

A Viabilidade do Uso da Pavimentação Emborrachada em Rodovias

LUAN HENRIQUE CORDEIRO CALDAS

Graduando do curso de Engenharia Civil no Centro
Universitário do Norte (Uninorte)

EULER ANDRÉ BARBOSA DE ALENCAR

Professor no curso de Engenharia Civil no Centro Universitário do
Norte (Uninorte)

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Amazonas, UFAM
Concluiu a Pós Graduação em Gestão de Projetos em Engenharias e
Arquitetura pelo Instituto de Pós Graduação, IPOG

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo informar os diversos tipos de pavimentações existentes, compará-los entre si de forma satisfatória embasado em dados verídicos e resultados os mais precisos possíveis. Informar quase são as pavimentações mais difundidas e dentre elas, ressaltar a viabilidade do uso da pavimentação emborrachada, e para tanto, informar todos os processos envolvidos, desde sua produção, matéria prima, equipamentos e pessoal envolvidos neste, mas especificamente, dando ênfase a sua aplicabilidade principalmente nas rodovias, onde o fluxo de veículos pesados (inclusive com peso excedente, devido a deficiência no setor de fiscalização das estradas) é contínuo e possui grande volume destes. Visa ainda, informar que o uso deste traz diversos benefícios a curto e longo prazo, seja desde os impactos minimizados em relação ao meio ambiente e junto aos trabalhadores envolvidos, justificando que sua durabilidade é maiormente expressiva diante da pavimentação flexível comum que tem seu uso bastante difundido no território brasileiro. Ainda, vale ressaltar que esse tipo de pavimentação, junto a seus materiais e sua transformação agridem minimamente o meio ambiente, gerando menores impactos por vezes tornando-os nulos, sua manutenção também se dá com maior tempo, quando comparado aos asfaltos

flexíveis comuns e tal manutenção é realizada de forma preventiva e diferenciada, o que ocasiona a diminuição drástica dos custos com tal processo.

Palavras-Chave: Pavimentação; Asfalto; Asfalto Flexível; Asfalto Emborrachado.

Abstract

The present work aims to inform the different types of existing pavements, to compare them to each other in a satisfactory way based on true data and the most accurate results possible. Inform almost the most widespread pavements and among them, highlight the feasibility of the use of rubber paving, and to do so, inform all the processes involved, from its production, raw material, equipment and personnel involved in this, but specifically, emphasizing its mainly on highways, where the flow of heavy vehicles (including excess weight, due to deficiency in the road inspection sector) is continuous and has a large volume of these. It also aims to inform that the use of this one brings several benefits in the short and long term, be it from the minimized impacts in relation to the environment and with the workers involved, justifying that their durability is mainly expressive before the common flexible pavement that has its use enough broadcast on Brazilian territory. Still, it is worth mentioning that this type of paving, together with its materials and its transformation, minimizes the environment, generating smaller impacts sometimes rendering them null, their maintenance also occurs with greater time, when compared to the common flexible asphalts and such maintenance is carried out in a preventive and differentiated way, which causes a drastic reduction of costs with such process.

Keywords: Paving; Asphalt; Flexible Asphalt; Asphalt Rubber.

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento das indústrias, o crescimento populacional e com estas se agregando em locais centralizados, houve a necessidade de melhorar as estradas, haja vista que

estas conduziam a maior parte de matérias-primas para a confecção dos mais diversos produtos, o transporte de pessoas, animais, etc. Observou-se então que havia extrema necessidade de melhorar as estradas para a otimização do tempo, do transporte das cargas da conservação dos próprios veículos.

Embora haja divergências sobre a criação e uso do asfalto entre os pesquisadores diversos destes, afirmam que o asfalto tenha surgido no oriente médio e fora muito difundido na forma de pavimentação entre os anos 625 e 604 a.C., na Babilônia onde fora documentada a primeira rodovia asfaltada e, esta foi construída com material retirado de lagos (pastosos) de piche.

Há também a afirmativa de que os romanos, onde é a Inglaterra hoje, construíram um conjunto de estradas por volta dos anos 100 e 400 a. C., que ainda é considerado um modelo a ser seguido. Em 1498, fora comandada uma expedição por Sir Walter Raleigh, onde descobriu-se o maior lago natural de piche do mundo, lago este, denominado de lago de piche da Ilha da Trindade. Na América, foi a primeira fonte de asfalto conhecida, até a descoberta do Lago Bermudez, na Venezuela.

Segundo o Ecivil (2018, p. 3), entende-se por asfalto:

Asfalto é um material betuminoso, escuro, de estrutura sólida, sendo resíduo da destilação a vácuo do petróleo bruto. Existem diversos tipos de asfaltos, os mais comuns são: CAP - cimento asfáltico de petróleo: constituinte dos revestimentos asfálticos de alto padrão como o CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente); O ADP - asfalto diluído de petróleo: é utilizado para a impermeabilização da base dos pavimentos; A emulsão asfáltica: são constituintes dos revestimentos de médio e baixo padrão. (ECIVIL, 2018, p. 3).

Atentando para estas definições e o uso do asfalto, há contrariedades, entretanto, o material utilizado já era o piche (derivado do petróleo). Vale a pena salientar que com o crescente cuidado e preocupação que existe com o meio ambiente e os diversos pactos já realizados por diversos países e

a busca por um produto melhor, que tenha rentabilidade, durabilidade e que agrida menos ou minimamente os trabalhadores do setor civil asfáltico e o meio ambiente como um todo, as pesquisas foram tardias, se pensarmos o tempo em que já se faz uso do asfalto a base de petróleo (piche transformado), entretanto estas encontram-se a todo vapor e os resultados são muito positivos, pensando em todos os âmbitos.

Por volta dos anos 60 nos Estados Unidos, surgiu o que denominamos de forma culta: asfalto flexível (ou asfalto de borracha) e, com o passar dos anos e, em uma destas variáveis do asfalto flexível há o uso como matéria prima principal os pneus já utilizados, há também o que fazem uso de cereais, látex ou de óleos vegetais entre outros e todos foram pensados primeiramente num impacto ambiental que se tornasse bastante diminuído, entretanto, pensou-se também a viabilidade financeira, durabilidade e na disponibilidade da matéria-prima, haja vista que o petróleo é um recurso finito.

Em entrevista à Revista OE (2011), a Engenheira e especialista em pavimentação, Liseane Padilha Thives da Fontes, doutorada pela Universidade Federal de Santa Catarina, em artigo afirma que o uso da mistura do asfalto com a borracha pode gerar uma economia de até 32% com relação à mistura convencional.

Ainda segundo a Revista OE (2011) e considerando as informações do site da Petrobras (2015), o asfalto derivado de petróleo requer altas temperaturas em sua aplicação, o que ocasiona riscos ao trabalhador e ao meio ambiente já que esta fumaça exala vapores altamente tóxicos e o que observamos já na estradas estaduais (SP) é que estes trabalhadores estão minimamente equipados de forma devida (EPI) e estas temperaturas de asfalto ficam na casa dos 140°C podendo ultrapassar os 300°C.

Em contrapartida, com o uso do asfalto flexível, há uma drástica diminuição das temperaturas, somando diversos processos que produzem misturas asfálticas a temperaturas

baixas no intervalo entre 90 e 140° C, já diminuindo grandemente a fumaça tóxica, haja vista que quanto maior a temperatura, maior a produção desta e os riscos à saúde do trabalhador e os danos à natureza.

O campo de pavimentação alternativa é amplo e gradativamente a tecnologia dos materiais vem apresentando inovações que mostram novas possibilidades, entretanto, junto a essas novas alternativas uma série de estudos devem vir atreladas como: as técnicas da macro e micro drenagem, a fim de que as águas pluviais não contribuam para a erosão do terreno sobre o qual é aplicado o pavimento; o estudo do solo na qual será implantado o asfalto flexível de maneira mais profunda; observar as áreas de encostas para que não produzam infiltrações sob a camada asfáltica e destruam a pavimentação, observando que esta pavimentação deve ter uma vida útil que no mínimo se assemelhe aos demais países que fazem uso desta tecnologia ou de similares.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar a viabilidade do asfalto flexível diante ao asfalto convencional de piche (petróleo), onde sua base principal é este derivado do petróleo (em sua maioria), comparando a viabilidade no mínimo três pontos de vista: ecológico, econômico e a durabilidade (juntamente a manutenção).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O Asfalto Emborrachado

Segundo o Infraestrutura Urbana (2011, p.2):

O asfalto-borracha ou asfalto-ecológico pode até parecer uma novidade em pavimentação, mas não é. Usado nos Estados Unidos há mais de 40 anos, ele só começou a ser visto no Brasil por volta do ano 2000, depois que a patente que protegia a tecnologia venceu. Foi o start para que a adição do pó extraído de pneus usados ao ligante asfáltico se tornasse praticável. Os números são incertos, mas pesquisadores chegam a dizer que há atualmente mais de 8 mil km de

estradas pavimentadas com asfalto-borracha no Brasil. O número é pequeno diante de uma malha asfáltica de 170 mil km, mas a popularização é crescente entre as grandes concessionárias de rodovias: 22% das estradas administradas pelo Grupo EcoRodovias já possuem pavimentação com asfalto-borracha (o equivalente a 1,5 mil km) e o grupo CCR, outro gigante do setor, possui pavimentação do tipo em 15% de suas rodovias” (INFAESTRUTURA URBANA, 2011, p.2).

Figura 1 – Usina de produção de asfalto emborrachado



Fonte: Infraestrutura Urbana (2011)

O asfalto emborrachado é composto por uma mistura descontínua, onde temos um ligante asfáltico acrescido de borracha de pneus granulada e submetida a uma compactação a quente. Quanto maior for a quantidade de borracha granulada adicionada à mistura, maior será a durabilidade do pavimento, obtendo assim uma resistência cerca de 40% maior do que aquela percebida no asfalto convencional. Dentre outras vantagens, temos que esse tipo de asfalto oferece maior aderência entre as rodas dos veículos e o pavimento, o que acaba reduzindo consideravelmente os riscos de derrapagem e a projeção de água e dia chuvosos.

Figura 2 – Pista confeccionada com o uso de asfalto emborrachado



Fonte: Infraestrutura Urbana (2011)

No entanto, temos que esse tipo de pavimentação possui um custo que chega a ser 30% maior do que aquele percebido para o asfalto convencional. Isso se deve ao fato de que a adição da borracha ao asfalto somente se dá através de um processo industrial, o que acaba elevando os custos dos mesmos. Somente uma análise precisa do projeto a ser realizado pode consolidar o benefício da resistência obtida frente ao aumento de custo envolvido (INFAESTRUTURA URBANA, 2011).

A durabilidade oferecida pelo asfalto emborrachado sofre influência direta do tipo de estrada que será construída, bem como de acordo com a temperatura, clima e a intensidade de tráfego de veículos sobre o pavimento. Sua durabilidade, pode variar de 5 anos a até 30 anos, onde a menor durabilidade é atribuída a um pavimento submetido a grandes fluxos de veículos, veículos estes com excedente de peso, como já mencionado anteriormente.

Na fabricação do asfalto emborrachado, há um processo onde os pneus sofrem uma moagem para que adquiram uma granulometria adequada para sua aplicação no pavimento. Através de processos químicos, o mesmo é adicionado ao Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), onde o resultado dessa

mistura gera o produto asfáltico emborrachado, onde as características funcionais anteriormente citadas são obtidas.

A adoção do asfalto emborrachado no mundo não tem apenas como premissa os impactos ambientais causados pela disposição inadequada de pneus usados, mas também de se obter um pavimento asfáltico com maior durabilidade, segurança para seus utilitários e baixos custos de manutenção. Esse asfalto foi criado nos Estados Unidos, onde sua utilização já tem um pioneirismo de 40 anos. Dentre os estados americanos onde o asfalto emborrachado tem sua maior aplicação, temos o estado do Arizona, onde cerca de 70% das rodovias atualmente em funcionamento foram produzidas a partir do asfalto emborrachado. A produção do asfalto emborrachado teve um grande salto nesses 40 anos em que vem sendo utilizado nos estados Unidos, onde partiu de uma produção anual de 900 toneladas em 1985 para 37.000 toneladas em 2001.

Vale também citar a França dentro do pioneirismo da utilização do asfalto emborrachado. Esse país começou a utilizar esse tipo de pavimento em 1982, onde um prazo de seis anos o país já tinha cerca de 3.000.000 m² desse material aplicado em rodovias ou em aeroportos.

No Brasil, o asfalto emborrachado começou a ser utilizado por volta de 2000. Atualmente, temos a Petrobras como Distribuidora como detentora da tecnologia de produção desse tipo de pavimento. A utilização do asfalto borracha no Brasil tem como locais de referência de sua aplicação a BR -116, no Rio Grande do Sul; pelo Consórcio Univias; e também em ruas e rodovias espalhadas pelos estados do Rio de Janeiro e de São Paulo. O estado do Ceará vem fazendo atualmente estudos de viabilidade da aplicação do asfalto emborrachado em suas vias de circulação de veículos.

O estado do Espírito Santo utilizou o asfalto emborrachado nas obras da ES-080, recuperando ao todo cerca de 52 Km de rodovia estadual. Há também o interesse de se

implantar esse tipo de pavimento na rodovia que interliga Vitória a Vila Velha, na Terceira Ponte, e também na rodovia que interliga Vila Velha a Guarapari (Rodovia do Sol).

2.2 Projeto de Pavimentos Asfálticos

O projeto estrutural de um sistema de pavimentação é um processo que deve abordar totalmente as interações de materiais, cargas de tráfego e efeitos ambientais. Além disso, devem ser considerados também o suporte de subleito, o que inclui a rede de drenagem da via. A carga de tráfego é necessária para estabelecer a espessura necessária da estrutura do pavimento e os tipos de mistura de asfalto. Esse é o principal fator que afeta o projeto e o desempenho de um pavimento de asfalto (BALBO, 2007).

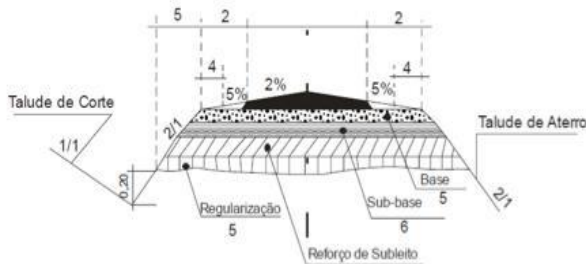
As recomendações de espessura do pavimento abordam várias combinações de classe de tráfego e tipo de subleito. As espessuras da camada de pavimento fornecidas foram desenvolvidas para serem adequadas para as combinações de vida útil demandadas (BALBO, 2007).

De acordo com o DNIT (1999), as larguras do revestimento para as diversas classes de rodovias, nas regiões planas, onduladas montanhosas ou escarpadas, são as seguintes:

1. Classe especial: 7,50 m;
2. Classe I: 7,00 m;
3. Classe II e III: de 6,00 m a 7,00 m.

Ainda segundo o DNIT (1999), em relação às camadas do pavimento asfáltico, temos que as mesmas se dispõem da seguinte forma:

Figura 3 – Camadas do pavimento asfáltico flexível



Fonte: DNIT (1999)

Para a elaboração de um projeto de pavimentação asfáltica, as seguintes variáveis devem ser consideradas no seu dimensionamento, conforme os subitens seguintes.

2.2.1 Cálculo do Fluxo de Veículos

Deve-se realizar o cálculo do fluxo de veículos atualmente e, através de estudos sobre crescimento da região, estimar o fluxo de veículos no futuro. Isso é necessário para garantir que o pavimento asfáltico tenha uma durabilidade prolongada e de acordo com as perspectivas do local. Esse fluxo futuro é o que deverá ser utilizado nos cálculos de carga para o projeto (JIMÉNEZ, 2007).

2.2.2 Cálculo do Número N

Para calcular o número N, que se refere às solicitações mecânicas às quais o pavimento asfáltico estará submetido e que deve utilizar como referência um eixo padrão de 8,2 t, deve-se utilizar a expressão $N = VT \times FV \times FP \times FR$, onde VT é o volume total de veículos que irão circular na via, FV é o fator de veículo que prevê os danos que o veículos causarão na via, FP é o fator de pista que se refere à faixa de rolamento sujeita a danos pela frota comercial e FR o fator climático regional que se refere ao efeito da umidade na vida útil do asfalto (BALBO, 2007).

2.2.3 Estudo do Subleito

Deve-se realizar estudos geotécnicos no solo que irá suportar o pavimento asfáltico, para assim caracterizar sua composição. Caso o solo não seja adequado para suportar o pavimento, onde solos argilosos e arenosos refletem essa inviabilidade, deverá ser projetado ou um reforço d subleito ou mesmo uma troca de solo (NOGUEIRA, 1961).

2.2.4 Dimensionamento do corpo estradal

Para isso, deve-se realizar cálculos para cada camada que irá compor o pavimento asfáltico, para melhor dimensiona-las no tocante ao amortecimento das solicitações mecânicas às quais o pavimento estará submetido. Segundo Jiménez (2007), os materiais que irão compor essas camadas deverão apresentar as seguintes especificações:

1. Subleito e Sub-Base: devem apresentar um IS ou CBR inferior a 20%;
2. Base: devem apresentar CBR \geq 60%, Expansão \leq 0,5%, Limite de liquidez \leq 25%, Índice de plasticidade \leq 6 e Equivalência areia \geq 20%.

2.2.5 Espessura do Revestimento

Utilizando-se do número N calculado anteriormente, deve-se dimensionar a espessura do revestimento consultando a equivalência do mesmo em tabelas como a Tabela 1 ilustrada a seguir.

Tabela 1 - Valores de R em função do número N

N	R _{min} (cm)	Tipo de revestimento
Até 10 ⁶	2,5 - 3,0	Tratamento Superficial
10 ⁶ a 5 x 10 ⁶	5	Revestimento Betuminoso
5 x 10 ⁶ a 10 ⁷	5	Concreto betuminoso
10 ⁷ a 5 x 10 ⁷	7,5	Concreto betuminoso
Mais de 5 x 10 ⁷	10	Concreto betuminoso

Fonte: Lanix Engenharia Consultiva (2016)

2.2.6 Coeficiente de equivalência estrutural

Segundo Jiménez (2007), esse coeficiente relaciona de uma forma empírica o número estrutural (SN) e a espessura de uma camada, referindo à capacidade média que o material tem para ser um componente do pavimento ao propagar para as camadas inferiores as solicitações mecânicas por ele recebidas. Esses valores são consultados em tabelas como a Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficiente de equivalência estrutural

Componentes dos pavimentos	Coefficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento por penetração	1,20
Base granular	1,00
Sub-base granular	0,77 (1,00)
Reforço do subleito	0,71 (1,00)
Solo-cimento (resistência à compressão em 7 dias > 45kgf/cm ²)	1,70
Idem (resistência à compressão em 7 dias entre 45kgf/cm ² e 35kgf/cm ²)	1,40
Idem (resistência à compressão a 7 dias inferior 35kgf/cm ²)	1,00

Fonte: Lanix Engenharia Consultiva (2016)

2.2.7 Cálculo das demais camadas

Segundo Balbo (2007), o cálculo da espessura das demais camadas que irão compor o pavimento asfáltico é feito através da solução de um sistema de inequações conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Sistema de Inequações para o cálculo de espessuras de pavimento asfáltico

$$R \cdot k_R + B \cdot K_B \geq H_{20}$$

$$R \cdot k_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_S \geq H_n$$

$$R \cdot k_R + B \cdot K_B + h_{20} \cdot K_S + h_n \cdot K_{ref} \geq H_m$$

Fonte: Lanix Engenharia Consultiva (2016)

Ainda segundo Balbo (2007), as variáveis dessa equação podem ser assim identificadas:

R – espessura do revestimento (cm)

KR – coeficiente de equivalência estrutural do revestimento

B – espessura da base (cm)

KB – coeficiente de equivalência estrutural da base

SB – espessura da sub-base (cm)

KSB – coeficiente de equivalência estrutural da sub-base

REF – espessura do reforço (cm)

KREF – coeficiente de equivalência estrutural do reforço

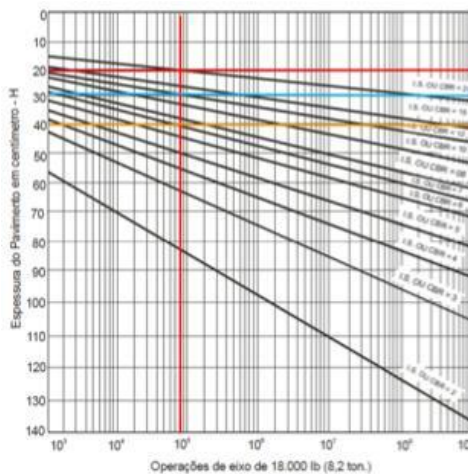
H20 – espessura de material granular padrão para proteção da sub-base

Hn – espessura de material granular padrão necessária à proteção do reforço

Hm – espessura de material granular padrão necessária à proteção do subleito.

Os valores das incógnitas H20, Hn e Hm podem ser obtidos do ábaco para dimensionamento de pavimentos asfálticos, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Ábaco para dimensionamento de pavimentos asfálticos



Fonte: Lanix Engenharia Consultiva (2016)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido com base em abordagem bibliográfica, coletando informações referentes ao assunto em questão desde o seu surgimento, suas transformações, melhoramentos até a presente data. Realizou-se uma busca de teses, dissertações e artigos nas bases de dados e catálogos eletrônicos que indexam publicações científicas tais como: Google, Petrobrás, SCIELO. Contou também com as contribuições dos estudos realizados por especialistas como: Farah (2010), Fontes (2011), entre outros.

Para a realização do levantamento bibliográfico optou-se por fazer um recorte temporal, a partir do surgimento da pavimentação asfáltica até os dias atuais e as diversidades de asfalto flexível.

De acordo com Koch (1997), a pesquisa bibliográfica levanta o conhecimento disponível, identificando as teorias produzidas, analisando-as e avaliando sua contribuição para compreender ou explicar o problema objeto da investigação. É fundamental para todos os tipos de investigação, já que não se pode proceder o estudo de algo, sem identificar o que já foi produzido sobre o assunto, evitando tomar como inédito o conhecimento já existente, bem como elaborar pesquisas desguarnecidas de fundamentação teórica.

Segundo Lakatos e Marconi (2003), a pesquisa bibliográfica é o levantamento de toda a bibliografia já publicada, em forma de livros, revistas, publicações avulsas e imprensa escrita. O seu propósito é fazer com que o pesquisador entre em contato direto com todo o material escrito sobre um determinado tema, auxiliando na análise de suas pesquisas ou nas suas informações. Podendo ser considerada como o primeiro passo de toda a pesquisa científica.

Deste modo, acredita-se que a pesquisa bibliográfica é o tipo de pesquisa mais adequada para a natureza deste estudo, uma vez que se constitui em uma boa técnica de conhecimentos

teóricos ao pesquisador, levando-o a uma coleta de informações que sejam relevantes a uma maior compreensão do tema em estudo (MARCONI; LAKATOS, 2003)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Verificou-se que embora haja um custo maior para a implantação do “asfalto flexível”, nos demais requisitos, este demonstra ser extremamente viável ecologicamente, respeitando um pouco mais o trabalhador, no que diz respeito à saúde deste e a durabilidade e custos com manutenção. Tais afirmações podem ser contatadas nas tabelas e gráficos abaixo ilustrados.

O fato de não necessitar de temperatura mínima de 140°C e esta poder ultrapassar os 300°C, a utilização de meios alternativos que já iriam agredir o meio ambiente por não ter um destino correto (devido à grande demanda), como no caso dos pneus já descartados, os novos materiais inseridos e seus processos de transformações que agredem minimamente a natureza e a melhora na condição de trabalho para os funcionários braçais deste meio, já são fatores suficientes para repensarmos em pavimentações alternativas, estudá-las, ampliar seu emprego e buscar melhorias ainda maiores.

Tabela 3 – Custo por tonelada do asfalto convencional e do emborrachado

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

Fonte: (SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, 2012)

De acordo com as informações constantes na tabela 2, temos que o custo por tonelada do asfalto emborrachado é 15% maior do que aquele praticado para o asfalto convencional. Dentro

desse 15%, estão contemplados os custos referentes à produção em usina da mistura asfáltica com borracha granulada, o que na verdade acaba por aumentar suas propriedades mecânicas e, portanto, dar uma certa viabilidade em sua aplicação. Para essa viabilidade, há a dependência entre os requisitos de projeto e o seu preço de mercado.

Tabela 4 – Comparativo final da viabilidade financeira

GRANDEZAS	CÁLCULO	UNIDADE	TIPO DE ASFALTO		
			CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA (ECOFLEX)	
A	Quantidade de massa asfáltica 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	-	% peso	5%	5,5%
E	Custo de 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: (SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, 2012)

De acordo com a Tabela 2, temos que a redução de custo que pode ser observada quando se utiliza o asfalto emborrachado é de 14,3% em relação ao asfalto convencional.

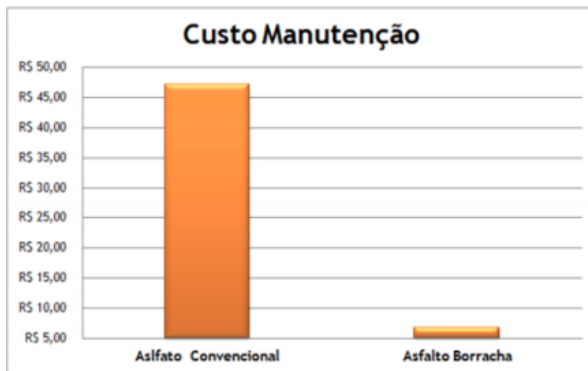
Gráfico 1 – Custo para a implantação dos asfaltos (comparativo)



Fonte: (SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, 2012)

Analisando os custos demonstrados no Gráfico 1, podemos perceber que os custos de execução do asfalto emborrachado mostram-se 65,49% maior quando comparados com os do asfalto convencional. No entanto, considerando que o asfalto emborrachado possui uma durabilidade maior, lhe conferindo assim uma menor demanda de manutenção, tem-se o Gráfico 2 que nos mostra os custos de manutenção para esses dois tipos de pavimento.

Gráfico 2 – Comparativo de custos com manutenção



Fonte: (SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, 2012)

Como podemos observar, os custos de manutenção do asfalto emborrachado mostram-se bem menores do que aqueles demonstrados pelo asfalto convencional. Para uma comparação consolidada sobre os custos, mostra-se necessário fazer o somatório dos dois custos, para se ter o custo global para os dois tipos de pavimento. Esse somatório pode ser verificado na Tabela 3.

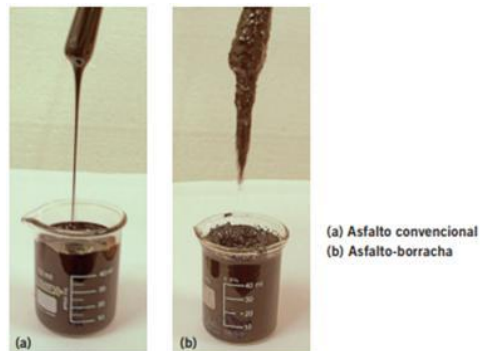
Tabela 5 – Comparativo final da viabilidade financeira

GRANDEZAS	CÁLCULO	UNIDADE	TIPO DE ASFALTO		
			CAP 50/70	ASFALTO BORRACHA (ECOFLEX)	
A	Execução do pavimento com preparo de base em extensão	-	m	200	200
B	Custo de execução do pavimento com preparo de base	-	R\$/m2	46,66	77,22
C	Manutenção do pavimento no período de 7 anos	-	% m2	70%	10%
D	Custo geral da manutenção do pavimento	-	R\$/m2	67,30	67,30
E	Percentual de Custo Manutenção do pavimento	C x D	R\$/m3	47,11	6,73
E	Custo de execução + manutenção do pavimento	B + E	R\$/m2	93,77	83,95

Fonte: (SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, 2012)

Como pôde ser observado, o custo total do asfalto emborrachado mostra-se 11,69% menor do que aquele demonstrado pelo asfalto convencional, para um período de 7 anos.

Figura 6 – Aumento da consistência do asfalto emborrachado



Fonte: (SANCHES; GRANDINI; JUNIOR, 2012)

Observando a Figura 3, observamos que os custos com manutenção serão drasticamente diminuídos, haja vista que a elasticidade do asfalto flexível (asfalto-borracha) é extremamente firme e mais viscosa, fornecendo maior aderência

e flexibilidade em resposta aos impactos dos pesos dos veículos a constância do fluxo dos mesmos.

Ainda em processo de comparação, ambos asfaltos foram submetidos a testes em simulador e o resultado foi superiormente favorável ao asfalto emborrachado, onde o asfalto comum teve deformidade de 13% e do asfalto flexível ficando na deformidade de apenas 5%.

Figura 7 - Imagens comparando o desgaste do asfalto convencional x asfalto emborrachado



Fonte: Ecoflex Pave – RS

A Ecoflex fora uma das empresas pioneiras nos testes e aplicações do asfalto emborrachado e a mesma conseguiu provar, inclusive podemos observar detalhadamente em suas publicações que, o asfalto emborrachado inicialmente torna-se mais oneroso/ custoso, todavia no meio dos processos, este já deixa de ser inviável e a longo prazo e em outras questões envolvidas, o asfalto emborrachado torna-se em média no mínimo 13% mais em conta, perdendo somente no processo nesse percentual em seu processo de aplicação, contudo as vantagens não param por ai, haja vista que a durabilidade do asfalto emborrachado pode ser prolongada entre 2 a 5 anos mais, frente ao asfalto convencional.

Utilizando-se dos valores já mencionados anteriormente, temos que para a execução de um revestimento asfáltico de 30

Km, temos as seguintes quantidades totais do CBUQ convencional e do CBUQ com asfalto borracha:

1. CBUQ Convencional: $30.000 \text{ m} \times 7,00 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \times 2,5 \text{ t/m}^3 = 26.250 \text{ t}$
2. CBUQ Asfalto Borracha: $30.000 \text{ m} \times 7,00 \text{ m} \times 0,035 \text{ m} \times 2,5 \text{ t/m}^3 = 18.375 \text{ t}$

Podemos perceber que, para o mesmo tipo de serviço, há uma demanda bem menor de Asfalto Borracha em relação ao Asfalto Convencional, o que nos mostra que, apesar dos custos de fabricação do Asfalto Borracha serem maiores do que aqueles percebidos para o Asfalto Convencional, essa diferença de custos pode ser compensada pela quantidade menor de asfalto demandada.

Além disso, podemos verificar também que a menor demanda de Asfalto Borracha possibilita um menor tempo de execução para os serviços. Considerando que uma usina de asfalto produza, em média, 9.000 t de asfalto por mês, temos que para o Asfalto Convencional os serviços durariam 3 meses e, para o Asfalto Borracha, 2 meses. Ou seja: geraria uma economia de 1 mês com os custos fixos dos serviços.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, comparados em dissertações, impressos de nível técnico ou mesmo em artigos digitais, ressaltam que a implantação do asfalto flexível (emborrachado) é de início, um tanto mais custoso em comparação ao asfalto comum. Entretanto, este investimento maior e custos adicionais, param por aí, pois, o asfalto flexível é viável sob os demais pontos de vista, já mencionados no início deste estudo, o que o torna viável do ponto de vista econômico, além da qualidade de vida para os trabalhadores envolvidos na obra e impacto minimizado ou quase zerado ao meio natural. Temos também um aumento considerável na qualidade e durabilidade dos pavimentos asfálticos que se utilizam do mesmo, quando comparados aos demais tipos de pavimentos.

Ainda de acordo com o estudo proposto, pôde-se concluir que a viabilidade de aplicação do asfalto emborrachado é praticável, desde que o projeto de pavimentação contemple as exigências técnicas cabíveis ao local de aplicação e, ao mesmo tempo, levando em conta a necessidade de manutenção do mesmo, de acordo com todas as variáveis inerentes à situação.

Apesar de ser uma tecnologia ainda em fase de aceitação no mercado, o asfalto emborrachado oferece também maior segurança para os veículos que sobre ele circulam, ao oferecer uma maior aderência dos pneus com sua superfície e propiciar uma menor projeção de água quando em dias chuvosos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
2. BETUNEL. **Emulsões**. Disponível em: <<https://www.betunel.com.br/emulsoes.html>>. Acesso em: 02 abr. 2019.
3. ECIVIL. **Significado de Asfalto**. Disponível em: <<https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-asfalto.html>>. Acesso em: 02 abr. 2019.
4. INFRAESTRUTURA URBANA. **Asfalto-borracha**. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/11/asfalto-borracha-a-adicao-de-po-de-borracha-extraido-de-245173-1.aspx>>. Acesso em: 02 abr. 2019.
5. JIMÉNEZ, Félix Edmundo Pérez. **Manual de pavimentação**. Lisboa: Cepsa Portuguesa Petróleos, 2007.
6. KOCH, I. V. **O texto e a construção dos sentidos**. São Paulo: Contexto, 1997.
7. LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2003.
8. NOGUEIRA, Cyro. **Pavimentação**: projeto e construção, noções de mecânica dos

9. solos, pavimentos flexíveis, pavimentos rígidos. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico,1961.
10. PETROBRAS. **Asfalto: Informações Técnicas.** 2015. Disponível em: < http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/Asfalto-Informacoes_Tecnicas.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2019.
11. REVISTAOE. **Otimização de misturas asfálticas com asfalto borracha.** 2011. Disponível em: < <http://revistaoe.com.br/tag/rodovias-pavimentacao/>>. Acesso em:02 abr. 2019.
12. SANCHES, Felipe G.; GRANDINI, Fernando H. B.; JUNIOR Orlei B. **Avaliação da Viabilidade Financeira de Projetos com Utilização do Asfalto-Borracha em Relação ao Asfalto Convencional.** 2012. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso Superior de Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, 2012.
13. STRATURA. **ADP - Asfalto Diluído de Petróleo.** Disponível em: < <http://www.stratura.com.br/produto/adp-asfalto-diluido-de-petroleo/3>>. Acesso em 02abr. 2019.
14. STRATURA. **CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo.** Disponível em: < <http://www.stratura.com.br/produto/cap-cimento-asfaltico-de-petroleo/5>>. Acesso em02 abr. 2019.
15. [https://docplayer.com.br/5376555-Estudo-comparativo-do-custo-x-beneficio-entre-o-asfalto-convencional-e-asfalto-modificado-pela-adicao-de-borracha moida-de-pneu.html](https://docplayer.com.br/5376555-Estudo-comparativo-do-custo-x-beneficio-entre-o-asfalto-convencional-e-asfalto-modificado-pela-adicao-de-borracha-moida-de-pneu.html). Acesso em 02 abr. 2019.