutenção, que é a camada de nivelamento e a de reforço: A camada de rolamento onde recebe as cargas dos carros e do ambiente; camada de ligação é aquela que fica entre a camada de rolamento e a base do pavimento, e ela também é constituída de mistura asfáltica; a camada de nivelamento é a camada usada em reforços (recapeamento), sua função é corrigir os desníveis na pista, afundamento localizados, e nivelar o perfil do greide para posterior execução da nova camada de rolamento; camada de reforço essa será a nova camada de rolamento, que após o desgaste do pavimento devido aos anos de uso, é usado por motivos funcionais, estruturais ou ambos (BALDO, 2007).

Porém o asfalto convencional apresenta uma série de patologias Segundo LEITE (1999), para o aumento da resistência os asfaltos convencionais podem ser modificados por fibras, uma delas é a fibra poliméricas que se obtém por meio da borracha de pneus esta é a mais comum. Asfalto modificado tem melhoria de suas características físicas e químicas, de maneira que seja superior ao asfalto

convencional. Quando usadas ao ligantes asfáltico aumentam a duração do asfalto em até 40% (PINTO, 2018).

Seguindo essa linha abaixo da camada de revestimento tem-se as camadas de base e sub-bases (PINTO, 2018).

2.3.2. BASE E SUB-BASES

As camadas de base e sub-bases servem para aliviar as pressões nas camadas de solo inferiores, elas também são importantes na drenagem superficial dos pavimentos. Por questões econômicas quando se tem uma camada de base muito espessa, divide-se ela em duas, criando-se base e sub-base. Elas podem ser constituídas por solo estabilizado naturalmente, misturas de solos e agregados, brita graduada, brita graduada tratada com cimento solo estabilizado quimicamente com ligantes hidráulicos ou asfáltico concreto, etc. No caso das sub-bases podem ser utilizados os mesmos materiais da base (BALDO, 2007).

Caso haja necessidade é feito os reforços dos subleitos (BALDO, 2007).

2.3.3 REFORÇOS DE SUBLEITOS

Os reforços dos subleitos ocorrerão quando as camadas intermediárias forem de baixa resistência dessa maneira reforça-se com camadas de solo com maior resistência, o reforço do subleito não é obrigatório na construção do pavimento. Geralmente é utilizado por questões econômicas devido ao aumento nas camadas de base e sub-base (BALDO, 2007).

E pôr fim a última camada que é o subleito que sustenta todas as outras (BALDO, 2007).

2.3.4 SUBLEITOS

O subleito é feito com materiais naturais consolidados e compactados, pode ser por cortes do corpo estradal, ou aterros, material transportados compactados, geralmente os esforços impostos sobre a superfície serão aliviados em suas profundidades, normalmente no primeiro metro são dispensadas, desse modo deve

se ter maior preocupação com as camadas superiores onde os esforços são maiores (BALDO, 2007).

O processo de construção do asfalto-borracha tem o intuito de melhorar o asfalto convencional, e podem ser dividido em três processos de construção (BALDO, 2007).

3 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DO ASFALTO BORRACHA

Denomina-se asfalto modificado aquele que tem suas propriedades químicas e físicas melhoradas de forma que ele trabalhe melhor do que o asfalto convencional, nesse asfalto modificado são usados geralmente polímeros ou seja borracha de pneus. (PINTO, 2018). Ainda sobre EDUARDO PINTO (2018), existe três tipos de processo para obtenção do asfalto borracha, o processo seco, o úmido e terminal blend e continuous blend.

3.1. ASFALTO BORRACHA PROCESSO SECO

No processo de asfalto borracha a seco, a introdução da borracha nas usinas de asfalto ocorre durante o preparo de mistura asfáltica, são adicionadas as partículas secas de borracha granuladas aos minerais preaquecidos durante a usinagem, nesse caso a borracha tem o papel de agregado na massa asfáltica. Para trazer melhorias ao pavimento é necessário obter uma mistura homogênea desde a fabricação, visto que a transferência de importantes propriedades da borracha ao ligante é prejudicada (PINTO, 2018).

O comportamento entre o ligante e as partículas de borracha estão diretamente ligados a granulometria. Borracha com grande superfície específica causa um aumento na área de contato, dessa maneira as reações entre os elementos durante curtos intervalos de tempo e com baixas temperaturas tem melhores vantagens se comparado com o processo úmido (DANTAS, 2004).

Segundo VISSER & VERHAEGHE (2000) e OLIVER (2000) no processo seco antes da adição do ligante betuminoso são acrescentadas primeiramente as partículas secas de borracha granulada ao agregado mineral pré-aquecido. O agregado é aquecido em uma temperatura de 200° C, logo após acrescenta-se a borracha, a mistura ficará por um tempo de 15 segundos, tornando-se uma

composição homogênea, visto isso é adicionado o ligante betuminoso a mistura agregado-borracha por meio de processos de usinagem, e não há nenhuma fusão do ligante asfáltico com a borracha granulada.

Já para MOMM & SALINI (2000), fundamentado em observações feitas em um microscópio ótico, o granulado de borracha não é imóvel e sofre mudanças no período em que permanece em contato com o ligante asfáltico. O processo de modificação ocorre naturalmente no período em que a mistura é levada ao campo e aumentando sua temperatura.

Os agregados-borrachas com granulometria fina (1,18 – 0,15mm) apresentam uma melhor atividade quanto a deformação permanente e flexibilidade, comparadas a misturas convencionais. Neste momento as misturas com agregado-borracha de granulometria mais grossa (9,5 – 0,60mm) apresentaram um excedente de deformação permanente e maior resiliência. Estas soluções autorizam a teoria que as partículas finas de agregado-borracha reagem parcialmente com o ligante, sempre que as partículas maiores atuarem como agregados elásticos (GREEN, 1998; BERTOLLO *et al.*, 2002).

O outro processo é o úmido que é uma mistura de cimento asfáltico e borracha moída (PINTO, 2018).

3.2. ASFALTO BORRACHA PROCESSO ÚMIDO

Nos processos úmidos apesar de reutilizar borracha em seu processo não é totalmente sustentável devido ao seu aquecimento a altas temperaturas, liberando poluentes na atmosfera. o ligante asfáltico é aquecido a altas temperaturas aproximadamente 180°C em seguida levado para um tanque de mistura nesse tanque ocorrerá a adição da borracha granulada ao asfalto convencional num período de uma a quatro horas. No processo úmido a borracha é antecipadamente misturada ao ligante, obtém-se assim melhorias como o aumento da resistência a fadiga de mistura asfáltica. Os agentes oxidantes da borracha de pneus junto ao asfalto convencional podem diminuir, o envelhecimento do cimento asfáltico e aumentar a resistência à ação química asfálticas como a óleos diesel pois sofrem bastantes danos com isso (PINTO, 2018).

No processo úmido o ligante deve ser elevado a altas temperaturas por agitação em alto cisalhamento, estimulando assim a desvulcanização e

despolimerização da borracha, tendo uma melhor descrição entre o ligante convencional e a borracha resultando em um produto mais viscoso no final (ODA, 2000).

A utilização de uma borracha muito fina, asfaltos menos viscosos e temperaturas elevadas durante a mistura, fazem com que o tempo de reação seja reduzido. Contudo, um cuidado com a temperatura deve ser tomado, as altas temperaturas são capazes de reduzir a qualidade do ligante asfalto-borracha em causa da perda de voláteis e do envelhecimento acelerado (PAGE *et al.*, 1992).

Segundo ODA e JÚNIOR (2001) o processo úmido pode ser feito por dois métodos, terminal blend e continuous blend. As alterações do processo úmido discordam devido ao local de produção e armazenamento.

A desvulcanização e despolimerização são ambas reações químicas que abaixam o peso molecular da borracha, rompendo suas ligações químicas. A bibliografia não distingue bem os dois processos, acima de tudo as temperaturas abaixo de 240°C, porem entende-se que a desvulcanização quebra as ligações enxofre-enxofre ou carbono-enxofre, fabricadas do processo de vulcanização durante a produção dos pneus. Estas são técnicas essenciais para a criação de um ligante com estabilidade a estocagem (BILLITER, 1997).

Assim o processo úmido ainda pode ser dividido em dois processos, sendo eles, o processo úmido terminal blend e o continuous blend (PINTO, 2018).

3.2.1. PROCESSOS ÚMIDO TERMINAL BLEND

O método terminal blend apresenta-se pela produção do ligante em distribuidoras de produto asfálticos, conseguindo ser estocado por muito tempo (ODA e FERNANDES JÚNIOR, 2001).

Segundo BALAGUER (2012) as modificações químicas, físicas e reológicas realizam mediante de fusão entre os elementos no processo de terminal blend. O processo é feito por intermédio de digestão térmica e movimentação mecânica nos moinhos de cisalhamento, diante esses resultados o ligante alterado será estável e uniforme, de maneira que ele seja armazenado sem seus componentes não se separem.

O processo terminal blend é um dos mais usados no Brasil, com vantagens do que existe de melhor em outros países que já usam o asfalto-borracha

e aumenta as características básicas de melhor uso, considerando principalmente os tipos de asfaltos brasileiros, o desenvolvimento de armazenagem dos ligantes e outros atributos específicos das obras nacionais (PINTO, 2018).

3.2.2. PROCESSOS ÚMIDO CONTINUOUS BLEND

E por fim o processo úmido continuous blend, que já possui aplicações África do sul, e trazido também para o Brasil.

De acordo com ODA e JÚNIOR (2001) o processo continuous blend as misturas a quente são produzidas em usinas de asfalto, para uma aplicação imediata, não deixando a estocagem por mais de algumas horas.

A solução esperada no método continuous blend é o amolecimento e inchamento da borracha, por meio da absorção dos óleos aromáticos do ligante convencional pelas cadeias de polímero da borracha moída, concebendo um ligante menos estável (FONTES, 2009).

O processo continuous blend é uma das tecnologias mais utilizadas no mundo, o emprego do ligante deve acontecer em menos de 24 horas, sua geração também deve ser realizada imediatamente no local de aplicação. Porém é capaz de prover o ligante de maior estabilidade com tecnologia adequada, sem separação de fases (PINTO, 2018).

As condições de preparo é grande importância nesses processos, pois sua estocagem pode alterar o material comprometendo-o (PINTO, 2018).

3.3. CONDIÇÕES DE PREPARO

Deve-se tomar alguns cuidados na condições de preparo, como temperatura e o tempo de estocagem, pois diretamente no material (PINTO, 2018).

De acordo OLIVER (1979) averiguou-se que para temperaturas de incorporação maior que 210°C, o asfalto-borracha testado tem o retorno elástico máximo nos ligantes. Dessa maneira a morfologia das partículas da borracha tem grande ascendência no retorno elástico do ligante, assim a BMP (betume modificado) fabricado por processos criogênicos aponta efeito negativo, por criar partículas arredondadas de borracha.

As circunstâncias padrões geralmente usadas estão nos Estados Unidos para a criação do asfalto-borracha, a criação de um ligante homogêneo com 1 hora a 177°C em baixo cisalhamento não eram de entendimento. A alta viscosidade e segregação, apropriadas a este ligante, direcionaram a defeitos antecipados nos pavimentos. Ligantes homogêneos eram adquiridos quando aumentava a temperatura acima de 236°C, elevava-se o tempo de mistura e empregava-se um alto cisalhamento. Os ligantes modificados não eram apenas homogêneos, mas também apresentavam melhoras na fragilidade térmica, com baixa rigidez em baixas temperaturas e maior resistência a deformação permanente em altas temperaturas BILLITER (1996).

Mais tarde LEITE (1999) revelou que a produção de ligante asfalto borracha com estabilidade a estocagem só foi praticada quando aumentou a temperatura da mistura acima de 190°C e tempo de mistura de 120 minutos. Neste momento, apenas foi possível estocar os ligantes que apresentam borracha com 80% do seu peso passando na peneira #200 (0,075mm). O método de proporção utilizado foi a diferença máxima de 5°C no ensaio de ponto de amolecimento entre o topo e o fundo.

O asfalto borracha não apenas melhora as propriedades do asfalto convencional como traz benefícios para o meio-ambiente (PINTO, 2018).

4 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO ASFALTO BORRACHA E SEUS BENEFÍCIOS SUSTENTÁVEIS.

No Brasil, mais de 40 milhões de pneus são descartados na natureza por ano, e que levam mais de 600 anos para serem decompostos o que traz grandes impactos ambientais diante disso é na área da pavimentação onde se encontra mais estudos sobre o uso da borracha de pneus isso se deve ao uso de grande quantidade de pneus velhos processados, e pelas melhorias que isso trazem para o asfalto (SPECHT, 2004). Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP, 2019), fabricantes nacionais de pneus aplicaram de forma ambientalmente correta 458 de pneus inservíveis em 2017. Este número também está no relatório Ibama de pneumáticos 2018. Estima-se que entre 1999 a 2017 tenham sido recolhidos e destinados de forma correta 4,5 milhões de toneladas de pneus inservíveis, o equivalente a 916 milhões de pneus de passeio (ANIP, 2019).

Esses pneus velhos também possuem atrativos como subproduto são de fácil transporte e baixo custo apenas o de transporte onde ele foi encontrado, não oferece risco aos transportadores pois não é tóxico, os pneus também possuem forma geométricas igual o que facilita na fabricação de equipamentos de desmonte e trituração (SPECHT, 2004). O asfalto borracha quando comparado com o asfalto convencional apresenta melhorias tanto no pavimento quanto no meio econômico, ela também abre porta para fabrica e indústria destinada a reciclagem dessa borracha (SOARES, R. A.; MACHADO DE ASSIS, E. 2008).

Devido a construção do asfalto borracha reutilizar borracha de pneus inservíveis, ele torna-se uma construção sustentável, onde-se traz benefícios para o meio-ambiente e os usuários que o utilizam (ODA e FERNANDES JÚNIOR, 2001).

4.1. ASFALTO BORRACHA E SUSTENTABILIDADE

O reaproveitamento dos pneus de várias formas possível, contribui para impedir a degradação da natureza e a proliferação de vetores de doenças como por exemplo, a dengue e febre amarela (SUGIMOTO, 2004).

A GRECA (2016) foi a pioneira de produção e comercialização do asfalto-borracha no Brasil. Nessa técnica de fabricação usa-se pó de borracha moída, da raspagem de pneus inservíveis que seriam destinados na natureza.

No procedimento de reciclagem de pneus, a GRECA tem participação como consumidor de matéria prima. Com ajuda de empresas parceiras fazem o processo de moer a borracha de acordo com as especificações do material.

De acordo com HEITZMAN (1992), é capaz de incorporar a borracha de 2 a 6 pneus para uma tonelada de concreto asfáltico. Para produzir de 2 a 5 milhões de toneladas de concreto asfáltico utilizando borracha moída, são consumido 10 milhões de pneus descartados por ano. Para a produção de 4.5 a 5.5kg de borracha são necessários aproximadamente um pneu de automóvel pesando de 9kg

Devido a queima inadequada de pneus e sem nenhum tipo de filtro de fumaça, libera substancias toxicas, que vem a representar riscos de mortalidade prematura, problemas pulmonares, complicações no coração, depressão do sistema nervoso e central. (MATTOS, 2006).

Além de sustentável a utilização de resíduos de borracha observa-se várias melhorias, como resistência ao envelhecimento e aumento na flexibilidade (ODA e FERNANDES JÚNIOR, 2001).

4.2. VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA NO CIMENTO ASFÁLTICO

Sobre as vantagens que o cimento asfalto com resíduo de borracha traz destacam-se (ODA e FERNANDES JÚNIOR, 2001):

a) resistência ao envelhecimento por oxidação devido a antioxidantes e carbono encontrado na borracha (ODA e FERNANDES JÚNIOR, 2001).

B) aumento da flexibilidade com a mistura asfáltica e o ligante asfalto borracha, que são mais flexíveis que as misturas asfálticas convencionais (STEOHENS, 1982; TAKALLOU e HICKS, 1988; MCQUILLEN et al., 1988).

c) Aumento do ponto de amolecimento, com a adição da borracha o ponto de amolecimento do asfalto borracha torna-se maior que o do asfalto convencional, isso dificulta o aparecimento de trincas e o acumulo de deformações permanentes no pavimento (SALTER e MAT, 1990).

d) Redução na suscetibilidade térmica com o uso de ligantes asfálticos aumenta sua resistência a variações de temperatura (HEZTMAN, 1992; RUTH et al., 1997).

Com certeza o asfalto borracha melhora muito a eficiência do asfalto convencional, mas para garantir total funcionalidade é importante realizar testes seguindo as normas São realizados testes para explicar e qualificar os ligantes asfálticos no que se refere suas propriedades (ODA e FERNANDES JÚNIOR, 2001).

4.3. ENSAIOS DE DEFINIÇÃO DE QUALIDADE DOS LIGANTES ASFÁLTICOS

São realizados testes para explicar e qualificar os ligantes asfálticos no que se refere suas propriedades (ODA e FERNANDES JÚNIOR, 2001).

4.3.1. PENETRAÇÃO

O ensaio de penetração se baseasse basicamente em estabelecer qual a profundidade em décimos de milímetros, que uma agulha com 100g penetra uma mistura de cimento asfáltico em uma temperatura ambiente de 25°C, no período de tempo de 5 segundos ABNT (1998).

4.3.2. PONTO DE AMOLECIMENTO (ANEL E BOLA)

Este ensaio consiste em uma amostra de cimento asfáltico a ser colocado em um recipiente que é formado por um anel metálico. Diante disso é realizado o ensaio permanecendo suspenso em banho num béquer com água. A temperatura lida no instante em que o conjunto toca o fundo do béquer é considerada o ponto de amolecimento do material ABNT (2008).

4.3.3. PONTO DE FULGOR

O ponto de fulgor determinado submetendo a maior temperatura que um material asfáltico seja capaz de ser submetido sem que haja liberação de gases de fácil combustão. O Vaso Aberto Cleveland é o equipamento utilizado para execução desse ensaio de ponto de fulgor ABNT (2008).

4.3.4. RETORNO ELÁSTICO

Este ensaio tem o propósito de determinação da elasticidade dos materiais betuminoso. Para este ensaio utiliza-se um ductilometro, aparelho o mesmo utilizado para medir a ductilidade dos materiais betuminosos, são medida a capacidade de um ligante em revigorar sua posição inicial, depois de ter sido tracionado 20 cm a uma temperatura de 25°C, a velocidade de 5cm/min. logo após ter de atingir a máxima tração, o material já alongado é cortado ao meio, após 60 minutos, e novamente medido no que diz respeito a cada uma das partes do material retomado ao tamanho original. Depois de preparados os asfaltos modificados, passaram a ser retirados amostras para a realização dos ensaios ABNT (2004).

Assim observados os teste e procedimentos, para que o asfalto borracha trabalhe em bom estado, e seu valor ambiental de reutilização de pneus, o asfalto borracha é certamente a melhor forma sustentável que inclui reaproveitamento de pneus ABNT (2004).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim com a conclusão desse trabalho os objetivos foram validados pelas hipóteses a e b. Apresenta-se nesse trabalho a validação do objetivo a, mostrando as consequências ambientais causada pela evolução das tecnologias, desenvolvimento, crescimento da construção civil e inovações da engenharia, devido a exploração desenfreada de materiais e o crescimento não sustentável. Com a criação e desenvolvimento do pavimento, os meios de transportes cresceram juntos, assim aumentando a quantidade de produção de pneus, e conseqüentemente, um grande número de descartes na natureza, principalmente no Brasil onde o principal meio de transporte é o rodoviário. Mediante a esses problemas teve criações de normas que obrigam as indústrias pneumáticas a dá um destino para esses pneus inservíveis, surgindo métodos de reciclagem de pneus, dentre eles o asfalto borracha, um excelente método para dá um destino para esses pneus inservíveis, além de melhorias para o asfalto.

Com relação ao objetivo b, sendo possível conhecer as técnicas e processos de criação do asfalto borracha, que são basicamente dois processos, o processo seco onde a introdução da borracha de asfalto ocorre durante o preparo de mistura asfáltica validando a hipóteses a, que é possível obter sustentabilidade com o processo seco, misturado a frio, devido a reutilização de pneus sem nenhuma liberação de poluentes. e o processo úmido, sendo o processo úmido dividido em terminal blend onde que o processo é feito por intermédio de digestão térmica e movimentação mecânica nos moinhos de cisalhamento, diante esses resultados o ligante alterado será estável e uniforme, de maneira que ele seja armazenado sem seus componentes não se separem, e o continuous blend onde suas misturas a quentes são produzidas em usinas de asfalto, para uma aplicação imediata, não deixando a estocagem por mais de algumas horas, porem o processo úmido não é totalmente sustentável, devido ao aquecimento em altas temperaturas liberando poluentes, validando a hipótese b.

Já objetivo c, fazendo-se possível chega na ideia de que com a adição de borracha de pneus em ligantes asfálticos, usados em obras de pavimentação, tem se tornado uma ótima alternativa sustentável pois usa-se uma grande quantidade de pneus para a sua construção, O asfalto borracha é a melhor alternativa se tratando de reciclagem de pneus pois para sua construção utiliza-se uma grande quantidade

de pneus velhos, ele também aumenta a vida útil e melhora outras propriedades do asfalto como a impermeabilização, sendo uma solução para esse grave problema.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-11341: **Produtos de petróleo – determinação do ponto de fulgor e combustão em vaso aberto de Cleveland**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6560: **Materiais betuminosos - determinação do ponto de amolecimento** - método do anel e bola. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 6p, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6576: **Materiais betuminosos – determinação da penetração**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 7p, 2007.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS ANIP: Reciclanip o ciclo sustentável do pneu. Disponível em: <<http://www.reciclanip.org.br/destinados/>>. Acesso em: 25 de outubro de 2019.

BALDO JOSÉ, TADEU. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2007.

BERTOLLO, S. A. M. et al., (2000) "**Pavimentação Asfáltica: uma alternativa para reutilização de pneus usados**", Revista Limpeza Publica, n. 54. Associação Brasileira de Limpeza Publica – ABLP, p. 23-30, janeiro.

BILLITER, T. C. (1997) **The Characterization of Asphalt-Rubber Binder**. Tese de Doutorado, Texas A&M University, College Station, EUA.

BRASIL. Resolução nº 258, de 26 de agosto de 1999. **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA**. 1999. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: outubro de 2019.

BRASIL. Resolução nº 416, de 30 de setembro de 2009. **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA**. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: outubro de 2019.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Glossário ecológico ambiental**. SÃO PAULO: CETESB; [2003?]. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ambiente/glossario/glossario_a.asp> Acesso em:30 de outubro de 2019.

GRECA ASFALTOS. **ECOFLEX - Asfalto-Borracha - Grupo GRECA Asfaltos**. Disponível em: <<http://www.grecaasfaltos.com.br/produtos/asfaltos/asfalto-borracha-ecoflex-asfalto-ecologico>> Acesso em 19/05/2019.

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

LEITE, LENI FIGUEIREDO MATHIAS. **Estudo de Preparo e Caracterização de Asfaltos Modificados por Polímeros**. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 1999. (Tese de Doutorado).

MATTOS, Marluza. **Pneu velho, problema novo**. Junho 2006. Disponível em: <www.terrazul.m2014.net>. Acesso em: 30 de outubro de 2019.

McQUILLEN, JR., J.L. et al. **Economic analysis of rubbermodified asphalt mixes**. *J. Transp. Eng.*, Reston, v.114, n.3, p.259-277, 1988.

MOMM, L., SALIN, R.(2000). **Study of recycled in asphalt concrete mextures**. Asphalt Rubber 2000 – proceeding, Portugal.

ODA, Sandra; FERNANDES JUNIOR, José Leomar. **Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação**. 2000.Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-30012018-151928/pt-br.php>>. Acesso em: 30 de outubro de 2019.

ODA, SANDRA; JÚNIOR, JOSÉ LEOMAR FERNANDES. **Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação**. *Acta Scientiarum*, v. 23, n. 6, p. 1589-1599, 2001.

OLIVER, J.W.H (2000). **Rutting and fatigue properties of crumb rubber hot mix asphalts. Asphalt rubber 2000** – proceedings, Portugal.

PAGE, G.C.; RUTH, B.R; WEST, R.C. (1992) – **Florida's Approach Using Ground Tire Rubber in Asphalt Concrete Mixtures. Transportation Research Record 1339**, TRB, Washington, DC, p. 16-22.

PINTO, SALOMÃO; EDUARDO PINTO, ISAAC. **Pavimentação asfáltica: Conceitos sobre materiais e revestimento asfálticos/Salomão pinto, Isaac Eduardo pinto. -1. Ed, - [Reimpr].** – Rio de Janeiro: LTC, 2018.

RUSSO, MÁRIO AUGUSTO TAVARES. **Tratamento de Resíduos sólidos.** Universidade de Coimbra, 2003. Disponível em: <http://www1.ci.uc.pt/mhidro/eficicoes_antigas/tratamentos_residuos_solidos.pdf> , acesso em 09 ago. 2018.

SALTER, R.J.; MAT, J. **Some effects of rubber additives on asphalt mixes. Transp. Res. Rec.,** Washington, D.C., n.1269, p.79-86, 1990.

SOARES, R. A.; MACHADO DE ASSIS, E. **O uso da Borracha de Pneus na Pavimentação como uma Alternativa Ecologicamente Viável.** 2008. 15 p. Universidade Católica de Salvador, Salvador, BA, 2008.

SPECHT, LUCIANO PIVOTO. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus.** 2004.

STEPHENS, J.E. **Field evaluation of rubber-modified bituminous concrete.** Transp. Res. Rec., Washington, D.C., n.843, p.11-21, 1982.

SUGIMOTO, Luiz. **Tese propõe metodologia para descartes de pneus.** Jornal na unicamp, 15 a 21 de março de 2004. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp_hoje/jornalPDF/ju24pag11.pdf>. acesso em: 30 de outubro de 2019.

TAKALLOU, H.B.; HICKS, R.G. **Development of improved mix and construction guidelines for rubbermodified asphalt pavements.** Transp. Res. Rec., Washington, D.C., n.1171, p.113-120, 1988.

VISSER, A.T., VERHAEGHE, B.(2000). **Bitumen Rubber: Lessons Learnd in South Africa, Performance of Asphalt Rubber as Thin Overlays.** Asphalt Rubber 2000 – proceedings, Portugal.

ZANZOTTO, L.; KENNEPOHL, G, J. **Development of rubber and asphalt binders by despolymerization and devulcanization of scrap tires in asphalt.** Washigton, D.C.: TRR, 1996. (Transportation Research Record 1530