

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DO ASFALTO-BORRACHA EM RELAÇÃO AOS PAVIMENTOS DO TIPO TSD E CBUQ**

DOI: 10.19177/rgsa.v9e32020829-846

**Kelly Cristina Ribeiro de Carvalho<sup>1</sup>**  
**Ricardo Fernandes Pains de Almeida<sup>2</sup>**  
**Vilson Dalla Libera Junior<sup>3</sup>**

**RESUMO**

Atualmente a pavimentação asfáltica tem sofrido amplos desgastes devido ao tráfego. Diversas pesquisas e tecnologias tem se desenvolvido, solucionando os problemas do asfalto e avançando também em melhorias ligadas ao meio ambiente. Neste contexto, o asfalto borracha surge como uma nova tecnologia, mais resistente às patologias comumente observadas em pavimentos flexíveis. O presente trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade econômica e ambiental do asfalto-borracha em relação aos asfaltos convencionais. Inicialmente foi realizado um levantamento de licitações que empregassem os tipos de pavimentos do estudo. A partir destes dados, foi possível construir tabelas e gráficos com demonstrativos de custos por serviços isolados. Foi realizado também o levantamento das principais vantagens econômicas e benefícios gerados para o meio ambiente. A partir dos valores encontrados foi construída uma tabela que descreve o custo unitário de cada serviço e material dos pavimentos. A análise do custo da produção do subleito apontou que o mesmo apresentou um único valor para os três pavimentos. Na camada de rolamento observou-se uma maior diferença no valor unitário relacionado ao custo de fabricação do revestimento. Entre os revestimentos, o pavimento de borracha apresenta maior valor devido ao processo de fabricação, onde existe a necessidade de passar os pneus inservíveis por um processo de transformação. De acordo com os resultados obtidos foi possível concluir que a viabilidade da pavimentação com asfalto borracha é tecnicamente positiva, ecologicamente correta e economicamente viável levando em consideração os benefícios ambientais e o custo benefício em longo prazo.

**Palavras-chave:** Asfalto-Borracha. Pavimento. Viabilidade. Sustentabilidade.

<sup>1</sup> Engenheira Civil, graduada pelo Centro universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA, Campus Ceres. E-mail: k\_ribeiro9@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, graduado pelo Centro universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA, Campus Ceres

<sup>3</sup> Engenheiro Civil pelo Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA (2016) e mestrado acadêmico em Integridade de Materiais da Engenharia pela Universidade de Brasília - UnB (2019), Professor do Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA, Campus Ceres - GO. <http://orcid.org/0000-0001-5557-7331> E-mail: Vilson-dalla@hotmail.com

# ANALYSIS OF ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL VIABILITY OF ASPHALT-RUBBER IN RELATION TO TSD AND CBUQ TYPE FLOORS

## ABSTRACT

Currently asphalt pavement has suffered extensive detrition due to traffic. Several studies and technologies have been developed to solve the asphalt problems and resulting in environmental improvements. In this context, rubber asphalt emerges as a new technology, more resistant to the pathologies commonly observed in flexible pavements. The present work aimed to study the economic and environmental viability of rubber asphalt compared to conventional asphalt. Initially, a survey of proposals that employed the types of pavements of the study was conducted. From these data, it was possible to build tables and graphs with cost statements for isolated services. It was also conducted an investigation of the main economic advantages and benefits generated for the environment. From the values found, a table was constructed that describes the unit cost of each pavement's services and materials. The analysis of the production cost of the subgrade indicated that it presented a single value for the three floors. In the rolling layer there was a greater difference in the unit value related to the cost of fabrication of the asphalt layer. Among the layers, the rubber asphalt has the greatest value due to the manufacturing process, where the useless tires need to pass through a transformation process. According to the results it was concluded that the viability of rubber asphalt paving is technically positive, ecologically correct and economically viable considering to the environmental benefits and the long-term cost benefit.

**Keywords:** Rubber Asphalt. Pavement. Viability. Sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a pavimentação asfáltica tem sofrido amplos desgastes devidos às intensificações do trânsito com cargas excessivas, gerando grandes deteriorações como trincas, panelas, entre outras patologias vistas diariamente em rodovias municipais, estaduais e federais. No Brasil o sistema rodoviário chegou com o surgimento do DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagens). De acordo com os dados da CNT (Confederação Nacional do Transporte) (CNT, 2018), o Brasil apresenta 100.763 km de rodovias pavimentadas, onde 57,2% dessas rodovias são classificadas como regular, ruim ou péssima.

Entre os principais pavimentos frequentemente empregados no Brasil destacam-se o CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) e TSD (Tratamento

Superficial Duplo). O CBUQ é caracterizado como um revestimento asfáltico produzido a partir da mistura de agregados em sua forma natural ou britados, com adição de um material de enchimento (filler) e cimento asfáltico de petróleo (CAP) (BALBO, 2007). Apesar da sua dificuldade de fabricação, o CBUQ não exige cura, é menos sensível a ação de água, tem um retardo no envelhecimento do asfalto, tem uma boa resistência à tráfegos pesados e acabam sendo mais duráveis (NWAKAIRE, 2019). Em contraste, o TSD é um pavimento montado *in loco*, em camadas de agregados e ligantes asfálticos, sendo um pavimento de menor espessura, mais econômico, porém não contribui para resistência estrutural da via. Embora o TSD ser uma pavimentação asfáltica que tem uma espessa camada de rolamento, é bastante resistente a desgastes provenientes de rodagem de veículos e/ou água, proporciona um revestimento antiderrapante e com alta flexibilidade, fazendo com que o asfalto acompanhe as deformações vindas dos veículos (VEGGI, 2014).

É natural que a pavimentação asfáltica vá se deteriorando com o grande tráfego de veículos e com o passar o tempo, por isso é importante a atenção ao período de vida útil e principalmente respeitar o tempo de manutenção de cada pavimento. Normalmente, as patologias em pavimentos flexíveis surgem a partir de condições ambientais como a alta temperatura e a água, a falta de manutenção no tempo certo, excesso de carga oriunda de veículos e/ou utilização de materiais com má qualidade fazendo com que o asfalto tenha menor vida útil (HUANG, 2014). Como patologias mais vistas na pavimentação asfáltica, tem-se os trincamentos, desintegrações (panelas, desgastes, deslocamento de capa), deformações (depressões, escorregamentos de massa asfáltica) e por fim a exsudação (CIOBANU, 2014). A partir dessas patologias surge a necessidade de renovação de métodos e materiais para que possa atingir maior vida útil do pavimento. Neste contexto, o asfalto borracha surgiu como uma nova tecnologia, mais resistentes às patologias comumente observadas em pavimentos flexíveis. Este pavimento apresenta características elásticas, tornando assim um pavimento com maior durabilidade e resistência às intempéries e esforços solicitantes. De acordo com a norma do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), a composição do concreto asfáltico com adição de borracha se resume em agregado graúdo, os quais devem satisfazer as especificações técnicas recomendadas pelo órgão regularizador.

Há alguns anos a adição do agregado borracha oriundo de pneus inservíveis tem sido recebida com grande relevância por conter características melhores nos

seguintes aspectos: permeabilidade, resistência, aderência e durabilidade. Nos Estados Unidos esse tipo de rodovia foi implantado há mais de 40 anos, dessa forma há estados americanos que já possuem até 70% de asfaltamento de borracha, já no Brasil, essa tecnologia chegou apenas nos anos 2000, depois que a patente que protegia a tecnologia venceu (MAZZONETTO, 2015; LAGARINHOS, 2008). No Brasil, segundo o Serviço Social do Transporte (SEST) e o Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte (SENAT), cerca de 450 mil toneladas de pneus inservíveis são descartadas por ano de forma incorreta no meio ambiente. Estes pneus não tem um tempo determinado para decomposição na natureza, portanto, a única solução para solucionar tal problema é o seu reaproveitamento através da reciclagem (ARAÚJO, 2016). O acréscimo de borracha ao asfalto convencional além de colaborar com o meio ambiente, oferece maior segurança e conforto aos condutores e o principal motivo de sua utilização é o aumento considerável da vida útil do pavimento (HUANG, 2014).

Para esse acréscimo de borracha acontecer no processo construtivo é necessário que os pneus inservíveis passem por um processo industrial. Segundo a CPR (Centro de Pesquisas Rodoviárias) da Concessionária NovaDutra, em um relatório elaborado para ANTT (Agência Nacional de Transportes Terrestres) existem dois métodos diferentes de processos construtivos: via seca e via úmida. Para a via seca, método mais utilizado no Brasil, a borracha é comercializada por indústrias que beneficiam os pneus inservíveis, essas indústrias fazem com que a borracha passe por um processo e saia em forma de grãos. O controle da quantidade de borracha inserida na mistura é de suma importância pra qualidade final do concreto asfáltico com adição de borracha. Para vias úmidas, de acordo com a CPR da Concessionária NovaDutra, o pó de borracha é misturado ao ligante asfáltico aquecido, modificando em um novo ligante, chamado “asfalto-borracha”. Diversos países do mundo utilizam esse processo, adaptando o método construtivo às normas vigentes de cada país (KLINSKY & FARIA, 2017).

Durante o processo de cura do asfalto borracha, acontecem modificações nas propriedades do ligante asfáltico decorrente das suas mudanças físico-químicas, os principais fatores dessas mudanças são o tempo e a temperatura dessa cura, pois afetam diretamente o grau de dispersão das partículas de borracha nesse ligante, ela sendo vulcanizada ou não. Tendo como finalidade solucionar as patologias vistas na pavimentação asfáltica comum e unir a um problema do meio ambiente, surgiu então

essa nova tecnologia, o asfalto-borracha ou o asfalto ecológico. Como vantagem principal este revestimento apresenta uma vida útil elevada, podendo chegar até 40% se comparado ao asfalto convencional, retardando a necessidade de reparos e atribuindo maior fluidez ao tráfego de veículos. Outra vantagem relevante é a redução do tempo de construção do asfalto, essa conquista é dada pela rapidez de resfriamento do asfalto borracha devido às suas características (MAZZONETO, 2015). Nesta perspectiva, o presente trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade do asfalto-borracha em relação aos asfaltos convencionais, realizando uma comparação entre estes pavimentos asfálticos através da análise de custo de produção e vida útil.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Coletas de dados

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica, para levantar características sobre a pavimentação com utilização da técnica TSD, CBUQ e como nova tecnologia considerando as melhorias em alguns aspectos do pavimento, a técnica do asfalto borracha que agrega a utilização de pneus inservíveis que iriam ser descartados de maneira incorreta no meio ambiente. Após o estudo bibliográfico realizou-se um levantamento de licitações que utilizassem os tipos de pavimentos do estudo. As licitações foram obtidas em sites oficiais de algumas prefeituras de acordo com o pavimento utilizado. Em seguida, as licitações foram selecionadas e a retirada dos itens e procedimentos necessários para fabricação de cada pavimento foi efetuada. Foram considerados os procedimentos e/ou materiais utilizados nos itens de camada de rolamento, base e subleito dos três tipos de pavimentos.

Os dados do pavimento tipo CBUQ e asfalto borracha foram selecionados a partir de uma licitação do ano de 2018 da cidade Sete Barras – São Paulo (BRASIL, SÃO PAULO, SETE BARRAS, 2018). Os dados do pavimento tipo TSD foram obtido em uma licitação do ano de 2018 da cidade de Ceres – Goiás (BRASIL, GOIÁS, CERES, 2018). A partir das licitações foram destacados os itens e procedimentos que são necessários para realização das camadas de cada pavimento (subleito, base e camada de rolamento). Após a seleção dos itens, foi possível verificar os valores unitários dos mesmos, e para não haver divergências nos custos foi padronizado o órgão regulamentador DER (Departamento de Estradas de Rodagem). A partir destes dados foi possível verificar a viabilidade de custos de cada pavimento.

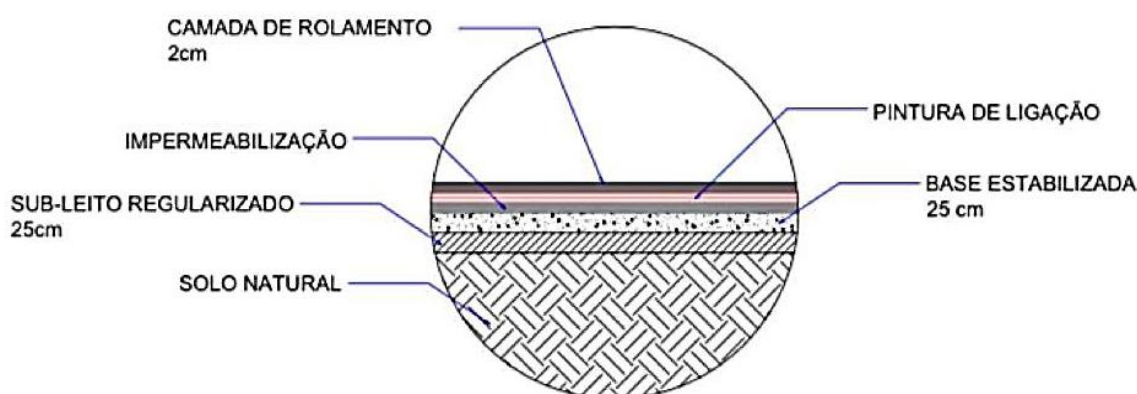


Os valores unitários dos materiais foram retirados da Tabela de Preços Unitários Desonerados do DER (2019) e foram organizados em planilhas semiestruturadas no Microsoft Excel. A retirada e análise dos dados foram feitas com pesquisa atualizada (setembro, 2019). As unidades de medidas descritas nas licitações foram ajustadas para todos os materiais e serviços, onde, foi definido o custo em metros quadrados (m<sup>2</sup>) do pavimento e o valor unitário por quilometro (km) utilizando um pavimento tipo.

## 2.2 Construção do pavimento tipo

Para a análise de custo do item “Transporte até 15 km” existente na camada do subleito dos três pavimentos foi utilizada a distância máxima de 15 km percorrida pelo transporte de materiais como embasamento para realização dos cálculos e para padronização das unidades de medida. Um pavimento tipo (Figura 1) foi definido para realização do levantamento de materiais utilizados, no qual teve seu tamanho definido como: 1000 metros lineares de comprimento e 7 metros de largura, tendo assim uma área de 7000 m<sup>2</sup>. Considerando as camadas de subleito (25 cm), base (25 cm) e camada de rolamento (2 cm), tem-se o volume total do subleito ou da base do pavimento, igual a 1750 m<sup>3</sup> cada, que é a camada que faz a transformação de unidade do transporte.

Figura 1 – Detalhamento do pavimento tipo



Fonte: Próprio autor (2019)

Em seguida, a transformação de metros cúbicos para metros quadrados foi realizada com a multiplicação do material de 12m<sup>3</sup>, do transporte de 15km e do valor desonerado de 2,29 retirado da tabela do DER. Fazendo essa multiplicação se tem o

item Transporte até 15km em preço unitário por metro cúbico. Em seguida o valor foi dividido por 48 que é a divisão do material de 12m<sup>3</sup> pela camada analisada (subleito ou base) de 25cm cada, ou seja, é a capacidade que o volume de matéria é capaz de construir na área de aplicação, determinando, portanto, o valor do material e do transporte em metros quadrados. A partir destes dados, foi possível construir tabelas e gráficos com demonstrativos de custos por serviços isolados.

### **2.3 Análise de viabilidade**

A análise de viabilidade resume na coleta de dados econômicos e de durabilidade, podendo assim fazer o estudo técnico de aspecto financeiro que busca determinar as possibilidades de sucesso econômico de um determinado projeto. A análise de durabilidade do asfalto borracha em relação aos demais pavimentos foi realizada através de comparações entre diversos autores da literatura. Esta avaliação foi baseada no método de custo-benefício. A relação custo-benefício dos pavimentos baseou-se em uma comparação entre o custo unitário do metro quadrado de pavimento e durabilidade. Foi realizado também o levantamento das principais vantagens econômicas e benefícios gerados para o meio ambiente em virtude do reaproveitamento dos pneus inservíveis que são descartados de forma incorreta, onde por fim foi possível expor a viabilidade do asfalto-borracha em relação aos demais pavimentos de acordo com o custo de implantação, durabilidade e sustentabilidade, ou seja, uma relação de custo benefício envolvendo também as benfeitorias ao meio ambiente.



## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.1 Características e aplicabilidade**

De acordo com o DNIT (2006) todos os pavimentos selecionados são classificados como flexíveis, uma vez que depois de aplicado o carregamento na estrutura todas as partes do pavimento sofrem deformação. Em pavimentos flexíveis, a base é executada da mesma forma, seguindo os mesmos princípios e regulamentos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Nesta perspectiva, a aplicabilidade do pavimento de borracha apresenta as mesmas características que os pavimentos tradicionais (TSD e CBUQ) no quesito: Preparo do subleito (escavação de solo, transporte e compactação). Outra semelhança dos pavimentos é a sua

finalidade, os três podem ser usados para base, revestimento, camada de ligação, reforço do pavimento, recapeamento de rodovias.

Uma das principais diferenças da aplicação do pavimento de borracha aos demais tipos de pavimentos está relacionada à sua aplicação através de usinas móveis, onde se torna necessário a utilização de um caminhão para realizar a dispersão do material na camada de rolamento. Além disso, o subleito do pavimento de TSD é estabilizado com cascalho, divergindo dos demais pavimentos onde a camada é estabilizada com brita graduada, precisando assim de estudo de solo para a escolha do tipo da brita. Apesar de tudo, o pavimento de borracha ainda apresenta o mesmo princípio, sendo ele o espalhamento da camada de brita graduada, a compactação e o acabamento com rolo tandem (DNIT, 2012).

O pavimento de TSD tem sua aplicabilidade maior em vias urbanas, por ser um pavimento montado *in loco* ou sendo necessária uma pequena distância do fabricante/distribuidor, sendo um revestimento imprimado ou pintado, fazendo duas camadas de ligante asfáltico associadas à camada de agregado mineral submetida à compressão. (DNIT, 2012). O pavimento do tipo CBUQ pode ser utilizado como revestimento, base, camada de ligação, reforço do pavimento, mas é destinado principalmente para recapeamentos de rodovias e avenidas, pela sua facilidade de execução e maior resistência asfáltica, podendo ser liberado o tráfego assim que aconteça o resfriamento total do mesmo (DNIT, 2006). Já o pavimento de borracha pode ser utilizado como camada de rolamento, camada de ligação (binder) ou base (DNIT, 2009).

### 3.2 Análise de custo

A análise dos valores dos materiais e serviços empregados, bem como a avaliação do custo total foi realizada através dos custos unitários por metro quadrado de cada pavimento. A partir destes custos foi montada a tabela 1 que descreve o custo unitário de cada serviço e material de cada tipo de pavimento.

A tabela 1 está dividida em três partes de acordo com os pavimentos avaliados, subdivida em outros três itens para abranger todos os materiais e serviços de cada camada do pavimento (subleito, base e camada de rolamento), indica a unidade de medida para cada item e o seu respectivo custo unitário em m<sup>2</sup>. A tabela foi organizada a partir da estratégia de custeio e visando o conhecimento preciso dos valores atribuídos de cada material e/ou na produção de cada etapa do pavimento.



**Tabela 1** – Custo unitário dos serviços e materiais dos pavimentos TSD, CBUQ e borracha.

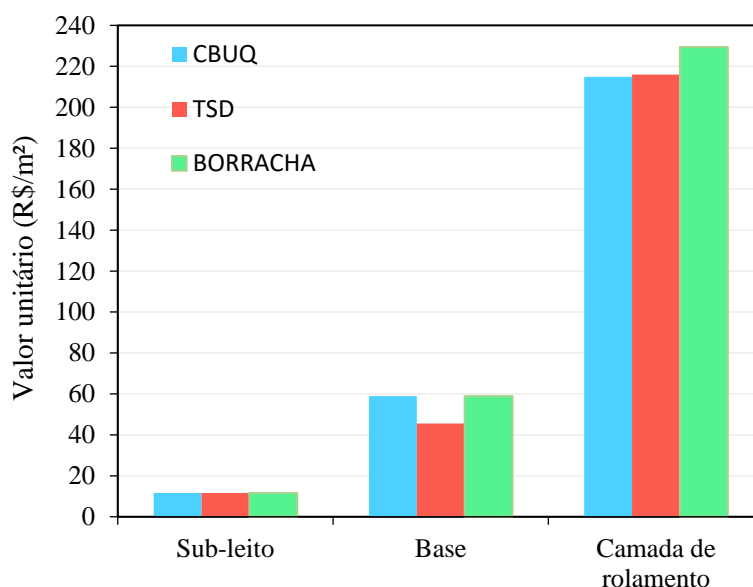
Pavimento	Itens	Unidade	Preço unit. com BDI*	Preço unit./m <sup>2</sup>
CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente	<b>Subleito</b>			
	Escavação de solo	m <sup>3</sup>	R\$ 6,81	R\$ 1,70
	Transporte até 15 km	m <sup>3</sup> • km	R\$ 2,29	R\$ 8,59
	Compactação 100% energia intermediária	m <sup>3</sup>	R\$ 5,40	R\$ 1,35
	<b>Base</b>			
	Sub-base ou base brita graduada simples	m <sup>3</sup>	R\$ 201,22	R\$ 50,31
	Transporte até 15 km	m <sup>3</sup> • km	R\$ 2,29	R\$ 8,59
	<b>Camada de rolamento</b>			
	Imprimadura betuminosa impermeabilizante	m <sup>2</sup>	R\$ 6,69	R\$ 6,69
	Imprimadura betuminosa ligante	m <sup>2</sup>	R\$ 2,50	R\$ 2,50
	Camada de rolamento - CBUQ - graduada D - sem DOP*	m <sup>3</sup>	R\$ 822,89	R\$ 205,72
			Valor total do pavimento (m <sup>2</sup> ): R\$ 285,45	
TSD – Tratamento Superficial Duplo	<b>Subleito</b>			
	Escavação de solo	m <sup>3</sup>	R\$ 6,81	R\$ 1,70
	Transporte até 15 km	m <sup>3</sup> • km	R\$ 2,29	R\$ 8,59
	Compactação 100% energia intermediária	m <sup>3</sup>	R\$ 5,40	R\$ 1,35
	<b>Base</b>			
	Sub-base ou base estabilizada granulometricamente	m <sup>3</sup>	R\$ 182,22	R\$ 45,56
	<b>Camada de rolamento</b>			
	Imprimadura betuminosa impermeabilizante	m <sup>2</sup>	R\$ 6,69	R\$ 6,69
	Imprimadura betuminosa ligante	m <sup>2</sup>	R\$ 2,50	R\$ 2,50
Tratamento superficial duplo (TSD)	m <sup>3</sup>	R\$ 800,68	R\$ 200,17	
Capa selante tipo 2	m <sup>2</sup>	R\$ 6,60	R\$ 6,60	
			Valor total do pavimento (m <sup>2</sup> ): R\$ 273,16	
Borracha	<b>Subleito</b>			
	Escavação de solo	m <sup>3</sup>	R\$ 6,81	R\$ 1,70
	Transporte até 15 km	m <sup>3</sup> • km	R\$ 2,29	R\$ 8,59
	Compactação 100% energia intermediária	m <sup>3</sup>	R\$ 5,40	R\$ 1,35
	<b>Base</b>			
	Sub-base ou base brita graduada simples	m <sup>3</sup>	R\$ 201,22	R\$ 50,31
	Transporte até 15 km	m <sup>3</sup> • km	R\$ 2,29	R\$ 8,59
	<b>Camada de rolamento</b>			
	Imprimadura betuminosa impermeabilizante	m <sup>2</sup>	R\$ 6,69	R\$ 6,69
Imprimadura betuminosa ligante	m <sup>2</sup>	R\$ 2,50	R\$ 2,50	
Concreto asfalto borracha morno com 15% de borracha	m <sup>3</sup>	R\$ 880,76	R\$ 220,19	
			Valor total do pavimento (m <sup>2</sup> ): R\$ 299,92	

Fonte: Próprio autor (2019)

\* DOP: Denominação de Origem Protegida; BDI: Benefícios e Despesas Indiretas.

Os dados da tabela 1 foram analisados e foi possível construir o gráfico a seguir (Figura 2) que demonstra visivelmente a diferença de cada camada de cada pavimento, mostrando assim a somatória dos valores unitários por metro quadrado do subleito, da base e da camada de rolamento dos pavimentos tipo CBUQ, TSD e asfalto borracha.

Figura 2 – Valor unitário em real por m<sup>2</sup> de cada camada do pavimento tipo



Fonte: Próprio autor (2019)

A partir da tabela 1 e da Figura 2, pode-se observar que o custo da produção do subleito tem um único valor de R\$9,31 (nove reais e trinta e um centavos) por metro quadrado para cada tipo de pavimento, visto que os três tipos de pavimentos utilizam a escavação do solo, o transporte de material e a compactação, ou seja, o preparo do solo para receber as próximas camadas que formarão o pavimento asfáltico.

Ao analisar a camada da base é possível observar uma pequena diferença de valor entre os pavimentos, sendo esta diferença relacionada ao material utilizado e ao transporte. Os pavimentos de borracha e CBUQ apresentaram o mesmo valor de R\$ 47,11 (quarenta e sete reais e onze centavos), contudo o único item pertencente à base do TSD já está incluso o transporte do material, fazendo com que o custo da base seja de R\$ 36,44 (trinta e seis reais e quarenta e quatro centavos), sendo este valor 22,6% mais barato se comparado às bases dos demais pavimentos.

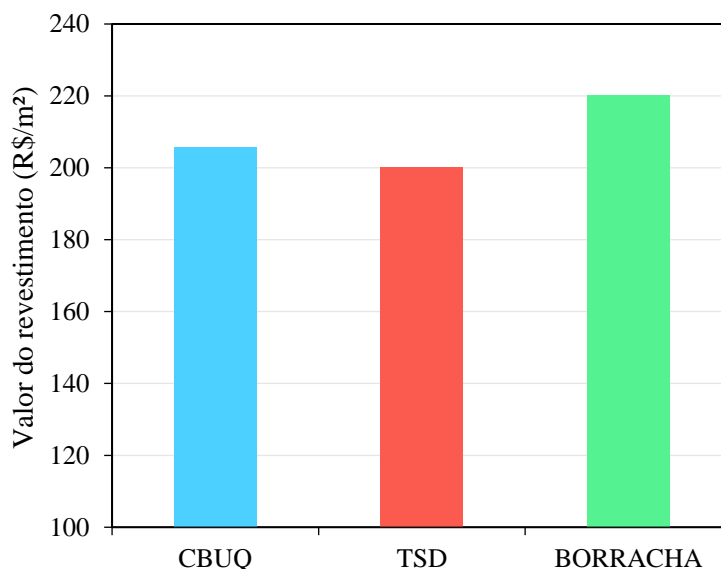
Esta redução no custo total da base do pavimento tipo TSD está relacionada à sua base ser apenas estabilizada granulometricamente com cascalho, ou seja, coloca

a camada de cascalho apenas e aplica uma energia de compactação adequada no solo *in natura*, o que beneficia o solo tornando-o assim mais estável (DNIT, 2012). Porém no pavimento tipo CBUQ e asfalto Borracha as bases são estabilizadas granulometricamente com a adição de brita, seja ela brita 00, brita 01 ou brita 02, de acordo com a determinação dos ensaios realizados *in loco*.

Diferente das demais camadas, a camada de rolamento apresenta uma maior diferença no valor unitário. O custo de fabricação do pavimento de borracha tem seu valor maior devido ao processo de fabricação que no seu revestimento é agregado pó de borracha moída oriunda de pneus inservíveis (ZATARIN et al, 2017). Deste modo, o valor total da camada de rolamento do pavimento tipo borracha chega a R\$ 185,34 (cento e oitenta e cinco reais e trinta e quatro centavos) por metro quadrado, sendo que o pavimento tipo CBUQ que também tem o processo de usinagem a quente custa R\$173,77 (cento e setenta e três reais e setenta e sete centavos), sendo R\$11,57 (onze reais e cinquenta e sete centavos) por metro quadrado mais barato ou 6,24%. A Figura 3 apresenta o valor unitário em real por metro quadrado do revestimento de cada tipo de pavimento avaliado.



Figura 3 – Valor unitário do revestimento em real por m<sup>2</sup> de cada pavimento.

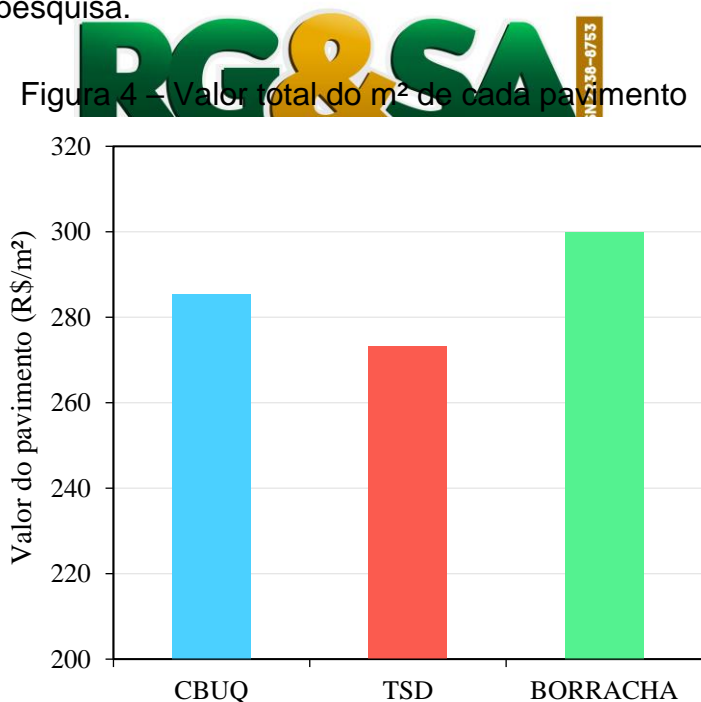


Fonte: Próprio autor (2019)

De acordo com as informações apresentadas na Figura 3 é possível notar que o pavimento do tipo TSD apresenta o menor valor unitário do revestimento, seguido pelo pavimento tipo CBUQ e por último, com o maior valor entre todos os revestimentos o de borracha. O revestimento do tipo TSD é mais barato se

comparado ao CBUQ e ao de borracha devido ao seu processo de execução, realizado executado na própria pista, não sendo necessária a utilização de transportes, alternando em camadas de agregados e ligantes asfálticos (DNIT, 2012; SENÇO, 2001). Em seguida, o revestimento do pavimento tipo CBUQ apresenta um valor unitário médio. Este revestimento é caracterizado como uma mistura de agregados e ligantes executados a quente, sendo necessária a usinagem, transporte até o local de sua aplicação e lançamento na via por equipamento adequado chamado de vibro acabador (VEGGI, 2014). Por fim, o revestimento de borracha apresenta o maior valor entre os três revestimentos avaliados. Seu alto valor está relacionado a necessidade de passar os pneus inservíveis por um processo de transformação. Inicialmente os pneus já usados são triturados e transformados em borracha moída, sendo misturada com asfalto e depois dos agregados já aquecidos, logo após é armazenada em silos e depois colocada em caminhões carregadores e levados à obra (LEÃO, 2013).

A Figura 4 apresenta a relação o valor total do metro quadrado por cada tipo de pavimento da pesquisa.



Fonte: Próprio autor (2019)

Nota-se diferença do valor do metro quadrado do pavimento do tipo TSD (menor custo), do CBUQ (meio termo) e finalmente do asfalto de borracha (maior custo) mesmo os três sendo classificados como pavimentação flexível, porém essa diferença se dá principalmente pelo seu processo de fabricação, sendo o CBUQ

usinado a quente, TSD usinado a quente para aplicação a frio e o de borracha é usinado e montado a quente e para a adição da borracha no material betuminoso é necessário a borracha de pneus inservíveis passar por processo de fabricação valorizando assim o produto final.

### 3.3 Durabilidade

O asfalto-borracha ou asfalto ecológico apesar de ter seu custo de fabricação elevado, tem sua durabilidade maior podendo chegar até 40% mais resistente se comparado ao asfalto convencional. A durabilidade do asfalto borracha pode variar de acordo com as condições de cada rodovia e agentes externos como a temperatura, clima da região e até mesmo a intensidade do tráfego. Há uma relação de que em rodovia com baixo tráfego, a pavimentação com asfalto borracha pode durar até 30 anos, sendo que outra rodovia com mesmas condições climáticas tendo alto tráfego de veículos pode durar 5 anos (MAZZONETO, 2017).

De acordo com Mendes e Nunes (2009) estudos realizados nos Estados Unidos mostram que a durabilidade da pavimentação feita com asfalto borracha pode chegar a ser 3 vezes maior do que a pavimentação convencional. A escola politécnica da Universidade de São Paulo também realizou ensaios sobre a deformação permanente de pavimentos, onde foram submetidas duas placas para o simulador de tráfego, a placa de CBUQ deformou-se 13% após 10.000 ciclos, enquanto a placa com asfalto borracha deformou 5% após 30.000 ciclos (SILVA; COELHO, 2018). Já para o TSD não foi encontrado na literatura seu tempo de durabilidade, porém há especulações e relatos de fissuras, trinca e buracos neste tipo de pavimento com menos de 2 anos após aplicação com tráfegos leves em ruas e avenidas.

Já em 2003 foi iniciado uma pesquisa acompanhada pela UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Consórcio Univas e Graca Asfaltos aonde obtiveram os resultados de uma comparação de simulador de tráfego entre os pavimentos CBUQ e Asfalto Borracha. Aos 98000 ciclos o pavimento CBUQ já apresentava grandes desgastes, enquanto o pavimento de borracha chegou aos 123000 ciclos apresentando apenas trincas. A pesquisa foi finalizada em 2005, após 523000 ciclos de carga no asfalto borracha apresentando baixo grau de deterioração (ZATARIN et al, 2017).

Segundo DNIT IPR 720 (2006), a idade dos pavimentos e a solicitação intensa do trafego compõem o problema, especialmente nas rodovias federais, onde grande



parte da malha já superou a vida útil dos projetos originais. Logo, é necessário ter o conhecimento da estrutura do pavimento e as principais patologias que podem surgir de acordo com o tráfego, clima e composição do pavimento para só então procurar soluções viáveis para tal (BERNUCCI et al, 2008). Os pavimentos flexíveis que engloba o TSD, CBUQ e asfalto borracha apresentam suas principais patologias que são catalogadas pela norma brasileira do DNIT 005/2003 TER (Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia) sendo consideradas para fins de cálculos de indicador de qualidade da superfície do pavimento (IGG – Índice de Gravidade Global). Essas patologias são as fendas, afundamentos, corrugação e ondulações transversais, exsudação, desgaste ou desagregação, panela ou buraco, e remendos. Devido ao asfalto borracha ter uma propriedade que resiste bem a elasticidade, acaba sendo capaz de voltar ao seu estado inicial sem causar deformidades ao pavimento, demorando mais tempo para entrar em processo de fadiga. Logo, a patologia mais comum e que é a primeira a acontecer no asfalto borracha é a fissura, demorando muito mais tempo para ocasionar as trincas e panelas, comparado aos asfaltos convencionais (MENDES, 2009).

O asfalto borracha, conta com um benefício especial comparado aos outros pavimentos. Além de sua capacidade elástica, durabilidade, impermeabilidade, vida útil elevada, entre outras vantagens, existe a logística reversa. Logística reversa resume em um conjunto de ações que viabiliza o recolhimento dos resíduos sólidos do setor empresarial. No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) regulamentou em 26 de agosto de 1999 a resolução nº258 em que tem como objetivo a prevenção à degradação ambiental, ou seja, para uma determinada quantidade de pneus vendidos e importados é necessário à retirada dos antigos pneus, sendo que essa relação se resume a cada três novos pneus colocados em circulação no mercado deve ser removido um total de no mínimo quatro pneus inutilizáveis. Empresas fabricantes de pneus levantam dados a partir de programa criado para justificar a logística reversa, na qual afirma que durante dez anos foi impedido o descarte inconsciente de mais de 3,5 milhões de toneladas de pneus em locais incorretos (LAGARINHOS, 2008; RECICLANIP, 2018).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

De acordo com os resultados obtidos foi possível concluir que a viabilidade da pavimentação com asfalto borracha é tecnicamente positiva, sustentável e

economicamente viável, levando em consideração os benefícios ambientais e o custo benefício em longo prazo. Mediante aos demonstrativos de tabelas, gráficos e estudo de viabilidade, pode-se afirmar que apesar de ter um custo mais elevado, o asfalto borracha se faz viável mediante a resistência maior em comparação aos demais pavimentos. O custo relativamente superior é justificado claramente pela qualidade e desempenho. Estudos anteriormente realizados sobre asfalto borracha provaram que este pavimento deformou menos que os demais métodos avaliados. São números expressivos, mas também não se pode deixar de mencionar sua participação ecológica devido a utilização de materiais descartáveis como os pneus, visto que é de extrema importância a retirada destes objetos do meio ambiente e a sua reutilização.

Diversas patologias poderiam ser evitadas a partir da aplicação deste pavimento, mas o custo maior faz com que a maioria das pavimentações sejam executadas com pavimentos de menor valor. Devido as rodovias, ruas e estradas serem de responsabilidade de órgãos públicos, a maior parte das rodovias pavimentadas com asfalto de agregado ecológico (borracha) é de propriedade de concessionárias. Essas companhias reconhecem que a qualidade maior do pavimento proporcionará uma menor manutenção e consequentemente um maior lucro com os pedágios cobrados.



Por fim, pode-se estudar e analisar maneiras de ampliar o uso dessa tecnologia, destacando sua viabilidade técnica, econômica e ecológica. A baixa taxa de manutenção desse tipo de pavimento também é um dos principais aspectos favoráveis a sua utilização. Portanto, a busca por formas de incentivar ainda mais a utilização deste tipo de pavimento em obras administradas por órgãos governamentais é fundamental para a diminuição dos gastos de manutenção das vias.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, K. K.; PIMENTEL, A. K. A problemática do descarte irregular dos resíduos sólidos urbanos nos bairros Vergel do Lago e Jatiúca em Maceió, Alagoas. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, n. 2, 2016.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica; matérias, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. **Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro, 2008.

CIOBANU, L.; FERNANDES, K. Pavement pathologies classification using graph-based features. **IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)**, p. 793-797, Paris, 2014.

CNT, Agência. **Pesquisa CNT de Rodovias indica que 57% dos trechos apresentam problemas**. 2018. Disponível em: <<https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/pesquisa-cnt-rodovias-2018-indica-57-trechos-apresentam-problemas>>. Acesso em: 01 set. 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA** nº 416, de 30 de setembro de 2009. Publicada no DOU Nº 188, de 01/10/2009, págs. 64-65. Altera a Resolução no 258/99.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 005/2003 – TER**. Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_ **DNIT 031/2006 – ES**. Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_ **DNIT 147/2012 – ES**. Pavimentação asfáltica – Tratamento Superficial Duplo – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.



\_\_\_\_\_ **DNIT 111/2009 – IPR**. Pavimentação flexível - Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending” - Especificação de material. Rio de Janeiro, 2009.†

\_\_\_\_\_ **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, 2009.

\_\_\_\_\_ **DNIT**. Manual de Pavimentação. Publicação IPR-719, Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_ **DNIT**. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Publicação IPR-720, Rio de Janeiro, 2006.

HUANG, B.; SHU, XIANG. Recycling of waste tire rubber in asphalt and portland cement concrete: An overview. **Construction and Building Materials**, v. 67, p. 217-224, 2014.

KLINSKY, L. M. G.; FARIA, V. C. **Asfalto Borracha: Revisão bibliográfica, avaliação reológica do ligante asfáltico e determinação dos parâmetros mecânicos das misturas asfálticas**. Nova Dutra: Centro de Pesquisas Rodoviárias (CPR), 2017. Disponível em: <[http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/Relat\\_FINAL\\_AsfaltoBorr\\_DEZ17.pdf](http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/Relat_FINAL_AsfaltoBorr_DEZ17.pdf)>. Acesso em: 04 set. 2019.

LAGARINHOS, F.; TENÓRIO, S. Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 106-118, 2008.

LEÃO, L. F. C. **Do pneu à Estrada – Benefícios da utilização de borracha granulada em obras públicas**. 2013. Edição nº 8. Disponível em: <<http://www.sinicesp.org.br/materias/2013/bt08a.htm>> Acesso em: 10 nov. 2019.

MAZZONETO, C. **Asfalto-borracha**. 2015. Disponível em: <<http://www.carlinhoslimanews.com/noticias/asfalto-borracha-e-usado-a-mais-de-40-anos-nos-eua/>>. Acesso em: 02 set 2019

MENDES, C. B. A.; NUNES, F. R. **Asfalto borracha - minimizando os impactos ambientais gerados pelo descarte de pneus inservíveis no meio ambiente**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção-Civil) – Faculdade brasileira – UNIVIX, Vitória, 2009.

NWAKAIRE, M. C.; YAP, S. P.; ONN, C.C; et al. Utilisation of recycled concrete aggregates for sustainable highway pavement applications; a review. **Construction and Building Materials**, v. 235, p. 117-444, 2019.

**Prefeitura Municipal de Ceres: EDITAL DE LICITAÇÃO Nº 003/2018 MODALIDADE: TOMADA DE PREÇO.** Disponível em: <<http://acessoainformacao.ceres.go.gov.br/informacao/aditivo/id=641>>. Acesso em: 04 set. 2019.



**Prefeitura Municipal de Sete Barras: EDITAL DE CONCORRÊNCIA Nº 001/2018 PROCESSO Nº 356/2018.** Disponível em: <<http://www.transparencia.setebarras.sp.gov.br/Portal/Licitacao.aspx>>. Acesso em: 04 set. 2019.

**RECICLANIP.** Reciclanip apresenta sucesso da logística reversa dos pneus inservíveis na PneuShow 2018. Disponível em: <<http://www.reciclanip.org.br/noticia/reciclanip-apresenta-sucesso-da-logistica-reversa-dos-pneus-inserviveis-na-pneushow-2018/>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 1.ed. São Paulo: Pini, 2001.

SEST SENAT. **Cerca de 450 mil toneladas de pneus são descartados por ano no Brasil**. 2019. Disponível em: <<https://www.sestsenat.org.br/imprensa/noticia/cerca-de-450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-por-ano-no-brasil>>. Acesso em: 02 set 2019.

SILVA, G.; COÊLHO, M. F. O. Uso do asfalto borracha na pavimentação de rodovias. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 1, p. 96-117, 2018.

VEGGI, E. S.; MAGALHÃES, S. L. M. Análise Comparativa de Custos entre Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e Tratamento Superficial Duplo (TSD). **E&S - Engineering and Science**, v. 2, 2014.

ZATARIN, A. P. M.; SILVA, A. L. F.; ANEMAM, L. S.; et al. Viabilidade da pavimentação com asfalto-borracha. **Revista Gestão e Sustentabilidade ambiental**, v. 5, n. 2, p. 649-674, 2017.

