

FACULDADE EVANGÉLICA DE JARAGUÁ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LAÉRCIO DA SILVEIRA CORDEIRO

O USO DO ASFALTO-BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO DE VIAS URBANAS

Jaraguá - 2019

LAÉRCIO DA SILVEIRA CORDEIRO

O USO DO ASFALTO-BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO DE VIAS URBANAS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Civil da Faculdade Evangélica de Jaraguá, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador:

Prof. Dr. Milton Gonçalves da Silva Júnior

LAÉRCIO DA SILVEIRA CORDEIRO

O USO DO ASFALTO-BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO DE VIAS URBANAS

Trabalho de Conclusão de Curso DEFENDIDO e APROVADO em ____ de _____ de 201__, pela Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil, constituída pelos membros:

Prof. Dr. Milton Gonçalves da Silva Júnior

- Orientador -

Prof. Ma. Jéssica Nayara Dias

- Membro Interno -

Prof. Esp. Rafael Gonçalves Fagundes Pereira

- Membro Interno -

SUMÁRIO

RESUMO	04
1 INTRODUÇÃO	04
2 MATERIAL E MÉTODOS	05
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	05
4 CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS	21

O USO DO ASFALTO-BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO DE VIAS URBANAS

Laércio da Silveira Cordeiro ¹
Milton Gonçalves da Silva Junior ²

RESUMO

O homem deu início à construção de estradas para atender as suas necessidades básicas desde os primórdios. No Brasil os registros indicam que desde à época das capitâneas hereditárias as estradas foram construídas e eram utilizadas. O uso de aditivos com materiais poliméricos do tipo elastômeros modifica o asfalto surgindo o asfalto-borracha que se apresenta como uma alternativa para utilização dos pneus inservíveis que tendem a minimizar os impactos ambientais. O presente trabalho tem como objetivos: Avaliar e comparar as propriedades do asfalto-borracha com o convencional; e, analisar a viabilidade econômica e ambiental da sua aplicação na recuperação de pavimentos de vias urbanas. A metodologia utilizada neste estudo foi uma revisão de literatura e pesquisas bibliográficas comparando-se os dois tipos de pavimentos, afim de estimular o uso e aplicação do asfalto-borracha na pavimentação das vias urbanas. Como toda tecnologia nova a sua fase de implantação inicial é superior, onde as diferenças de preço se diluem em longo prazo. Enquanto no asfalto convencional aparecem patologias, estas deformações, dificilmente aparecem no asfalto-borracha. Realizando-se a fórmula da equação de redução de custos encontrou-se um valor menor do asfalto-borracha, evidenciando-se que além das questões ecológicas e ambientais obteve-se ganhos econômicos e financeiros, pois demonstrou-se vantagens na durabilidade do pavimento; maior resistência à formação de trilhas de roda e ao envelhecimento; proporcionando pavimentos mais seguros, confortáveis e silenciosos; e possuindo a melhor relação custo-benefício do mercado. A adoção desta tecnologia, na pavimentação de vias urbanas, possibilitará menores intervenções de manutenção, trazendo maior conforto, segurança e economia para os usuários com a otimização dos recursos públicos. Assim o asfalto-borracha se torna uma boa solução para minimizar ou até mesmo acabar com o descarte incorreto dos pneus, contribuindo com a redução de manutenção das vias pavimentadas, proporcionando a revitalização dos pavimentos e economizando recursos.

Palavras-Chave: Engenharia. Pneus inservíveis. Asfalto-borracha. Sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, em todas as suas modalidades, se destaca pela modificação do cenário, aplicação de recursos naturais renováveis e não renováveis, movimentando à criação de resíduos sólidos e conseqüentemente emissões de gases na atmosfera com impactos sobre o meio ambiente, à qualidade de vida da população e à infraestrutura existente. 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 e aderente, proporciona conforto no deslocamento e mais segurança em condições de pistas úmidas e molhadas, também uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos, garante um melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais, seja qual for a melhoria física oferecida (Balbo, 2007). O transporte rodoviário desempenha um papel importante na sociedade e na economia brasileira, visto que tem sido a principal alternativa para

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá – FEJA. e-mail: laerciodasilveiracordeiro@hotmail.com.

² Professor, Doutor, orientador do curso de Engenharia Civil – Faculdade Evangélica de Jaraguá – FEJA. e-mail: professormiltonjunior@outlook.com.

a movimentação de cargas e pessoas em todo o país. Porém, para que esse transporte seja realizado de forma eficiente, faz-se necessário que o pavimento das rodovias esteja em boas condições (CNT, 2017).

Atualmente um dos principais problemas ambientais no ramo dos Resíduos Sólidos é a disposição final de pneus. Isto se deve a vários fatores, como o aumento populacional, o consumo exagerado deste produto e a falta de políticas públicas de Educação Ambiental, incluindo a reciclagem. Segundo a Resolução nº 416/09 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – (Brasil, 2009), os fabricantes e importadores de pneus devem dar uma correta destinação aos pneus inservíveis. Esta resolução expõe que, para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras deverão dar destinação adequada a um pneu inservível, sendo que para efeito de fiscalização, a quantidade de que trata o *caput* deverá ser convertida em peso de pneus inservíveis a serem destinados (Ucker; Ucker; Silva Júnior, 2017).

O pavimento convencional, em virtude da composição de suas camadas gera alto custo, por esta razão tem necessidade de se buscar novas alternativas no mercado que apresentem um melhor custo-benefício (Zatarin *et al.*, 2017). O asfalto-borracha apresenta em sua composição pneus inservíveis onde este material pode ser reciclado e preparado; sendo incorporado a ligantes asfálticos que são utilizados no processo de pavimentação.

A elaboração deste trabalho justifica-se pela ausência de estudos científicos realizados regionalmente ou localmente no Estado de Goiás onde os gestores públicos e a sociedade em geral poderão, futuramente, decidir sobre a adoção desta tecnologia, na pavimentação das vias urbanas, que possibilitarão menores intervenções de manutenção, trazendo maior conforto, segurança e economia para os usuários com a otimização dos recursos públicos.

O objetivo geral deste trabalho é: Minimizar os impactos ambientais utilizando os pneus inservíveis para produção do asfalto-borracha. Tendo como objetivos específicos: Avaliar e comparar as propriedades do asfalto-borracha com as propriedades do asfalto convencional; além de: Analisar a viabilidade econômica e ambiental da aplicação do asfalto-borracha, caracterizando suas vantagens na construção e na recuperação de pavimentos de vias urbanas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se por meio de revisão de literatura e pesquisas bibliográficas um levantamento geral comparando-se as propriedades do asfalto-borracha com as propriedades do asfalto convencional, afim de estimular o uso e aplicação desta nova tecnologia nas vias urbanas; assim como, analisando-se a viabilidade econômica e identificando-se os comportamentos desta tecnologia nas condições climáticas da região.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação das Propriedades do Asfalto-borracha com as Propriedades do Asfalto Convencional

Breve Histórico da Pavimentação no Brasil

A humanidade, desde muito cedo, percebeu a necessidade de expandir seus territórios e encontrar uma maneira de facilitar seu acesso às áreas cultiváveis e fontes de materiais essenciais à sua subsistência e desenvolvimento, tais como: Madeira, rochas, minerais e água. A partir dessa necessidade, o homem deu início à construção de estradas (Balbo, 2007). As estradas pavimentadas têm se destacado diariamente devido a facilidade e rapidez com que se

promove o transporte. Os benefícios gerados por elas são de suma importância para o desenvolvimento socioeconômico mundial, pois há uma economia considerável relativo ao tempo de viagem e ao custo de operação além de oferecer maior conforto e segurança aos seus usuários. Devido a isso a necessidade de conservação e recuperação dos pavimentos tem se tornado cada vez mais indispensável e essencial ao bem-estar da sociedade (Gonçalves, 2002).

O “asfaltamento”, ou a pavimentação de uma via ou rua, é, sem dúvida, uma das mais importantes intervenções do poder público voltada ao saneamento básico e, conseqüentemente, à melhoria do nível de qualidade de vida das comunidades, pois deflagra, com a sua conclusão, um contínuo processo de incorporação de novos benefícios – diretos e/ou indiretos – assegurando à população envolvida a conquista do direito à cidadania. A pavimentação de uma via melhora as condições de salubridade no seu entorno; facilita e disciplina a captação, condução e destinação das águas pluviais; viabiliza a implementação de transporte coletivo mais eficiente e rápido, face à melhor condição de rolamento, facilitando e reduzindo o tempo de deslocamento da população; incentiva a instalação de infraestrutura comercial, industrial e de serviços nas adjacências da intervenção; estimula a introdução de melhorias nas moradias e demais ocupações existentes nas laterais da artéria pavimentada; valoriza os imóveis lindeiros, etc. (Abeda, 2010).

De acordo com Bernucci *et al.* (2006), no Brasil, uma das primeiras estradas reportadas tem início em 1560, à época do terceiro governador-geral do Brasil, Mem de Sá. Trata-se do caminho aberto para ligar São Vicente ao Planalto Piratininga. Em 1661, o governo da Capitania de São Vicente recuperou esse caminho, construindo o que foi denominada Estrada do Mar (ou Caminho do Mar), permitindo assim o tráfego de veículos. Hoje a estrada também é conhecida como Estrada Velha do Mar. Em 1789, a estrada foi recuperada, sendo a pavimentação no trecho da serra feita com lajes de granito, a chamada Calçada de Lorena, ainda hoje em parte preservada.

Ainda segundo o mesmo autor, a Estrada do Mar emprestou parte do seu traçado para a construção da Estrada da Maioridade, em homenagem à maioria de D. Pedro II, iniciada em 1837 e concluída em 1844. Em 1913, iniciou-se novamente uma recuperação, mas a estrada foi posteriormente abandonada devido à concorrência da linha férrea. Em 1920, foi criada a Sociedade Caminho do Mar, responsável pela reconstrução da estrada e estabelecimento de pedágio e, em 1922, o seu trecho mais íngreme foi pavimentado com concreto. Em 1923, foi abolido o pedágio pelo governo de São Paulo que comprou a Sociedade Caminho do Mar. Era presidente de São Paulo, Washington Luiz, que foi presidente da República de 1926 a 1930, sendo sua a célebre frase “governar é abrir estradas”.

A partir dos anos de 1940, em especial após o término da 2ª Guerra Mundial, o modo rodoviário ultrapassava o ferroviário na movimentação de cargas, e, por volta de 1950, as rodovias passaram a transportar mais “toneladas x quilômetro” de cargas domésticas do que a navegação de cabotagem. A malha rodoviária brasileira apresentou sua maior expansão nas décadas de 60 e 70 – período no qual cerca de 20 % do total de gastos do setor público foi destinado à construção e manutenção de estradas (Cordeiro, 2006).

O grande impulso na construção rodoviária brasileira ocorreu nas décadas de 1940 e 1950, graças à criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) em 1946, oriundo do imposto sobre combustíveis líquidos. Destaque-se ainda a criação da Petrobras em 1953. De acordo com Prego (2001), o ano de 1950 foi destacado como o início da execução de pavimentos em escala industrial e da organização de grandes firmas construtoras. Anteriormente, embora já existisse o Laboratório Central do DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem), não havia ainda procedimentos amplamente aceitos para a aplicação das tecnologias rodoviárias. Isto tanto é verdadeiro que a pavimentação da Presidente Dutra, em 1950, foi feita sem estudo geotécnico, com espessuras constantes de 35 cm, sendo 20 cm de base de macadame hidráulico e 15 cm de um revestimento de macadame betuminoso por penetração dosado pela regra “a

quantidade de ligante é a que o agregado pede”. Em alguns trechos se adotou pavimento de concreto de cimento Portland. Registre-se, contudo, já nesta obra os esforços de alguns engenheiros para implantação de métodos de projeto e controle.

Segundo Bernucci *et al.* (2006), durante o governo militar (1964-1984), entre os projetos de estradas de destaque estão a Rodovia Transamazônica e a Ponte Rio-Niterói. Em 1985, o Brasil contava com, aproximadamente, 109.539 Km de rodovias pavimentadas, saltando em 1993 para, aproximadamente, 133.377 Km, conforme indica a evolução da rede rodoviária ilustrada na Tabela 01, que não inclui a rede viária municipal, responsável pela grande malha não-pavimentada no país. Números do ano de 2007 apontam 127.087 Km de rodovias não-pavimentadas (federais e estaduais) e 167.852 Km de rodovias pavimentadas, sendo 61.304 Km federais e 106.548 Km estaduais. Esse percentual (de cerca de 10 % de vias pavimentadas) contrasta com um percentual nos Estados Unidos e na Europa de mais de 50 % e de uma média na América do Sul superior a 20 %. Os dados mais recentes do ano de 2017, de acordo com BRASIL (2018) são: Rodovias federais pavimentadas: 65.529,60 Km e não-pavimentada: 10.728,90 Km, no total de: 76.258,5 Km; onde não foi possível obter dados deste período para as rodovias estaduais.

Tabela 01 – Evolução da rede rodoviária federal e estadual (Km).

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

Fonte: BRASIL, 2008.

Segundo Cordeiro (2006), a partir do final da década de 70, devido ao grande volume de tráfego, a rede rodoviária começou a dar sinais de exaustão. Em sequência, nas décadas de 80 e 90 o processo de deterioração das rodovias acentuou-se, necessitando de intervenções como restauração e/ou reforço do pavimento. No início do século XXI, com a falta de manutenção ou restauração das estradas, o estado de degradação da rede ultrapassou o patamar de 70 % da extensão total da malha rodoviária. No Brasil, a partir do início da década de 1990, os técnicos e o meio acadêmico têm utilizados polímeros na modificação dos cimentos asfálticos. Destaca-se neste período a pesquisa pioneira de polímeros desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (IPR/DNIT), que teve por objetivo elucidar questões sobre a modificação dos ligantes asfálticos por meio de polímeros.

Situação Atual da Pavimentação no Brasil

Num país rodoviarista como o Brasil, que transporta, aproximadamente, 60 % de sua carga e 96 % de seus passageiros por estradas, a melhoria do sistema viário é urgente não apenas para quem exerce atividade do transporte, mas para todos os setores da economia e para a sociedade em geral, que dela dependem para alcançar níveis satisfatórios de desenvolvimento (CNT, 2007).

Segundo BRASIL (2000), através do GEIPOT – Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes, com informações do Ministério dos Transportes, os dados levantados indicam que o modal ferroviário responde por 21 %, o aquaviário por 14 %, o dutoviário por 5 % e o aéreo por menos de 1 %, aproximadamente. O modal de transporte rodoviário encontra-se em parte em estado deficiente, sendo os investimentos nas rodovias prioritários neste momento, não apenas por ser o modal mais utilizado, mas por exigir menor investimento quando comparado aos demais modais. A malha rodoviária brasileira encontra-se em condições insatisfatórias aos usuários tanto quanto ao desempenho, quanto à segurança e à economia.

Já em 1997, a pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte – CNT (CNT, 1997), apontava que 92,3 % das estradas brasileiras avaliadas na pesquisa eram classificadas como deficientes/ruins/péssimas em seu estado geral. Em 2004, esse índice ficou em 74,7 %, e em 2009 ficou em 69,0 % de regular/ruim/péssimo. Observa-se, de acordo com esta mesma pesquisa, uma leve melhoria, mas de forma muito lenta. Ressalta-se que, nos três quesitos avaliados na pesquisa, ou seja, pavimento, sinalização e geometria da via, a qualidade do pavimento está estabilizada com aproximadamente 55 % de regular/ruim/péssimo desde 2004.

De acordo com Zatarin *et al.* (2017), o Brasil ainda precisa fazer muitos investimentos em infraestrutura, uma vez que, o transporte rodoviário é responsável pela maior parte do escoamento da produção das indústrias brasileiras. Aliados às essas necessidades de investimento destaca-se também a questão ambiental, de maneira que durante o processo de construção ou reforma das malhas viárias, tem se a necessidade da utilização dos recursos tecnológicos disponíveis.

O asfalto-borracha, por exemplo, acresce em sua composição pneus inservíveis, antigamente considerados resíduos a serem descartados, hoje sendo reciclados e incorporados aos ligantes asfálticos em obras de pavimentação. 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 (Zatarin *et al.*, 2017).

Segundo Bernucci *et al.* (2006), levantamentos recorrentes da Confederação Nacional do Transporte – CNT têm considerado a grande maioria dos pavimentos do Brasil de baixo conforto ao rolamento, incluindo muitos trechos concessionados da malha federal. Estima-se de 1 a 2 bilhões de reais, por ano, para manutenção das rodovias federais. Acredita-se que seriam necessários R\$ 10 bilhões para recuperação de toda a malha viária federal. Nas últimas décadas, o investimento em infraestrutura rodoviária se encontra bem aquém das necessidades do país, havendo uma crescente insatisfação do setor produtivo com esse nível de investimento.

Os mesmos autores descrevem que os bens produzidos no país podem ser mais competitivos na fase de produção, mas perdem competitividade, notadamente, no quesito infraestrutura de transportes, devido a uma matriz modal deficiente, onde as estradas (principal meio de escoamento da produção nacional) encontram-se em estado tal que não são capazes de atender as necessidades de transporte de carga nacionais. Essa realidade nos torna pouco competitivos no mercado exterior e cria uma situação econômica nacional insustentável.

A quilometragem total da malha rodoviária do Brasil é ao todo: 1.563,6 mil quilômetros de malha rodoviária no país, sendo 94,7 % rodovias estaduais e municipais, e 5,3 % federais (76,5 mil quilômetros). Da malha total do país as estradas pavimentadas representam 13,7 % do total (213,5 mil quilômetros). Os outros 86,3 % são rodovias não pavimentadas (1.350,1 mil quilômetros). Da malha rodoviária federal, 65,5 mil quilômetros são pavimentadas (84,7 %); 6,4 mil quilômetros são duplicadas (10,7 %) e 68,8 mil quilômetros são de pista simples (89,9 %). Deste total, são 21 trechos concedidos à iniciativa privada que totalizam 10 mil quilômetros. Estes trechos estão em processo de concessão no Brasil: BR-101/290/386/448/SC/RS; BR-364/365/GO/MG; e BR-101/SC. Em 2017, o investimento

realizado³ no setor rodoviário, pelo poder público através do Ministério da Infraestrutura, do governo federal, via Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) foi de R\$ 8,046 bilhões (Brasil, 2018).

Propriedades do Asfalto Convencional

Os asfaltos, materiais aglutinantes de cor escura, são derivados do petróleo, sendo que o elemento predominante é o betume (99,5 %). Betume, muitas vezes usado como sinônimo de asfalto, é uma substância aglutinante escura composta principalmente por hidrocarbonetos de alto peso molecular, totalmente solúvel em dissulfeto de carbono. Podem ser utilizados em várias aplicações, como por exemplo, em impermeabilizações de construções civis e, principalmente, em obras de pavimentação (Roberts *et al.*, 1996).

Os asfaltos podem ser encontrados em jazidas naturais, na forma de bolsões de asfaltos, originados da evaporação das frações mais leves (mais voláteis) do petróleo e aflorados às superfícies em épocas remotas. Atualmente, quase toda produção de asfalto resulta da destilação de petróleo em unidades industriais (refinarias). Em obras de pavimentação, os asfaltos podem ser denominados ligantes asfálticos, cimentos asfálticos ou materiais asfálticos, sendo adotado o termo mais genérico ligante asfáltico, pois aos asfaltos podem ser adicionados produtos que visam melhorar suas propriedades de engenharia (modificadores). O asfalto é um material complexo, tanto do ponto de vista de composição química como de propriedades de engenharia. Apresenta um comportamento viscoso, caracterizado pela diminuição da rigidez para longos períodos de aplicação de carga, e susceptibilidade térmica, caracterizado pela alteração de propriedades (viscosidade, rigidez, consistência) em função da temperatura (Oda, 2000).

Pavimento do Ponto de Vista Estrutural e Funcional

Bernucci *et al.* (2006), classifica o pavimento, como sendo: Uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. De acordo com Senço (2007), os pavimentos são estruturas que possuem várias camadas, mas é o revestimento que se destina a receber diretamente a ação climática e a carga de roda dos veículos. Vale ressaltar que essas camadas devem ser resistentes aos esforços verticais e horizontais para que sua destinação seja satisfatória aos requisitos de durabilidade. Sendo assim o modelo de estrutura de um pavimento varia muito devido as características dos materiais usados em sua confecção. As técnicas construtivas e o conhecimento dos métodos de que se dispõe são importantes fatores a se considerar (Medina; Motta, 2015).

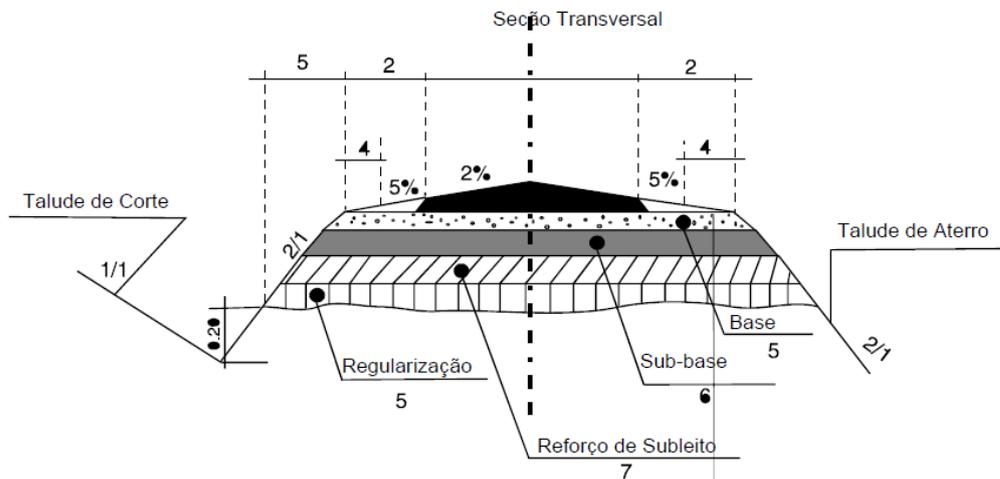
Pavimentos de massa asfáltica são compostos de múltiplas camadas, sendo: Revestimento, base asfáltico, base, sub-base e por fim reforço do subleito, sendo a parte do revestimento que recebe o fluxo de veículos e ações climáticas (conforme estão apresentados na Figura 01 e na Figura 02). Os pavimentos são utilizados em estradas, vias urbanas e rodovias, tendo no Brasil que as estradas pavimentadas estão em torno de 12 %. A escolha do pavimento deve levar em consideração o tipo de tráfego, solo, vida útil dentre outros fatores (Zagonel, 2013).

De acordo com Bernucci *et al.* (2006), a classificação dos pavimentos basicamente são dois tipos, mas para indicar o tipo de revestimento houve o acréscimo de um terceiro, que é a mistura dos dois primeiros, tornando-se assim três tipos: pavimento rígido, pavimento semirrígido e pavimento flexível.

³ Realizado = RAP Liquidado no Exercício + Empenhos Liquidados.

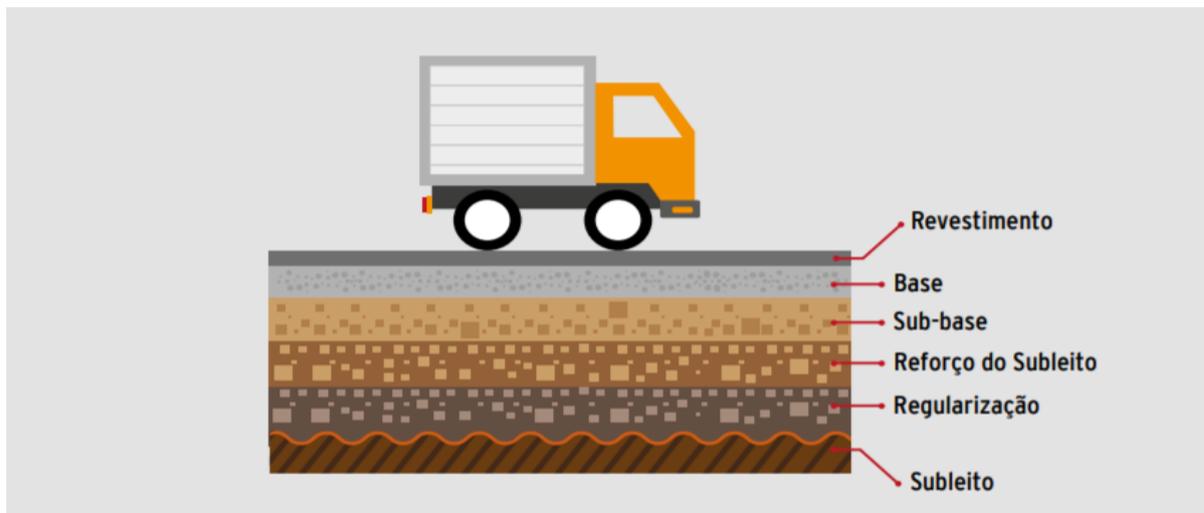
- **Rígido:** São os pavimentos constituídos basicamente por uma placa de concreto. Seu revestimento é muito rígido em relação as camadas inferiores, com isso absorve mais as tensões devido a carga de roda dos veículos.
- **Semirrígido:** São os pavimentos constituídos por materiais betuminosos e também camadas de materiais com ligantes hidráulico. Essa mistura reduz consideravelmente seu conjunto de deformabilidade.
- **Flexível:** São os pavimentos constituídos por misturas asfálticas e agregados. Possui camada distinta que distribui as tensões recebidas uniformemente devido a sua elasticidade.

Figura 01 – Seção transversal do pavimento.



Fonte: BRASIL – DNIT, 2006.

Figura 02 – Esquema de seção transversal do pavimento.



Fonte: CNT, 2017.

Do ponto de vista funcional, o pavimento tem a tarefa de suportar o tráfego e fornecer segurança aos usuários. Essa função está intimamente relacionada com o estado que a superfície de rolamento se encontra. A durabilidade das camadas de rolamento, por sua vez, depende das intempéries, da intensidade do tráfego e também das características estruturais do pavimento (Mendes; Nunes, 2009).

Pavimentos rígidos são aqueles pouco deformáveis, constituídos principalmente de concreto de cimento. Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformações. Pavimentos

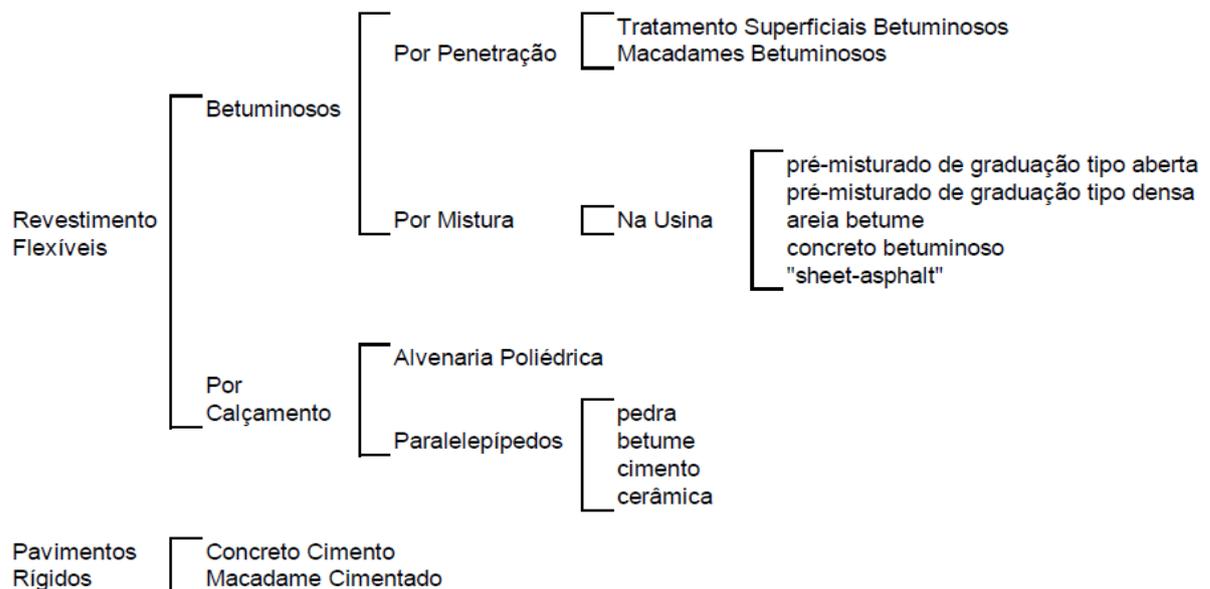
flexíveis são aqueles em que as deformações, até um certo limite, não levam ao rompimento. São dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga (Senço, 2007).

Pavimentos Semirrígidos ou Semiflexíveis, podem ser considerados uma situação intermediária entre os pavimentos rígidos e flexíveis. É o caso dos pavimentos constituídos, nas camadas de base ou sub-base, por misturas de solo-cimento, solo-cal, solo-betume, entre outras, que venham a apresentar uma considerável resistência a tração (Marques, 2001; Pinto; Preussler, 2002).

Os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. O revestimento asfáltico pode ser composto por camada de rolamento – em contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias ou de ligação, por vezes denominadas de *binder*, embora essa designação possa levar a uma certa confusão, uma vez que esse termo é utilizado na língua inglesa para designar o ligante asfáltico. Dependendo do tráfego e dos materiais disponíveis, pode-se ter ausência de algumas camadas. As camadas da estrutura repousam sobre o subleito, ou seja, a plataforma da estrada terminada após a conclusão dos cortes e aterros (Bernucci *et al.* 2006).

O DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura Transportes (BRASIL, 2006), em seu manual de pavimentação estabelece a seguinte classificação dos revestimentos (Figura 03):

Figura 03 – Classificação dos revestimentos



Fonte: BRASIL – DNIT, 2006.

É preciso ressaltar que revestimento flexíveis são os que mais são utilizados no Brasil, tendo-se como predominância Betuminosos (Teixeira; Araújo, 2018).

Segundo Medina (1997), as tensões e deformações induzidas na camada asfáltica pelas cargas do tráfego estão associadas ao trincamento por fadiga dessa camada. Ela ainda pode apresentar trincamento por envelhecimento do ligante asfáltico, ação climática etc. Parte de problemas relacionados à deformação permanente e outros defeitos pode ser atribuída ao revestimento asfáltico. Nos pavimentos asfálticos, as camadas de base, sub-base e reforço do subleito são de grande importância estrutural. Limitar as tensões e deformações na estrutura do

pavimento, por meio da combinação de materiais e espessuras das camadas constituintes, é o objetivo da mecânica dos pavimentos.

Os revestimentos asfálticos são constituídos por associação de agregados e de materiais asfálticos, podendo ser de duas maneiras principais, por penetração ou por mistura. De acordo com Bernucci *et al.* (2006), quando o revestimento estiver comprometido estruturalmente ou tiver uma previsão de aumento no tráfego, deve se dar preferência para alternativas que englobem um recapeamento da estrutura ou um tratamento de reforço às camadas já existentes.

Contudo mesmo que o pavimento não apresente deformações significativas, é preciso que se faça a adoção de um reforço estrutural para que haja um nível mais significativo de segurança ao tráfego futuro (BRASIL, 2006).

Quando se tem uma superfície de boa aderência ao pneu do veículo, há uma redução considerável de gastos com as rodovias e conseqüentemente com os veículos. Deve-se ressaltar que todas as camadas do pavimento têm uma função específica e uma das maiores funções do pavimento é proporcionar um tráfego seguro, confortável e que suporte a combinação das condições climáticas com materiais que sejam capazes de suportar os esforços que decorrem do tráfego (Balbo, 2007).

Grande parte dos trabalhos de pavimentação atualmente refere-se à manutenção e ao reforço de rodovias existentes, havendo também maior preocupação com a qualidade da superfície quanto ao conforto e à segurança dos usuários em todas as condições climáticas; nesses casos, o desenvolvimento de novas concepções de misturas asfálticas tem exigido a utilização de asfaltos modificados.

No Brasil na maioria dos pavimentos é usado o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) que pode variar quanto a fonte. Quando proporcionada e processada de forma adequada, garante à estrutura impermeabilidade, estabilidade, durabilidade, flexibilidade, resistência à derrapagem, à fadiga e ao trincamento térmico de acordo com o tráfego e o clima local (Bernucci, *et al.*, 2006).

De acordo com Teixeira; Araújo (2018), no Brasil observa-se que os revestimentos de pavimentos utilizados são obtidos pela agregação de materiais, podendo ainda ser por meio de concreto betuminoso a quente ou a frio. Vale reiterar que o usinado a quente é descrito como o mais utilizado no Brasil, o qual é formado pela mistura de agregados com tamanhos e materiais diversos, cimento asfáltico aquecidos em temperatura adequada tendo a busca pela viscosidade – temperatura do ligante. Quanto as misturas usinadas a frio estas são caracterizadas como mais econômicas, porém, é indicada somente para vias de baixo volume de tráfego, ou então, são utilizadas na camada intermediária, e em processo de recuperação e recapagem.

Porém, tem surgido proposta e projetos desenvolvidos que se utilizam de massa asfáltica modificada, tendo os aditivos utilizado no processo de usinagem características físicas e químicas melhoradas, e, em alguns casos demonstram-se superiores comparado ao asfalto convencional, podendo exemplificar nesse caso, a obtenção de massa asfáltica borracha que é obtida por processo de reutilização de materiais de pneus velhos combinado com ligante (Teixeira; Araújo, 2018).

A busca por novos processos e também de materiais de massa asfáltica se demonstra promissora diante de vários fatores. Primeiramente, por ser o Brasil um país rodoviarista, ou seja, que apresenta fluxo considerável de veículos rodoviários. Outro pela obtenção de materiais que apresentam contribuição ambiental na economia de recursos e materiais, como utilização de borracha de pneus velhos que além de aspectos ambientais, ainda apresenta viabilidade de custos, como pode-se citar redução de manutenção a longo prazo. Com isso, pode-se colocar que asfalto modificado por borracha de pneus granulada contribui para um desenvolvimento sustentável ao definir um destino final eficiente para um problema sério das sociedades modernas, os pneus usados (Sampaio, 2005).

Propriedades do Asfalto-Borracha

Histórico do Uso de Modificadores em Ligantes Asfálticos

Historicamente, o uso da borracha de pneus em ligantes asfálticos foi impulsionado a partir de 1963, quando o engenheiro Charles McDonald desenvolveu no Arizona – EUA, a tecnologia Overflex e posteriormente, na metade dos anos 1970 a Companhia de Refinação do Arizona – ARCO, desenvolveu a tecnologia (Arm-R-Shield), também conhecida como tecnologia McDonald, pelo processo úmido, que consiste na mistura de cimento asfáltico e borracha triturada (15 a 25 % em relação ao peso de ligante), durante 20 a 120 minutos a uma temperatura de 170 a 200 °C. Após a mistura, se forma um composto denominado asfalto-borracha, com propriedades diferentes do cimento asfáltico original. (Patriota, 2004).

No Brasil, esta tecnologia teve seu início por intermédio de pesquisas pioneiras de Lima (1985), Leite (1999), Oda (2000). Os primeiros trechos experimentais datam do início do século XXI, em rodovias concessionadas como a BR-116 no Rio Grande do Sul. Atualmente no Brasil já se conta em torno de 8 mil Km de rodovias pavimentadas que utilizaram direta ou indiretamente asfalto-borracha (Cordeiro; Pinto, 2018). Segundo Bernucci *et al.* (2006), no Brasil, a primeira aplicação de concreto asfáltico com asfalto-borracha foi feita em agosto de 2001 na Rodovia BR-116/RS. Atualmente, já está sendo comercializado em grande escala o asfalto-borracha, e já foi empregado com sucesso em algumas obras de recuperação estrutural de trechos rodoviários (Ruwer *et al.*, 2001; Leite *et al.*, 2003; Morilha Jr.; Trichês, 2003; Specht, 2004; Pinheiro; Soares, 2004).

A expressão “asfalto-borracha” é comumente empregada no meio rodoviário, e representa o cimento asfáltico modificado por borracha de pneu (Cordeiro, 2006). Segundo Cordeiro; Pinto (2018) asfalto modificado é aquele que, quando aditivado, tem suas características físicas e químicas melhoradas, de modo que seu desempenho em serviço seja superior ao do asfalto convencional. Esses aditivos são basicamente materiais poliméricos do tipo elastômeros e/ou plastômeros. As borrachas de pneus possuem excelentes propriedades tanto físicas como químicas, que incorporadas a ligantes, traz várias melhorias em pavimentos como durabilidade, resistência, diminuição da suscetibilidade térmica, além de ser uma matéria prima de produção. Matéria-prima barata, dentre os diversos tipos de polímeros, contribui para a comercialização de um asfalto modificado mais competitivo, técnica e financeiramente.

O asfalto-borracha apresenta em sua composição pneus sem utilidades, e que para obtenção de tal material pode ser reciclado e preparado para ser incorporado a ligantes asfálticos utilizado no processo de pavimentação. A borracha de pneus que antes iriam ser descartados no meio ambiente então passará a ser utilizados como material ligante ou até mesmo na obtenção de revestimento de camada seladora do asfalto. A faixa seladora de borracha asfáltica utiliza em torno de 1.000 (mil) pneus por Km selado de estradas de duas pistas, já no sistema árido, a utilização é maior, girando em torno de 4.500 e 7.500 pneus por Km de estrada de duas pistas. (Greca Asfaltos, 2011).

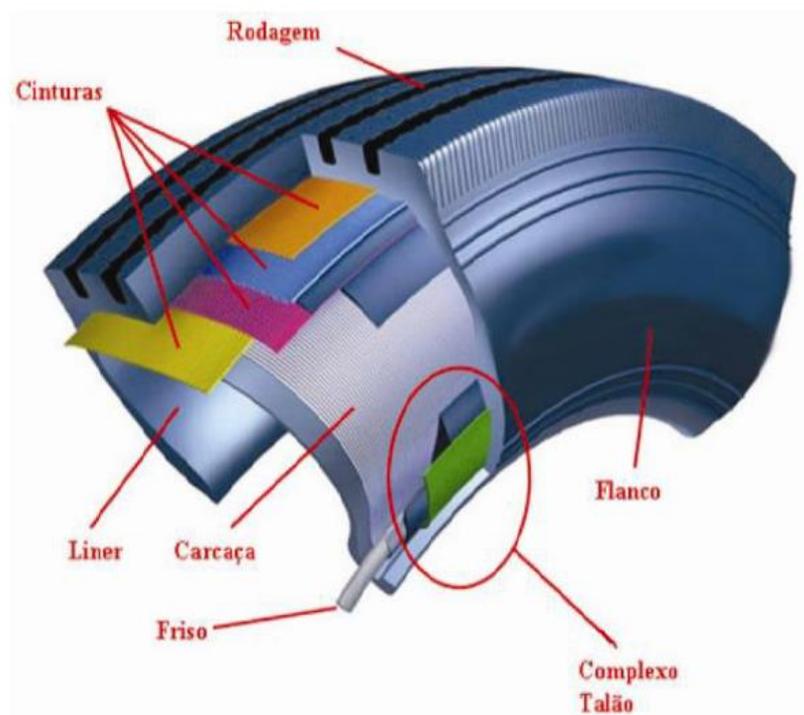
Para minimizar esse passivo ambiental, já antigo, foi desenvolvida a partir da década de 1960 nos Estados Unidos uma nova mistura na composição das bases asfálticas, com o uso do “asfalto borracha”, porém, com alto custo de produção o que não permitiu sua utilização em larga escala. Algumas décadas depois por interesse de uma produtora de asfalto junto com a Universidade do Rio Grande do Sul, no final da década de 1990 foi retomado esse interesse em aproveitar os pneus inservíveis para produção de asfalto. Já com novas tecnologias, barateando assim o custo de reciclagem dos pneus e ampliando a produção de asfalto-borracha ou asfalto ecológico (Henkes; Rodrigues, 2015).

Segundo Pinto; Pinto (2018), muitos países adotaram a utilização de asfalto-borracha, tendo em vista redução de custos de manutenção e também solução ecológica. Nos Estados

Unidos, por exemplo, onde foi iniciado a utilização de pneus reciclados na obtenção de material de massa asfáltica, tem-se mais ou menos 70 % da malha viária utilizando desse material, principalmente, em termos de revestimento; e isso fez crescer a produção de asfalto borracha, onde em 1985 apresentava-se em torno de 900 toneladas/ano e em 2011 saltou-se para 37.000 toneladas/ano. A figura 04 apresenta as partes constituintes da estrutura típica de pneus.

A utilização de asfalto borracha iniciou-se no Brasil por volta do ano de 2000 após congresso realizado em Portugal. No Brasil, a iniciação de utilização é referenciada no ano de 2001 em uma obra da BR-116, no estado do Rio Grande do Sul, a qual em 16 Km da rodovia aplicou-se asfalto-borracha. Após, isto, já foi utilizado em obras de rodovias no Estado de São Paulo e do Rio de Janeiro, e o estado do Ceará também já manifestou interesse (Dias *et al.*, 2014).

Figura 04 – Partes constituintes da estrutura típica dos pneus.



Fonte: Alfa Pneus, 2011.

Asfalto-borracha no Brasil e no Mundo

A reutilização de borracha de pneu já é uma realidade em outros países como os Estados Unidos da América (EUA). Porém, somente em 1999 é que se iniciou uma maior atenção de estudos e pesquisas quanto ao asfalto modificado por borracha (AMB) no Brasil. Os estudos realizados visavam a utilização de borracha tendo o intuito de melhoria da qualidade do asfalto convencional, mas somente em 2001 é que houve realmente a efetivação de pesquisas e utilização do asfalto modificado por borracha no Brasil (Greca Asfaltos, 2011).

Obtenção do Asfalto-borracha

Segundo Oda (2000), no Brasil, ainda não há uma lei semelhante que obrigue a utilização de uma porcentagem mínima de pneus descartados em obras de pavimentação. Mas já ocorreram avanços, como a Resolução nº 258 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), aprovado em 26 de agosto de 1999, que estabelece o conceito de que o produtor é

o responsável pelo destino final do produto. Por exemplo, no caso dos pneus, a carcaça voltaria para a montadora. Pela Resolução nº 258, a partir de janeiro de 2002, produtores e importadores de pneus serão forçados a coletá-los e colocá-los em locais ambientalmente adequados. Além disso, a partir de 2005 começará a redução do passivo ambiental (BRASIL, 1999). Esta resolução nº 258 do CONAMA foi revista e alterada pela Resolução nº 416/2009 do CONAMA.

Basicamente, existem três processos para a obtenção do asfalto-borracha: o processo seco, o úmido e variações do úmido denominadas terminal *blend* e *continuous blend* (*field blend*). No processo seco, ou via seca, a introdução da borracha ocorre durante o preparo da mistura asfáltica, nas usinas de asfalto. (Teixeira; Araújo, 2018).

No processo via úmida, a borracha é previamente misturada ao ligante. Ocorre a transferência mais efetiva das características da borracha, como a elasticidade, que pode contribuir para o aumento da resistência à fadiga de misturas asfálticas. A borracha de pneu possui excelentes propriedades físicas e químicas incorporadas ao asfalto convencional, como os agentes antioxidantes, que podem diminuir sensivelmente o envelhecimento do cimento asfáltico e aumentar a resistência à ação química de óleos e combustíveis (Specht, 2004).

O processo úmido consiste na incorporação da mistura da borracha de pneus moída com o ligante asfáltico antes da mistura do ligante com o agregado. O resultado é um ligante modificado que tem propriedades significativamente diferentes do ligante asfáltico original. Geralmente, tem-se a mistura de ligante asfáltico e borracha de pneus moída (5 a 25 %), a uma temperatura elevada (150° a 200 °C), durante um determinado período de tempo (20 a 120 minutos). Esta mistura reage e forma um composto chamado asfalto-borracha (*asphalt-rubber*), com propriedades reológicas diferentes do ligante original, podendo ser incorporados aditivos para ajustar a viscosidade da mistura. Um dos principais objetivos de se adicionar borracha de pneus moída em um ligante asfáltico é prover um ligante melhorado (Oda, 2000).

De acordo com Cordeiro; Pinto (2018), no processo úmido, o ligante asfáltico é aquecido a altas temperaturas, da ordem de 180 °C, sendo transportado em seguida para um tanque de mistura apropriado, no qual ocorre a adição da borracha granulada ao asfalto convencional previamente aquecido. Em geral, o processo de interação entre o ligante asfáltico e a borracha granulada ocorre em um período de uma a quatro horas. Esse processo de mistura é facilitado pela ação de um dispositivo mecânico, geralmente uma palheta giratória horizontal, introduzido no tanque de mistura. O processo de modificação do ligante depende de fatores como tamanho da partícula da borracha, temperatura de reação, tipo de CAP, proporção CAP × borracha entre outros fatores.

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 vários fatores, incluindo a granulometria (o tamanho) e a textura da borracha, a proporção de ligante asfáltico e borracha, o tempo e a temperatura de reação, a compatibilidade com a borracha, a energia mecânica durante a mistura e reação e o uso de aditivos (Oda, 2000).

A produção do asfalto-borracha pode também ser realizada e transportada para a usina de asfalto, na qual será realizada a mistura com os agregados. Essa tecnologia é denominada terminal *blend*. A borracha reciclada de pneus é adicionada em pó a um reator de mistura, no qual a digestão da borracha é praticamente concluída. Após o asfalto-borracha estará em condições de ser transportado para a usina de asfalto e aplicado. O processo terminal *blend* foi usado no estado do Texas – Estados Unidos em 1989. Ele leva à produção de asfalto-borracha estocável ou semiestocável, que pode atender às especificações da ASTM (*American Society for Testing and Materials*) (ASTM, 1997; Teixeira; Araújo, 2018).

O processo terminal *blend* leva à produção de asfalto-borracha estocável ou semiestocável. Para esse processo, são necessários equipamentos específicos e adaptações para atender às peculiaridades do produto, particularmente nas atividades de transporte e estocagem do ligante na usina de asfalto (Dias *et al.*, 2014).

O asfalto-borracha é influenciado pelo tempo de digestão. Em grandes períodos de estocagem, pode ocorrer a degradação da borracha, fazendo com que o asfalto-borracha perca suas características (Cordeiro; Pinto, 2018).

Referente ao tempo de reação, pode-se colocar os apontamentos de Takallou; Sainton (1992) a qual afirmam que, após determinado tempo de digestão, ocorre uma alteração na viscosidade do ligante acrescido pela borracha. Essa alteração ocorre, após determinado tempo, quando o ligante aquecido a altas temperaturas tende a se deteriorar.

Os mesmos autores apontam como fatores de desvantagens quanto a utilização do asfalto-borracha a baixa estabilidade e estocagem. Nesse sentido, os autores avaliaram a possibilidade de se adicionar catalisadores e também óleos à mistura. Como resultado, conseguiram misturas com boa estabilidade, que podem ser estocadas por até seis dias sem apresentar degradação e perda da qualidade.

Análise da Viabilidade Econômica e Ambiental da Aplicação do Asfalto-borracha na Construção e na Recuperação de Pavimentos de Vias Urbanas

Como toda nova tecnologia, o CBUQ com borracha sai mais caro em média 30% que seu concorrente. Considerando apenas a execução do serviço do revestimento asfáltico, um quilômetro fica na faixa dos R\$ 117 mil, contra cerca de R\$ 90 mil de um pavimento tradicional. É preciso observar que a economia varia em função do tamanho da obra e do orçamento envolvido. Em qualquer caso, porém, as diferenças de preço se diluem em longo prazo. O custo se perde na vida útil. Ele pode ser mais caro no início, mas o custo-benefício é bem maior (Mendes; Nunes, 2009).

A Figura 05 apresenta o trecho da BR 116/RS após 03 (três) anos de análise, ressaltando-se o desempenho superior do Asfalto Borracha em comparação ao Asfalto Convencional; onde observa-se o aparecimento das trincas no asfalto convencional (imagem da Figura 05 à esquerda).

Figura 05 – Trecho Experimental na BR 116 / RS.

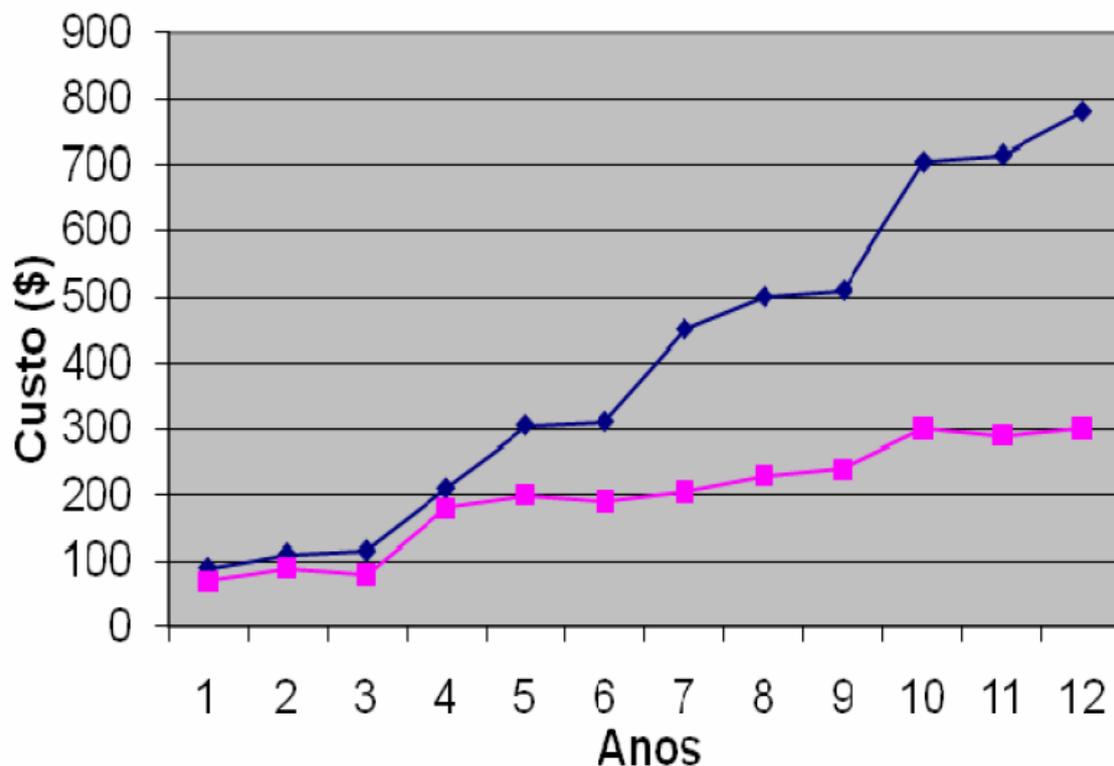


Fonte: Fatos e Asfaltos, 2004.

O Gráfico 01 relaciona-se o custo de manutenção (\$) e o período em anos, onde verifica-se que a partir do quarto (4º) ano o custo de manutenção do CBUQ (asfalto convencional) possui valores crescentes até atingir valores próximos de \$ 800,00 em 12 anos; já o custo de manutenção do asfalto-borracha a partir do quarto (4º) ano possui valores próximos de \$ 200,00 e mantém-se com poucas alterações até atingir valores próximos de \$ 300,00 em 12 anos.

Zagonel (2013) apresentou em seu estudo análise quanto aos revestimentos asfálticos borrachas nas mais diversas situações como alto e baixo tráfego, túneis, vias urbanas, corredores de ônibus, dentre outras. E, diante disso é fundamental que a técnica construtiva deve levar em conta a relação custo-benefício. Rosa *et al.* (2012) apontou em seu estudo, realizado como método ensaio, comprovando que a adição de polímeros e borracha reciclada em massa asfáltica garante melhorias em termos das propriedades ligantes, ou seja, a massa asfáltica modificada comparada ao cimento asfáltico convencional apresenta-se melhora das propriedades. A empresa Greca Asfalto (Greca Asfaltos, 2009), realizou estudos na qual construíram duas pistas experimentais, sendo uma com ligante CBUQ / CAP 50/70 e a outra utilizando asfalto-borracha. Para esta análise foi utilizado o ensaio acelerado empregando simulação de tráfego linear.

Gráfico 01 – Custo de manutenção.



Legenda:



Fonte: Adaptado de: Mendes; Nunes, 2009.

Análise de Custos

Verifica-se no Quadro 01 que são necessários: 26.250 toneladas de massa asfáltica de CBUQ convencional em comparação com: 18.375 toneladas de massa asfáltica de CBUQ com asfalto-borracha para o revestimento de: 30.000 metros de comprimento (30 Km); 7,00 metros de largura (largura do pavimento); utilizando-se 2,5 t/m³ (toneladas por metro cúbico) de massa asfáltica para restauração; onde a espessura é variável, sendo de: 0,05 metros (5,0 centímetros) no CBUQ convencional e de: 0,035 metros (3,5 centímetros) no CBUQ com asfalto-borracha.

Quadro 01 – Quantidade de massa asfáltica para restauração de 30 Km de estrada.

Revestimento em CBUQ convencional:	Revestimento em CBUQ com asfalto borracha com redução de 30 %:
30.000 m x 7,00 m x 0,05 m x 2,5 t/m ³ = 26.250 toneladas de massa asfáltica de CBUQ normal (convencional).	30.000 m x 7,00 m x 0,035 m x 2,5 t/m ³ = 18.375 toneladas de massa asfáltica de CBUQ com asfalto borracha.

Fonte: Greca Asfaltos, 2009.

O Quadro 02 refere-se ao preço por tonelada dos insumos e aplicação na pista onde o CBUQ com CAP 50/70 encontra-se o valor de: R\$ 200,00/t (duzentos reais por tonelada) e R\$ 230,00/t (duzentos e trinta reais por tonelada) o CBUQ com asfalto-borracha. Observa-se, portanto, um preço de execução de Asfalto Borracha em torno de 15 % mais caro que o preço de execução de CBUQ convencional. Essa majoração remunera os custos para elevar as temperaturas de usinagem da mistura asfáltica e para aumentar a eficiência na compactação do revestimento.

Quadro 02 – Preço por tonelada dos insumos e aplicação na pista.

CBUQ* com CAP** 50/70:	CBUQ com asfalto-borracha:
R\$ 200,00 por tonelada	R\$ 230,00 por tonelada

Fonte: Greca Asfaltos, 2009.

* Nota: CBUQ = Concreto Betuminoso Usinado à Quente

** CAP = Cimento Asfáltico de Petróleo

O Quadro 03 refere-se aos custos de execução do asfalto convencional comparado com o asfalto-borracha onde o custo do asfalto no CBUQ equivale a: R\$ 1.509.375,00 para o CAP 50/70 e R\$ 1.566.468,75 para o asfalto-borracha (ECOFLEX).

Quadro 03 – Custos de execução do asfalto convencional e do asfalto borracha.

Grandeza		Cálculo	Unidade	CAP 50/70	Asfalto-borracha (ECOFLEX)
A	Quantidade de massa asfáltica de CBUQ produzida	-	ton	26.250	18.375
B	Custo de usinagem / aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	R\$ / ton	200,00	230,00
C	Quantidade de massa x custo de usinagem / aplicação	A x B	R\$	5.250.000,00	4.226.250,00
D	Teor de asfalto	-	% em peso	5,00 (0,050)	5,50 (0,055)
E	Custo do asfalto por tonelada	-	R\$ / ton	1.150,00	1.550,00
F	Custo asfalto no CBUQ	A x D x E	R\$	1.509.375,00	1.566.468,75
G	Custo total da obra	C + F	R\$	6.759.375,00	5.792.718,75

Fonte: Greca Asfaltos, 2009.

Quadro 04 – Custos de execução do asfalto convencional e do asfalto-borracha. (Modificada).

Grandeza	Cálculo	Unidade	CAP 50/70	Asfalto-borracha (ECOFLEX)
G	Custo total da obra	C + F	R\$	6.759.375,00 / 5.792.718,75

Fonte: Greca Asfaltos, 2009.

$$\% \text{ Redução de Custos} = \frac{(6.759.375,00 - 5.792.718,75) * 100}{6.759.375,00}$$

$$\% \text{ Redução de Custos} = 14,3 \% \quad (1)$$

Já no Quadro 04 apresenta-se em destaque os custos de execução do asfalto convencional e do asfalto-borracha cujos valores são: R\$ 6.759.375,00 para o CAP 50/70 e R\$ 5.792.718,75 para o asfalto-borracha (ECOFLEX).

O custo total da obra do asfalto convencional: CBUQ / CAP 50/70 ficou estabelecido em R\$ 6.759.375,00 enquanto o custo total do asfalto-borracha (ECOFLEX) ficou estabelecido em R\$ 5.792.718,75. Realizando-se a fórmula da equação de redução de custos encontrou-se uma redução de 14,3 %, equivalente a R\$ 966.656,25, de custo do CBUQ com asfalto-borracha em substituição ao CBUQ / CAP 50/70, conforme demonstrado no Quadro 05 e nas equações anteriores (1); evidenciando-se que além das questões ecológicas e ambientais obteve-se, também, ganhos econômicos e financeiros.

Quadro 05 – Redução dos custos utilizando asfalto borracha.

Redução de Custo do CBUQ com Asfalto-Borracha em substituição ao CAP 50/70	R\$	%
TOTAL	966.656,25	14,3

Fonte: Greca Asfaltos, 2009 (Adaptado).

Vantagens e Desvantagens do Asfalto-borracha quando Comparado com o Asfalto Convencional

O Quadro 06 apresenta as vantagens e desvantagens entre massa asfáltica convencional e massa asfáltica borracha quanto à implantação e execução, destacando-se as manutenções com custos menores na massa asfáltica borracha quando comparado com os custos de manutenções da massa asfáltica convencional que se apresentam com custos maiores; além da massa asfáltica borracha demonstrar maiores vantagens estruturais e ecológicas quando comparado com o asfalto convencional.

Quadro 06 – Vantagens e desvantagens entre massa asfáltica convencional e da massa asfáltica borracha.

	BORRACHA	CONVENCIONAL
Serviços preliminares	Custos iguais	Custos iguais
Materiais utilizados (pintura/transporte; fabricação/aplicação)	Custos maiores	Custos menores
Serviços de limpeza	Custos iguais	Custos iguais
Manutenção	Custos menores	Custos maiores
Vantagens estruturais e ecológicas	Maior	Menor

Fonte: Greca Asfaltos, 2011.

O Quadro 07 refere-se à um quadro comparativo entre as vantagens e desvantagens gerais do asfalto-borracha, observando-se que o asfalto-borracha apresenta a melhor relação custo-benefício do mercado além de ser considerado um produto ecologicamente correto.

Já o Quadro 08 relaciona-se, comparativamente, as propriedades do asfalto-borracha e do asfalto convencional (CBUQ); onde verifica-se que o asfalto-borracha apresenta: Maior durabilidade; alta aderência e estabilidade; pavimento mais resistente; redução da espessura do

pavimento e poucas manutenções; enquanto, o asfalto convencional, apresenta: Menor durabilidade; aderência e estabilidade regular; resistência regular do pavimento; pavimentos mais espessos e manutenções frequentes.

Quadro 07 – Vantagens e desvantagens entre asfalto convencional e asfalto-borracha.

QUADRO COMPARATIVO	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Aumento da vida útil do pavimento (durabilidade);	Custo por tonelada mais elevado;
Maior resistência à formação de trilhas de roda, à reflexão de trincas e ao envelhecimento (elasticidade);	Heterogeneidade;
Proporciona pavimentos mais seguros, confortáveis e silenciosos;	Índices de temperatura mais elevados;
Melhor relação custo-benefício do mercado;	Odor;
Aplicação, usinagem e estocagem simples;	
Não necessitam de agitação constante;	
Melhor aderência entre os agregados e o ligante;	
Maior resistência ao envelhecimento;	
Recuperação elástica superior;	
Menor susceptibilidade térmica;	
Ecologicamente corretos;	

Fonte: Greca Asfaltos, 2008.

Quadro 08 – Quadro comparativo das propriedades do asfalto-borracha e do asfalto convencional.

QUADRO COMPARATIVO	
ASFALTO – BORRACHA	CBUQ CONVENCIONAL
Maior durabilidade	Menor durabilidade
Alta aderência e estabilidade	Aderência e estabilidade regular
Melhor adesividade dos agregados	Boa adesividade dos agregados
Pavimento mais resistente	Resistência regular
Redução da espessura do pavimento	Pavimentos mais espessos
Exige maior controle tecnológico	Menor rigor tecnológico
Executável em altas temperaturas	Temperaturas mais baixas
Maior custo de execução	Menor custo de execução
Poucas manutenções	Manutenções frequentes

Fonte: Greca Asfaltos, 2008 (Adaptado).

Estas são as principais Normas Brasileiras, tanto da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, quanto do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, referentes ao uso e aplicações do asfalto-borracha:

- ABNT – NBR –15529:2007– Asfalto-borracha – Propriedades reológicas de materiais não newtonianos por viscosímetro rotacional.

- Norma DNIT 111-2009-EM: Pavimentação Flexível - Cimento Asfáltico Modificado por Borracha de Pneus Inservíveis pelo Processo Via Úmida, do Tipo “Terminal Blending” - Especificação de Material.
- Norma DNIT 112-2009-ES - Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico com Asfalto-borracha, via Úmida, do tipo “Terminal Blending” - Especificação de Serviço.
- Norma DNIT 128-2010-EM - Emulsões Asfálticas Catiônicas Modificadas por Polímeros Elastoméricos – Especificação de Material.
- Norma DNIT 129-2010-EM - Cimento Asfáltico de Petróleo Modificado por Polímero Elastomérico – Especificação de Material.
- Norma DNIT 165-2013-EM - Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de material.

4 CONCLUSÃO

O método de pavimentação utilizando o asfalto-borracha deveria ser mais utilizado e divulgado, havendo um maior incentivo governamental para estimular as empresas a adotarem cada vez mais esta tecnologia; pois esta técnica vem sendo utilizada, principalmente, por apresentar uma solução viável para os pneus inservíveis. Algumas ações devem ser desenvolvidas para que os pneus descartados após o uso cheguem com maior facilidade até às indústrias de reciclagem possibilitando uma reutilização adequada e colaborando para o desenvolvimento sustentável. A dimensão continental do Brasil com sua diversidade climática, geológica, econômica e social, requer uma cuidadosa avaliação de todos os aspectos que influenciam no produto gerado, inclusive a sua destinação e o seu uso; portanto, sugere-se a construção de trechos experimentais e demonstrativos com os asfaltos-borrachas, em todas as regiões brasileiras, para futuras divulgações e conhecimento da sociedade em geral objetivando-se sensibilizar os gestores públicos. Onde estes, poderão acompanhar localmente o seu uso e futuramente decidir sobre a adoção desta tecnologia, na pavimentação das vias urbanas, que possibilitará menores intervenções de manutenção, trazendo maior conforto, segurança e economia para os usuários com a otimização dos recursos públicos.

A escolha da utilização do asfalto-borracha se torna mais atrativo mesmo o seu custo de implantação inicial sendo mais elevado em relação ao asfalto-convencional porque esta tecnologia possui melhor relação custo-benefício; proporcionando assim, menores ruídos e tempo de frenagem do veículo; aumentando-se a vida útil do pavimento; evitando-se riscos de aquaplanagens em dias de chuva; além do fato de ser um pavimento ecologicamente correto; apresentando viabilidade ambiental e econômica satisfatórios. Assim o asfalto-borracha se torna uma boa solução para minimizar ou até mesmo acabar com o descarte incorreto dos pneus, contribuindo com a redução de manutenção das vias pavimentadas ou das rodovias, proporcionando a revitalização dos pavimentos e economizando recursos.

REFERÊNCIAS

ABEDA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO (Rio de Janeiro). (Org.). **Manual Básico de Emulsões Asfálticas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Abeda, 2010. 144 p. Disponível em: < <http://wbl-nkn.com.br/biblioteca/manual-ema.pdf> >. Acesso em: 09 abr. 2019.

Alfa Indústria de Pneus, 2011 – São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – NBR – 15529 – Asfalto-borracha – Propriedades reológicas de materiais não newtonianos por viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro. 2007.

ASTM – **Standard Specifications for Asphalt-Rubber Binder**. American Society for Testing and Materials. ASTM D6114-1997. 1997. Disponível em: < http://www.flexpave.com.br/leiamais_ecoflex/15_norma_americana.pdf >. Acesso em: 01º abr. 2019.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504p. Disponível em: < <http://www.abeda.org.br/livro-pavimentacao/> >. Acesso em: 01º abr. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº. 258**, de 26 de agosto de 1999. Resoluções. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br> >. Acesso em: 09 mar. 2019.

_____. **Resolução CONAMA nº. 416**, de 30 de setembro de 2009. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616> >. Acesso em: 09 mar. 2019.

_____. GEIPOT – GRUPO EXECUTIVO DE INTEGRAÇÃO DA POLÍTICA DE TRANSPORTES – Ministério dos Transportes e Empresa Brasileira de Planejamento em Transportes. **Anuário Estatístico de Transportes**, 2000. Disponível em: < <http://www.geipot.gov.br> >. Acesso em 03 maio 2019.

_____. DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisas. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentação**. 3 ed. – Rio de Janeiro, 2006.

_____. **Ministério dos Transportes**. 2008. 66 p. Disponível em: < <http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodoviaras/faixa-de-dominio/manual-procedimentos-faixa-de-dominio-atualizacao-cap12-dir-colegiada-26012015-site-fxd.pdf> >. Acesso em: 18 maio 2019.

_____. **Ministério dos Transportes**, 2008. Disponível em: < <http://www.geipot.gov.br> >. Acesso em 03 maio 2019.

_____. **DNIT 111-2009-EM: Pavimentação Flexível - Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending” - Especificação de material**. Rio de Janeiro: IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2009. 6 p. Disponível em: < http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-material-em/dnit111_2009_em.pdf >. Acesso em: 01º abr. 2019.

_____. **DNIT 112-2009-ES - Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico com Asfalto-borracha, via Úmida, do tipo “Terminal Blending” - Especificação de Serviço**. Rio de Janeiro: IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2009. 13 p. Disponível em: < http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit112_2009_es.pdf >. Acesso em: 01º abr. 2019.

_____. **DNIT 128-2010-EM - Emulsões Asfálticas Catiônicas Modificadas por Polímeros Elastoméricos – Especificação de Material**. Rio de Janeiro: IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2010. 5 p. Disponível em: < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e->

manuais/normas/especificacao-de-material-em/dnit128_2010_em.pdf >. Acesso em: 01º abr. 2019.

_____. **DNIT 129-2010-EM - Cimento Asfáltico de Petróleo Modificado por Polímero Elastomérico – Especificação de Material.** Rio de Janeiro: IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2010. 4 p. Disponível em: < http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-material-em/dnit129_2011_em.pdf >. Acesso em: 01º abr. 2019.

_____. **DNIT 165-2013-EM - Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de material.** Rio de Janeiro: IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2013. 5 p. Disponível em: < http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-materialem/dnit165_2013_em.pdf >. Acesso em: 01º abr. 2019.

_____. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil – MTPA. **Anuário Estatístico dos Transportes 2010/2017.** Brasília, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Pesquisa Rodoviária,** Brasília. 1997.

_____. **Pesquisa Rodoviária,** Brasília. 2007.

_____. **Transporte rodoviário: Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** – Brasília: CNT, 2017.

CORDEIRO, William Rubbioli. **Comportamento de Concretos Asfálticos Projetados com Cimento Asfáltico Modificado por Borracha de Pneus.** 2006. 253 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro – RJ, 2006. Disponível em: < <http://transportes.ime.eb.br/ DISSERTA%C3%87%C3%95ES/DIS213.pdf> >. Acesso em: 01º abr. 2019.

CORDEIRO, William Rubbioli; PINTO, Salomão. **Algumas Considerações Sobre Asfalto Modificado por Borracha de Pneus.** In: **Pavimentação Asfáltica: Conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos.** 1 ed Rio de Janeiro: LTC, 2018.

DIAS, Álvaro José; PAULA, Aline Brito de; FRANCO NETO, Geraldo Gouveia; BERNARDES, Matheus Sousa; WAGNER, Roberta Afonso Vinhal. **O Uso de Borracha em Ligantes Asfálticos para Pavimentação de Rodovias no estado de Minas Gerais.** 8º EnTec – Encontro de Tecnologia da UNIUBE. In: **Anais do 8º Encontro de Tecnologia: Empreendedorismo, Inovação e Sustentabilidade.** São Paulo: Blucher, 2014. Disponível em: < <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/biochemistryproceedings/8entec/002.pdf> >. Acesso em: 30 abr. 2019.

GONÇALVES, Fernando José Pugliero. **Estudo Experimental do Desempenho de Pavimentos Flexíveis a Partir de Instrumentação e Ensaios Acelerados.** 2002. 467f. PPGEC – UFRGS. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2300/000367657.pdf> >. Acesso em 01º abr. de 2019.

GRECA ASFALTOS. **Informativo Trimestral GRECA ASFALTOS.** Ano 1, nº 1, setembro de 2004. Disponível em: < http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos_01.pdf >. Acesso em 01º abr. de 2019.

_____. **Estudo Comparativo do Desempenho de um Recapeamento Utilizando Asfalto-borracha.** 1º Edição – 2006. Disponível em: < www.grecaasfaltos.com.br >. Acesso em 03 maio 2019.

_____. **Informativo Trimestral GRECA ASFALTOS**. Ano 5, nº 13, abril de 2008. Disponível em: < http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos_13.pdf >. Acesso em 01º abr. de 2019.

_____. **Estudo Completo sobre o ECOFLEX**. 2009. Disponível em: < http://www.flexpave.com.br/leiamais_ecoflex/13_estudo_ecoflex_2009.pdf >. Acesso em 01º abr. de 2019.

_____. **Informativo Quadrimestral GRECA ASFALTOS**. Ano 8, nº 24, outubro, 2011. Disponível em: < http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos_24.pdf >. Acesso em 01º abr. de 2019.

HENKES, Jairo Afonso; RODRIGUES, Cristiano Millani. **Reciclagem de Pneus: Atitude ambiental aliada a estratégia econômica**. Revista Gestão & sustentabilidade Ambiental, Florianópolis – SC, v. 4, n. 1, p. 448-473, 2015. Disponível em: < http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/2937/2098 >. Acesso em 01º abr. de 2019.

LEITE, Leni Figueiredo Mathias. **Estudos de Preparo e Caracterização de Asfaltos Modificados por Polímeros**. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros), 1999 – Instituto de Macromoléculas Professora Eloísa Mano, COPPE/UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999. 266 f.

LEITE, Leni Figueiredo Mathias; SILVA, Prepredigna de Almeida da; EDEL, Guilherme; MOTTA, Laura Goretti da; NASCIMENTO, Luis Alberto Herrmann do. **Asphalt rubber in Brazil: Pavement performance and laboratory study**. In: ASPHALT RUBBER, 2003, Brasília – Brazil. 229-245p.

LIMA, Luiz Carlos Oliveira da Cunha Lima. **Processo para Regeneração de Borracha Vulcanizada**, Patente de Proteção Intelectual, Nr PI-8500981, INPI, Brasil, 1985.

MARQUES, Geraldo Luciano de O. **Procedimentos de Avaliação e Caracterização de Agregados Minerai s Usados na Pavimentação Asfáltica**. Seminário de qualificação ao doutoramento – Coordenação. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MEDINA Jacques de. **Mecânica de Pavimentos**. COPPE/UFRJ Editora UFRJ 1997.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Mecânica dos Pavimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. 638 p.

MENDES, Celso Bráulio Alves; NUNES, Fábio Rinaldi. **Asfalto-borracha – Minimizando os Impactos Ambientais Gerados pelo Descarte de Pneus Inservíveis no Meio Ambiente**. 2009. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção Civil, Faculdade Brasileira - Univix, Vitória – ES, 2009. Disponível em: < http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/2010/Biologia/monografias/2asfalto.pdf >. Acesso em: 09 abr. 2019.

MORILHA JÚNIOR, Armando; TRICHÊS, Glicério. **Análise Comparativa de Envelhecimento em Laboratório de Nove Ligantes Asfálticos**. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 34., 2003, Campinas. *Anais...* Rio de Janeiro: ABPv, 2003. p. 110-128.

ODA, Sandra. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto-borracha em Obras de Pavimentação**. 2000. 280 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo. Campus de São Carlos, São Carlos – SP, 2000. Disponível em: <

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-30012018-151928/pt-br.php> >. Acesso em: 01º abr. 2019.

PATRIOTA, Marcelo de Barros. **Análise Laboratorial de Concreto Betuminoso Usinado a Quente Modificado com Adição de Borracha Reciclada de Pneus – Processo Seco**; Tese Mestrado da Universidade Federal de Pernambuco; 2004.

PINHEIRO, Jorge Henrique Magalhães; SOARES, Jorge Barbosa. **Realização e Acompanhamento de Dois Trechos Experimentais com Asfalto-borracha no Estado do Ceará**. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 18., 2004, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: ANPET, 2004. v. 1, p. 01-10.

PINTO, Salomão; PINTO, Isaac Eduardo. **Pavimentação asfáltica: conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos**. 1 ed Rio de Janeiro: LTC, 2018.

PINTO, Salomão; PREUSSLER, Ernesto. **Pavimentação Rodoviária: Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. 2.ed., Copiarte, 269 p., Rio de Janeiro, 2002.

PREGO, Atahualpa S. da Silva. **A Memória da Pavimentação no Brasil**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2001. 640p.

ROBERTS, Freddy L.; KANDHAL, Prithvi S.; BROWN, Ray E.; LEE, Dah-Yinn; KENNEDY, Thomas W. **Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction**. 2. ed. Lanham, Maryland: NAPA Research and Education Foundation, Maryland, USA, 1996.

ROSA, Ana Paula Gonçalves; SANTOS, Roberto Aguiar dos; CRISPIM, Flávio Alessandro; RIVA, Rogério Dias Dalla. **Análise Comparativa entre Asfalto Modificado com Borracha Reciclada de Pneus e Asfalto Modificado com Polímeros**. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.20, p.31-38, novembro, 2012. Disponível em: < http://www.editoradunas.com.br/revistatepec/Art4_N20.pdf >. Acesso em: 29 mar. 2019.

RUWER, P.; MARCON, G.; MORILHA, J. R. A.; CERATTI, J. A. **Aplicação de Concreto Asfáltico com Borracha no Trecho Guaíba-Camaquã da Rodovia BR-116/RS**. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 33., 2001, Florianópolis. *Anais...* Rio de Janeiro: ABPv, 2001. p. 1323-1332.

SAMPAIO, Erick Almeida Nunes. **Análise da Viabilidade Técnica do Uso de Borracha de Pneus Inservíveis como Modificadores de Asfaltos Produzidos por Refinarias do Nordeste** – Unifacs, Salvador – BA, 2005.

SANTOS, Maria de Lourdes Cardoso. **Patologia em Pavimentos Flexíveis e sua Recuperação: Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)**. 2018. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário do Cerrado Patrocínio, Patrocínio – MG, 2018. Disponível em: < <http://www.unicerp.edu.br/ensino/cursos/engenhariacivil/monografias/2018/PATOLOGIAEMPAVIMENTOSFLEXIVEIS.pdf> >. Acesso em: 29 mar. 2019.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1ª Edição. São Paulo: Pini, 1997.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação: volume 1**. 2. ed. São Paulo, Pini, 2007.

SPECHT, Luciano Pivoto. **Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus**. 2004. 280 f. il. color. Dissertação de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5192/000422319.pdf?sequence=1&isAllowed=y> >. Acesso em: 03 maio 2019.

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

TEIXEIRA, Luan Honório Brasil; ARAÚJO, Otávio Correia Campos. **Estudo das Vantagens do Asfalto-borracha em Relação ao Asfalto Convencional**. 2018. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis – GO, 2018. Disponível em: < http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/100/1/2018_1_TCC_Luan%20e%20Otavio.pdf >. Acesso em: 29 mar. 2019.

UCKER, Fernando Ernesto; UCKER, Anna Paula Ferreira Batista Goldfeld; SILVA JÚNIOR, Milton Gonçalves da. **Avaliação da Destinação Final de Pneus no Município de Senador Canedo (GO)**. Goiânia - GO: Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia, 2017. Disponível em: < https://www.fara.edu.br/sipe/index.php/renefara/article/download/571/pdf_88 >. Acesso em: 26 fev. 2019.

ZAGONEL, Ana Regina. **Inovações em Revestimentos Asfálticos Utilizados no Brasil**. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil. Curso de Engenharia Civil. jul. 2013.

ZATARIN, Ana Paula Machado *et al.* **Viabilidade da Pavimentação com Asfalto-borracha**. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental. Florianópolis – SC, v. 5, n. 2, p.649-674, out. 2016/mar. 2017. Disponível em: < http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/3323/2822 >. Acesso em: 01º abr. 2019.