

AS VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO MÉTODO *WHITETOPPING* NA RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DETERIORADOS

Leonardo Guimarães de Sousa

Orientadora: Larissa da Silva Paes Cardoso

¹Instituição/Empresa: SENAI CIMATEC, E-mail: leonardogs90@gmail.com

²Instituição/Empresa SENAI CIMATEC, E-mail: larissa.paes@fieb.org.br

THE ADVANTAGES OF USING THE *WHITETOPPING* METHOD IN THE RECOVERY OF DAMAGED FLEXIBLE PAVEMENTS

Resumo: *Diante do atual cenário de transportes terrestres no Brasil, onde há um crescente volume de tráfego de veículos, causado pela predominância de rodovias em detrimento às ferrovias, aliado à facilidade de aquisição de automóveis, existe uma demanda cada vez mais frequente de manutenção das rodovias existentes. O constante fluxo de veículos nas estradas traz à tona o desafio de realizar as manutenções das rodovias com o mínimo de impacto no tráfego. Para isso, as manutenções devem ser rápidas e esporádicas. Características como alto desempenho e baixa necessidade de manutenção do pavimento rígido, quando comparado ao flexível, coloca esta modalidade como possível solução para minimizar as frequentes necessidades de intervenção nos pavimentos. Neste contexto, surge o conceito do whitetopping: método de reabilitação de pavimentos flexíveis através da execução de uma camada de concreto sobreposta à camada de asfalto, de forma a transformar o antigo pavimento asfáltico deteriorado em um novo pavimento de concreto. Este estudo tem como objetivo discutir a viabilidade do emprego da tecnologia whitetopping na reabilitação de pavimentos flexíveis, observando aspectos nos âmbitos técnico, econômico, social e ambiental. Trata-se de uma revisão bibliográfica baseada na literatura especializada através de consulta a livros e artigos científicos selecionados a partir de buscas. Em função das vantagens identificadas, acredita-se ser uma questão de tempo para que o whitetopping se consolide no Brasil como tecnologia utilizada na reabilitação de pavimentos flexíveis.*

Palavras-Chaves: *Pavimento rígido; whitetopping; recuperação de pavimentos; sustentabilidade; concreto.*

Abstract: *On the current scenario of ground transport in Brazil, where there is an increasing vehicles traffic volume, caused by the predominance of highways instead of railways, ally to the ease of automobiles acquisition, there is an ever-increasing demand for maintenance of highways. The constant flow of vehicles on the roads brings up the challenge of performing maintenance on the highway with the least impact on traffic. Therefore, maintenance should be quick and sporadic. The high performance and minimal maintenance of the rigid pavement, when compared to the flexible, appears as a solution to these*

frequent intervention needs. In this context, the concept of whitetopping emerges: a method of recovering flexible pavements with the use of concrete, in order to transform the old deteriorated asphalt pavement into a new concrete pavement. This article presents the advantages, in the economic, social and environmental spheres, of rigid pavement in comparison to the flexible pavement, emphasizing the feasibility of the use of concrete in the recovery of flexible pavements, known as the whitetopping method. It is a literature review based on specialized literature through consultation of books and scientific articles selected from searches. Due to the identified advantages, it is believed that it is a matter of time for whitetopping to consolidate itself in Brazil as a technology used in the rehabilitation of flexible pavements.

Keywords: *Rigid pavements; whitetopping; pavements recovery; sustainability; concrete.*

1. INTRODUÇÃO

Em um momento onde ocorre o aumento considerável do volume de tráfego, das cargas por eixo e da quantidade e dos tipos de eixos por veículos, as ruas, avenidas e estradas não podem parar, nem mesmo para manutenção. Os prejuízos à mobilidade, causados pelos problemas da rápida deterioração dos pavimentos, assim como as constantes interdições para reparos são incalculáveis. Um bom resultado em mobilidade depende diretamente da escolha de um bom pavimento [1].

As rodovias brasileiras desempenham papel vital para a economia do país. Segundo dados da Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT *apud* [1], as rodovias são responsáveis por 95% do transporte de passageiros e 61% do transporte de carga. A dependência excessiva do transporte brasileiro de carga em relação às rodovias fica evidente quando comparado com a participação das modalidades de transportes em outros países de dimensões continentais. Nos Estados Unidos, a participação das rodovias no transporte de carga é de 26%, na Austrália é de 24% e na China é de apenas 8% [2].

Segundo dados da CNT - Confederação Nacional do Transporte, entre 2001 e 2015, a extensão de estradas pavimentadas aumentou de 170.902,9km para 210.618,8km, representando um crescimento de 23%, ao passo de que a frota de veículos subiu de 31.913.003 para 90.686.936, representando um aumento de 184%, o que expõe um crescimento acentuado da relação entre veículos por rodovia. Além disso, em 2016, a CNT - Confederação Nacional do Transporte realizou uma pesquisa a fim de avaliar a condição do pavimento nas rodovias brasileiras. O resultado foi que, em 103.259 km de rodovias pavimentadas pesquisadas em todas as regiões do Brasil, 48% foram classificadas como regulares, ruins ou péssimas, sendo o restante classificadas como boas ou ótimas [3].

Uma pesquisa realizada pela Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, em 2012, mostrou que, dentro de 1000 acidentes fatais investigados no município de São Paulo, 177 ocorreram por problemas na via, sendo 26% deste valor sendo causado diretamente por problemas na pavimentação [4].

De acordo com o mapeamento realizado pelo IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, a fim de dimensionar e avaliar os gargalos e deficiências das rodovias nacionais através da análise das obras identificadas como necessárias por diversos órgãos competentes, presentes nos documentos – Plano Nacional de Logística e Transporte (PNLT), Plano Plurianual (PPA), Plano Confederação Nacional do Transportes (CNT) de Logística e Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), foi identificada a necessidade de R\$ 183,5 bilhões de reais em investimentos para sanar os problemas e impulsionar o setor rodoviário nacional, ampliando sua eficiência e seu impacto sobre a economia do país. Dentro deste montante, o mapeamento identificou a necessidade de R\$ 144,18 bilhões só em obras de recuperação, adequação e duplicação, quase 80% do total das necessidades. Estes números refletem a extensão da malha rodoviária existente no país, bem como a insuficiência da capacidade de tráfego entre as localidades atendidas por estas rodovias [2].

Esta situação traz aos gestores de redes viárias um desafio constante: reparar, recuperar, substituir ou aumentar a capacidade de carga de pavimentos já em certo estágio de degradação, sem provocar retenção do tráfego, desvios de rota e congestionamentos, que aumentam os custos de operação dos veículos e do usuário, mais os custos sociais disso decorrentes [1].

Nesse contexto, surge a tecnologia *whitetopping*: método de recuperação de pavimentos flexíveis deteriorados com a utilização do concreto, de forma a aumentar a durabilidade do pavimento e reduzir seu custo de manutenção ao longo do tempo, além de promover uma maior segurança, conforto e economia aos usuários.

O objetivo principal do trabalho é discutir a viabilidade do emprego da tecnologia *whitetopping* na reabilitação de pavimentos flexíveis, observando aspectos nos âmbitos técnico, econômico, social e ambiental.

2. METODOLOGIA

O presente artigo foi desenvolvido através de uma revisão bibliográfica baseada na literatura especializada por meio de consulta a livros, documentos publicados por instituições ligadas ao setor de transporte e artigos científicos selecionados a partir de buscas, tendo o Google Acadêmico como principal fonte de dados. A pesquisa foi realizada entre os meses de fevereiro e agosto do ano de 2017. Foram utilizadas as seguintes palavras-chave em inglês e português para a recuperação de dados: “pavimento rígido”, “*whitetopping*” e “recuperação de pavimentos”. Após a realização da busca através das palavras-chave, foram contabilizados os resultados em cada sítio. Os resultados foram submetidos à análise de dados, na qual foram excluídas teses de doutorado e dissertações de mestrado, textos de livros, repetições, artigos científicos com acesso indisponível e citações de artigos, restando apenas uma tese, alguns documentos publicados por instituições ligadas ao setor de transporte e os artigos científicos com acesso disponível.

A qualidade dos textos pesquisados foi avaliada através da pertinência dos conteúdos em relação aos assuntos abordados neste trabalho.

3. PAVIMENTO RÍGIDO E FLEXÍVEL

O pavimento é uma estrutura construída após a terraplenagem, com o objetivo de resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais originados pelo tráfego de veículos, a melhorar o conforto e a segurança de rodagem e a resistir aos esforços horizontais, tornando mais durável a superfície de rolamento [5].

O pavimento é composto de dois elementos: a capa ou revestimento, que fica em contato direto com o pneumático; e a base, que resiste e distribui os esforços verticais, fazendo com que a pressão aplicada no subleito seja bem inferior àquela aplicada no revestimento [6].

De forma geral, os pavimentos são classificados em dois tipos: rígidos ou flexíveis, de acordo com o material utilizado na sua camada de revestimento. Os pavimentos flexíveis são os que utilizam materiais betuminosos como revestimento, e os rígidos são os pavimentos que são revestidos com concreto de cimento Portland [7].

A principal diferença entre os pavimentos rígido e flexível, em termos funcionais, reside no fato de que as cargas aplicadas no pavimento flexível tendem a criar um campo de tensões mais concentrado junto ao ponto de aplicação das mesmas, enquanto que no pavimento rígido, o campo de tensões é mais distribuído pela extensão da placa, transferindo um esforço menor ao subleito, quando comparado com o pavimento flexível, como ilustra a Figura 1. Isto ocorre devido ao fato de que o concreto, além de ser utilizado como camada de rolamento do pavimento, serve também como camada resistente aos esforços solicitantes, atenuando assim as tensões transmitidas até as camadas inferiores. Já no pavimento flexível, o revestimento serve apenas como camada de rolamento, sendo as outras camadas (base, sub-base e reforço do subleito) responsáveis por absorver toda a carga proveniente do tráfego [8].

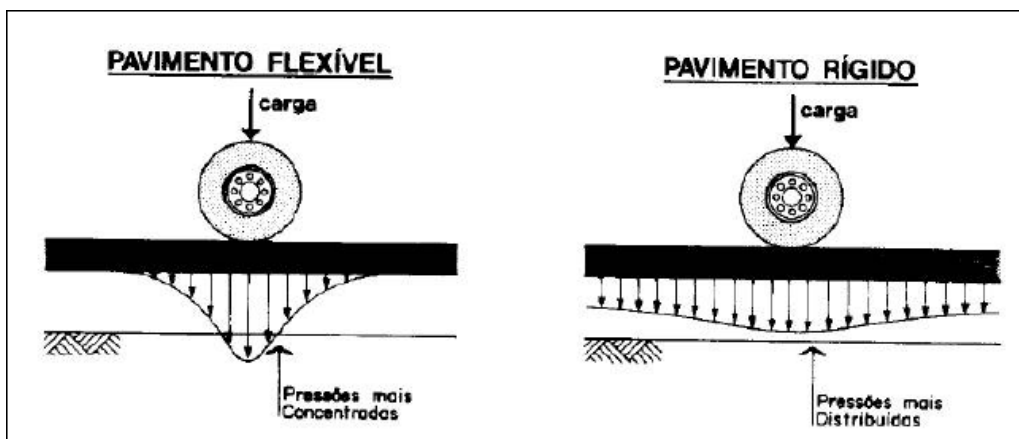


Figura 1: Distribuição de tensões em estruturas de pavimento - Fonte: BALBO 1993 [8]

4. WHITETOPPING

Whitetopping é um pavimento de concreto de cimento Portland superposto a um pavimento flexível existente. O pavimento *whitetopping* se comporta como qualquer outro pavimento rígido comum, onde as tensões solicitantes são resistidas tão somente pelo próprio concreto, tendo o antigo pavimento flexível como sub-base [9].

O pavimento *whitetopping* consiste em uma camada rígida de reforço para reabilitação de pavimentos asfálticos, executada com concreto de cimento Portland. O pavimento flexível existente passa a exercer a função de sub-base do novo pavimento rígido, este sendo executado em placas de concreto limitadas por juntas longitudinais e transversais [7].

A técnica consiste basicamente em aplicar o concreto diretamente sobre o pavimento antigo, sendo exigido preparo prévio apenas nos casos onde o

pavimento apresente avançado estágio de deterioração funcional ou estrutural, o que requer a correção dos defeitos - através da fresagem ou, nos piores casos, da execução de uma camada de nivelamento - antes da aplicação do concreto [10].

O pavimento *whitetopping* pode ser do tipo “*overlay*”, quando ele é aplicado sobre um pavimento flexível, e “*inlay*”, quando for encaixado no pavimento, demolindo parcialmente o pavimento flexível antigo [11].

Os tipos mais modernos de pavimento *whitetopping* são classificados pela espessura e pela aderência com o pavimento asfáltico. Três categorias distintas podem ser encontradas [12]:

- *Whitetopping* convencional: uma camada de concreto de 200 mm ou mais, sobreposta ao pavimento asfáltico sem nenhuma aderência entre as duas camadas;
- *Thin Whitetopping* (TWT): camada com 100 mm ou mais de espessura podendo ou não ser aderida ao pavimento asfáltico sobreposto;
- *Ultra-thin Whitetopping* (UTW): com a espessura menor ou igual a 100 mm, este modelo deve ser aderido ao pavimento asfáltico sobreposto.

4.1. Pavimento *Whitetopping* convencional

O *whitetopping* convencional consiste na aplicação de uma camada de concreto sobre um pavimento asfáltico deteriorado, com o objetivo de recuperar e aumentar a sua vida útil. O seu funcionamento ocorre sem a aderência entre a camada de concreto e a sub-base, permitindo a livre movimentação entre ambas as camadas. A espessura do pavimento pode variar de acordo com as necessidades de projeto e volume do tráfego, em geral acima de 150 mm [7].

Apesar da espessura elevada do *whitetopping* convencional exigir números menores de barras de transferência de carga, aditivos com fibras e permitir um maior espaçamento entre juntas de dilatação, além de oferecer um menor custo de manutenção a longo prazo, esta modalidade tem um custo de ciclo de vida mais elevado quando comparado a opção TWT, como podemos ver na Figura 3 [12].

4.2. *Thin Whitetopping* (TWT) e *Ultra-Thin Whitetopping* (UTW)

Em meados da década de 1980, o conceito da ligação entre o concreto e o asfalto, na execução do *whitetopping*, começou a ser considerada e introduzida nas construções, principalmente por meio da prévia fresagem do asfalto, afim de criar uma ponte de aderência entre as camadas, e revogando antigas práticas, que incluíam eventualmente a aplicação de substâncias para reduzir a aderência entre o concreto e o asfalto [12].

Como mostra a Figura 2, uma vez que existe a conexão entre o concreto e o asfalto, os esforços na superfície do concreto são significativamente

reduzidos quando comparados a situação de não ligação entre as camadas. Além disso, a maior parte do concreto sofre compressão, tendo os esforços de tração reduzidos, o que permite o projeto de pavimentos menos espessos do que no método convencional sem perda de desempenho, surgindo assim os métodos TWT e UTW [12].

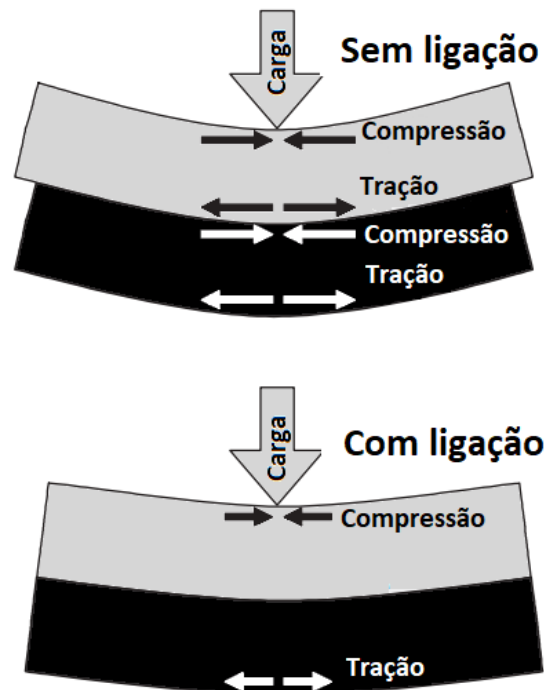


Figura 2: Comportamento do pavimento sob carga vertical - Fonte: [12]

Uma análise de custos realizada pela NCHRP – *National Cooperative Highway Research Program*, após avaliar a experiência de execução do pavimento *whitetopping* em diversos estados dos EUA, revelou a variação do custo do ciclo de vida do pavimento *whitetopping* de acordo com diferentes espessuras da camada de concreto, afim de definir qual dimensão do revestimento traz menos despesas financeiras ao longo do tempo. Enquanto o *whitetopping* convencional tem baixa necessidade de manutenção, o seu alto custo inicial comparado ao TWT e UTW faz com que seu valor final seja mais alto que outras opções menos espessas. Por outro lado, versões muito delgadas exigem maior custo de manutenção, apesar de baixo custo inicial. A espessura que obteve um valor final mais rentável foi a de 150 mm, representado pela categoria *Thin-Whitetopping*, como mostra a Figura 3 [12].

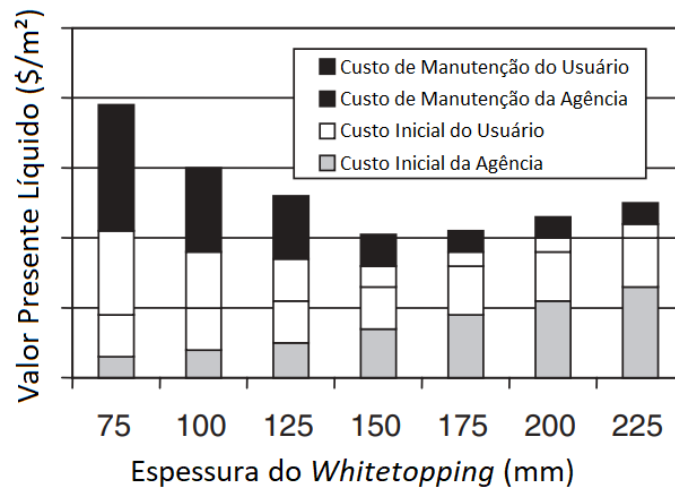


Figura 3: Comparação do custo do ciclo de vida do whitetopping de acordo com a espessura da camada de concreto - Fonte: [12]

Segundo o Departamento de Transporte de Colorado, EUA (CDOT – *Colorado Department of Transportation*), com um projeto e execução adequados, os pavimentos TWT e UTW atingem desempenhos satisfatórios para aplicações específicas e longo tempo de serviço com baixa necessidade de manutenção. Para o UTW, as aplicações se limitam a vias de pequeno fluxo. Já o TWT é o modelo de *whitetopping* mais utilizado pelas agências de pavimentação norte americanas no recapeamento de estradas [13].

Após anos de experiência, estudos e testes realizados, a CDOT faz as seguintes recomendações para o projeto e execução de um TWT de qualidade [13]:

- A aderência entre a capa de concreto e o asfalto pré-existente é essencial para o bom desempenho do sistema;
- A fresagem do asfalto seguido de uma completa limpeza é recomendada para aumentar a aderência entre as camadas. Uma boa aderência obtida através da fresagem pode diminuir a tensão no concreto do TWT em cerca de 25 por cento;
- O concreto não adere bem a um pavimento asfáltico novo. Portanto, a aplicação do TWT não é recomendada em pavimentos asfálticos recém construídos;
- É recomendada uma espessura mínima de pavimento asfáltico de 75 mm após a fresagem;
- Espessura da capa de concreto entre 100 e 150 mm, variando de acordo com o tráfego de caminhões na região;
- Espaçamento entre juntas transversais e longitudinais de 1,8 m;
- Resistência do concreto similar ao de pavimento de concreto convencional;
- Barras de transferência de carga nas juntas longitudinais, espaçadas a cada 900mm;

- Cura do concreto e selagem das juntas de acordo com os métodos de pavimentos de concreto convencional.

5. VANTAGENS DA APLICAÇÃO DO *WHITETOPPING*

5.1. Avaliação Dos Aspectos Técnicos

É comum no Brasil a construção de rodovias de asfalto, cujo preço, em geral, é inferior ao pavimento em concreto. Contudo, os pavimentos flexíveis sofrem deformações constantes devido às cargas e ao clima brasileiro, o que reduz a durabilidade e o desempenho destas estradas. Apesar de, em alguns casos, representarem um maior custo inicial quando comparados ao pavimento asfáltico, rodovias em concreto apresentam alta durabilidade, e chegam a apresentar custos de manutenção até 85% mais baixos que os pavimentos flexíveis [2].

Existem outras vantagens técnicas inerentes ao pavimento de concreto: maior segurança e redução na frenagem dos veículos em até 40% – em superfície molhada –, redução de até 20% do consumo de combustível destes mesmos veículos, economia entre 30% e 60% no gasto com energia elétrica na iluminação, devido à superfície clara oferecida pelo concreto e a inexistência de deformações plásticas [2].

O pavimento *whitetopping* é uma solução definitiva, com vida útil prevista de no mínimo 30 anos. Há casos de rodovias de pavimento de concreto, como a Rodovia Itaipava – Teresópolis, operar durante mais de 70 anos sem nenhuma necessidade de recapeamento [11].

5.2. Avaliação dos aspectos econômicos

O custo total rodoviário engloba, além dos custos de construção, manutenção e operação de uma rodovia, os custos do usuário, relacionados a acidentes, tempo de viagem, poluição e custo operacional dos veículos, como se pode ver com mais detalhes na Figura 4:

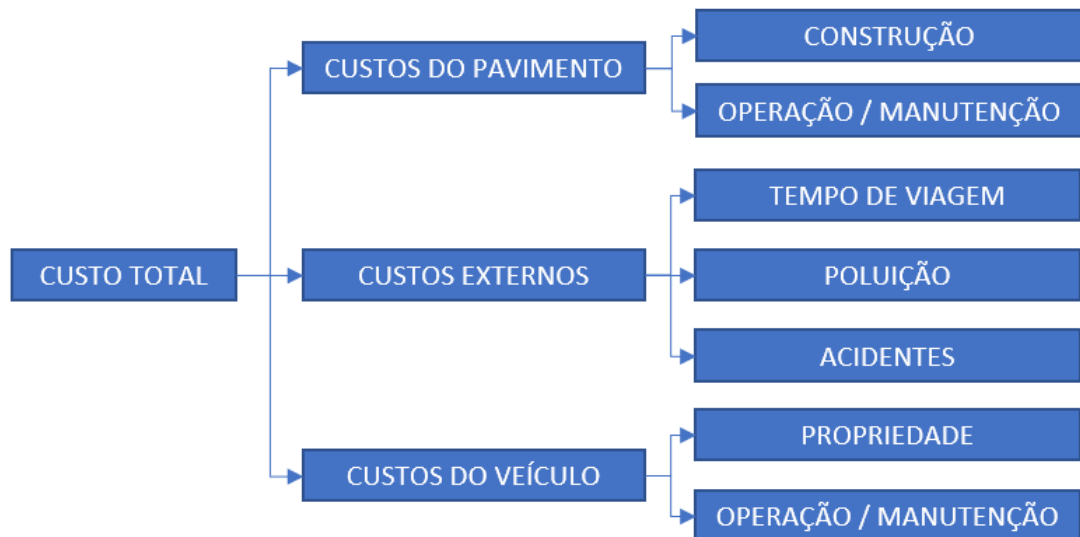


Figura 4: Composição do custo rodoviário total, segundo o Banco Mundial - Fonte: ABCP [11]

Diante da inexistência de critérios claros de comparação entre os custos de implantação do pavimento flexível e pavimento rígido, a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) *apud* [14], juntamente com um parceiro na área de projeto viários, desenvolveu uma ferramenta de comparação entre as alternativas de pavimentação quanto ao custo de implantação.

Para se estabelecer um custo unitário de pavimentação, as estruturas de cada pavimento foram definidas a partir da intensidade e composição do tráfego solicitante e nas condições de suporte da fundação [14].

A Tabela 1 mostra o custo unitário, incluindo materiais e serviço, da implantação de uma seção-tipo de pavimento de concreto ou asfalto, com 7 m de largura e 1km de extensão, variando de acordo com o Volume Médio Diário comercial (VMDc). O VMDc – Volume Médio Diário comercial, é o número médio de veículos que percorre uma seção ou trecho de uma rodovia, por dia, durante um certo período. Quando não se especifica o período considerado, pressupõe-se que se trata de um ano [15]. Os custos unitários de construção considerados foram retirados da tabela de preços unitários do Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo - DER/SP (data-base: março/2013) e aplicados nas estruturas calculadas (valor em reais), em cada sistema construtivo [14].

Tabela 1. Resumo de custos de construção (Fonte: [14])

VMDc	CONCRETO	ASFALTO
500	R\$ 1.066.000,40	R\$ 791.484,50
750	R\$ 1.104.463,30	R\$ 938.046,27
2000	R\$ 1.104.463,30	R\$ 1.138.449,29
3500	R\$1.142.926,20	R\$ 1.285.548,61
5000	R\$ 1.181.389,10	R\$ 1.341.571,64
10000	R\$ 1.219.852,00	R\$ 1.532.054,61

A Tabela 2 fornece a análise comparativa dos custos de construção das alternativas estudadas, tomando-se o custo do concreto como 100% e a porcentagem negativa do custo do asfalto representando uma desvantagem financeira comparada ao concreto, a partir do VMDc de 2000.

Tabela 2. Análise comparativa de custos de construção (Fonte: [14])

VMDc	CONCRETO	ASFALTO
500	100%	26%
750	100%	15%
2000	100%	-3%
3500	100%	-12%
5000	100%	-14%
10000	100%	-26%

Considerando as informações expostas nas Tabelas 1 e 2, percebe-se que o custo de implantação de um pavimento de concreto é viável financeiramente quando o Volume Médio Diário de uma rodovia é maior do que dois mil.

Segundo o DNIT, de acordo com o Plano Nacional de Contagem de Tráfego, em 2016, dos 221 postos de controle espalhados pelas rodovias federais ao longo do ano, 201 mostraram um VMDc acima de 2000, equivalente a 91% das rodovias estudadas [16].

Para uma saúde financeira dos órgãos públicos, deve-se analisar não só o custo inicial da pavimentação, e sim o seu custo final, que é representado pelo custo inicial mais o custo de manutenção. A análise comparativa da viabilidade técnica e econômica de projetos de pavimentos rígidos e flexíveis tem comprovado que, a médio e longo prazo, o pavimento de concreto gera um menor custo anual, considerando sua durabilidade e baixa necessidade de manutenção [17].

Um estudo de viabilidade para a implantação e manutenção de um corredor metropolitano foi realizado pela Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo (EMTU-SP), expondo o pavimento asfáltico com um custo de construção 4,1% mais elevado do que o pavimento de concreto. Além disso, após 20 anos de uso, o valor presente do pavimento flexível seria de 29% maior do que o do pavimento rígido. Um estudo similar, também realizado pela EMTU-SP, mostra esta diferença crescendo de 0,37% para 31,13% no mesmo período estudado. Este aumento na diferença de valores se deve, principalmente, a maior necessidade de manutenção que o pavimento flexível tem em comparação ao rígido. Estes estudos de viabilidade realizados pela EMTU-SP, expõem a necessidade de manutenção no pavimento asfáltico aproximadamente a cada 6 anos, enquanto o pavimento rígido não necessitou de manutenção durante o período de 20 anos estudado [18].

Uma outra análise comparativa de custos foi conduzida pela CDOT (*Colorado Department of Transportation*), analisando o custo do ciclo de vida de um pavimento, comparando o seu recapeamento asfáltico ou em TWT. Considerando apenas o preço de projeto, os custos de ambos foram equivalentes. Entretanto, após considerar um recapeamento com uma camada de asfalto de 50 mm a cada 10 anos e um recapeamento de concreto com uma camada de 10 mm a cada 20 anos (ambos os valores baseados na experiência técnica real vivida em Colorado, EUA), o custo do ciclo de vida do pavimento fica 11% mais barato se recuperado de acordo com o modelo TWT [13].

Pode-se concluir que, independentemente dos custos iniciais, a alternativa de pavimentação rígida pode ser viabilizada a médio prazo através do seu baixo custo de manutenção.

5.3. Avaliação dos aspectos sociais

O setor de transportes é de fundamental importância para o desenvolvimento socioeconômico de um país, uma vez que este é um Capital Social Básico, que influencia diretamente no desenvolvimento dos setores de produção primário, secundário e terciário [17].

As condições funcionais de uma rodovia influenciam diretamente no custo operacional dos veículos (custo de consumo de combustível e depreciação de pneus e peças do automóvel), de forma que, uma rodovia com baixo índice de condição funcional, ou seja, muito irregular, irá resultar em um alto custo operacional dos veículos que circularão sobre ela. Sabendo que a condição funcional de uma rodovia pavimentada com concreto tem uma variação muito pequena ao longo do seu período de utilização, o custo operacional da frota circulante sobre ele será muito menor do que aquele previsto para uma pavimentação flexível [11].

A rodovia, modalidade de transporte mais usada no Brasil, foi o setor mais afetado pelas crises econômicas vividas pelo país nos últimos 15 anos. Uma pesquisa conduzida pela Confederação Nacional do Transporte (CNT), em 2016, acerca das condições das rodovias brasileiras, mostrou que, num total de 103.259km levantados, 55,6% da extensão pesquisada apresentavam

algum grau de imperfeição, sendo que 12,9% foram classificados entre ruins e péssimos [3].

Estudo realizado por técnicos do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e da Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT) apontam que as más condições das nossas vias geram um aumento significativo no custo social, representados pelos seguintes números [19]:

- Elevação de 38% nos custos operacionais dos veículos;
- Aumento em até 58% no consumo de combustíveis;
- Aumento em até 50% no índice de acidentes;
- Aumento de até 100% no tempo de viagem.

Segundo o Observatório Nacional de Segurança Viária (ONSV), em 2018, os acidentes de trânsito no Brasil apresentam as seguintes estatísticas [20]:

- De 1998 a 2015, 662.219 pessoas perderam a vida em acidentes de trânsito;
- É estimado que para cada pessoa que perde a vida em acidente de trânsito, outras 8 a 10 ficam com lesões ou sequelas permanentes;
- Custo estimado dos acidentes de trânsito é cerca de R\$ 36 bilhões por ano.

Assim, a adequação e a durabilidade da pavimentação das rodovias cumprem papel fundamental no sentido de minimizar estes impactos na sociedade, reduzindo o custo social e garantindo segurança e conforto ao usuário. O pavimento de concreto detém características que oferecem mais segurança aos usuários, como redução na distância de frenagem, maior visibilidade devido a maior capacidade de reflexão, ausência de deformações plásticas e maior durabilidade, e que poderiam vir a reduzir as estatísticas relacionadas a acidentes, custos aos usuários e aos cofres públicos e maior qualidade no rolamento [17].

O pavimento de concreto oferece um aumento de segurança ao usuário devido ao fato de que a sua superfície clara tem maior capacidade de reflexão da luz, melhorando significativamente a visibilidade dos motoristas, principalmente à noite, em dias chuvosos [11]. Uma pesquisa realizada pela Companhia de Engenharia de Tráfego – CET, em 2012, mostrou que, em 1000 acidentes fatais investigados no município de São Paulo, 32 ocorreram diretamente por deficiências na iluminação [4].

O trabalho desenvolvido por Pace e Becker, *apud* [11], da Argentina, intitulado “*Costo de pavimentos a lo largo de su vida útil*”, apresenta a economia de iluminação pública devido à capacidade de reflexão da luz dos pavimentos de concreto. Segundo este trabalho, existe uma redução de consumo energético de 38%, quando se usa o concreto ao invés do asfalto. Já o trabalho de Richard Stark *apud* [11], dos EUA, intitulado “*Road surface’s reflectance influences lightning design*”, é previsto uma economia da ordem de 30% na iluminação pública quando se substitui o asfalto pelo concreto [11].



Figura 5: Diferença de reflexão de luz do concreto para o asfalto na BR-290, Rio Grande do Sul. Fonte: [11]

Outra vantagem importante do pavimento de concreto relativa à segurança do usuário é a significativa redução na distância de frenagem, devido ao fato de que nos pavimentos de concreto a aderência dos pneus à superfície de rolamento é bastante elevada. Segundo Ruhl, R.L. (1990), *apud* [17], em seu trabalho “*Safety considerations of rutted and washboarded asphalt road*”, a distância de frenagem de um veículo de passeio a 95 km por hora, em condição de pista molhada, foi reduzida de 134 metros, na pista de asfalto com trilha de roda (deformações plásticas que criam depressões e elevações na via), para 96m, na pista de concreto (que não sofre deformações plásticas, portanto não existe a manifestação patológica de trilha de roda), correspondendo a uma redução de 40% na distância de frenagem, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Análise comparativa entre distâncias de frenagem em pavimentos rígidos e flexíveis (Fonte: [17]).

MENOR DISTÂNCIA DE FRENAGEM			
Condição de Superfície	Distância de Frenagem (m)		
	CONCRETO	ASFALTO	A/C (%)
Seca e Nivelada	50	58	16
Úmida e Nivelada	96	109	14
Úmida com Trilha de Roda	96	134	40

Segundo um estudo conduzido pelo Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá, os automóveis que circulam em pavimentos rígidos consomem menos combustível do que em pavimentos flexíveis. Esta economia pode chegar a faixa de 17%, pois o pavimento de concreto oferece menor resistência ao rolamento, exigindo menor esforço da parte mecânica dos veículos devido à sua superfície rígida, indeformável e estável [11].

A ABCP expõe a estimativa de economia anual de combustível em uma rodovia de concreto de 16 km de extensão, em comparação a uma rodovia de asfalto, como mostra a Tabela 4 [11].

Tabela 4. Economia estimada de combustível para cada tipo de automóvel em trechos rodoviários de concreto (em comparação com o asfalto) - Fonte: ABCP *apud* [11].

TIPO DE VEÍCULO	PORCENTAGEM DO TRÁFEGO	ECONOMIA ESTIMADA DE COMBUSTÍVEL (LITROS/ANO)
Automóveis	70	0
Caminhonetes (Picapes)	12	227.970
Caminhões Médios e Leve (2 Eixos)	3	155.564
Caminhões Pesados (3 Eixos)	1	120.552
Reboques e Semi-Reboques (24 Eixos)	14	1.933.378
Total	100	2.437.464

5.4. Avaliação dos aspectos ambientais

A superfície clara do concreto contribui para a redução da temperatura ambiente, reduzindo assim gastos de energia com ar condicionado, conforme demonstram os estudos do “*Heat Island Group*”, dos EUA, relacionado às “*Cool Communities*”, que afirmam que o uso do pavimento de concreto e o plantio de árvores podem reduzir até 5 graus Celsius a temperatura média de um ambiente. A temperatura na superfície do pavimento de concreto é inferior em até 14 graus Celsius quando comparadas com o pavimento asfáltico [11].

Como visto no item 5.3., a economia de combustível dos automóveis ao trafegarem pelo pavimento de concreto também é um fator positivo para o meio ambiente, tendo em vista que desta forma serão reduzidos os gases emitidos à atmosfera. Segundo a *American Concrete Pavement Association (ACPA)* *apud* [17], em uma via arterial principal típica de concreto, com 100km de extensão e por onde passam uma frota de 20 mil veículos por dia, sendo 15% do tipo caminhão reboque, há uma redução anual de emissão média de 5000 toneladas de CO₂, 56,7 toneladas de óxidos de nitrogênio e 7,17 toneladas SO₂ em relação ao asfalto.

Outra vantagem apresentada pelo pavimento de concreto em prol ao meio ambiente, é que o principal insumo do concreto é o cimento, e o uso de cimento, se comparado ao asfalto, pode reduzir o impacto no meio ambiente por meio de coprocessamento e das adições na sua produção industrial. O

coprocessamento consiste na destruição térmica de resíduos industriais indesejáveis, com alto poder energético (valor calorífico) em fornos de cimento, sem prejudicar a qualidade final do produto [21]. Já as adições são o aproveitamento de resíduos industriais na composição do cimento, dando-lhe características técnicas especiais, como durabilidade das estruturas, resistências aos meios agressivos, etc. Alguns exemplos são a escória siderúrgica, cinza volante e pozolanas [22]. Além dos exemplos citados, ainda é possível adicionar resíduos na produção de concreto. Como exemplo, pode-se citar o concreto com adição de pneu inservível, concreto sustentável que foi desenvolvido na Universidade de Uberaba (UniUbe), que tem em sua composição parte da areia substituída por pneus triturados, sem grandes perdas na resistência final da mistura.

Por fim, a energia empregada para a produção de um pavimento asfáltico é entre 31% e 81% maior do que para um pavimento de concreto [23].

6. CONCLUSÃO

O cenário do sistema rodoviário brasileiro expõe uma vasta predominância do pavimento flexível em detrimento ao rígido. Além disso, a principal modalidade de transporte no território brasileiro são as rodovias, o que faz com que a maior parte do comércio e escoamento de produtos e mercadorias seja transportada por caminhões, gerando um tráfego pesado e intenso.

O acentuado crescimento do número de veículos comerciais ocorrido nas últimas décadas fez com que a infraestrutura de muitos pavimentos se tornasse obsoleta para suportar a frota de veículos existente, o que contribuiu para a deterioração precoce de grande parte da rede viária brasileira. Desta forma, elevou-se a frequência da necessidade de manutenção das estradas do país, provocando por sua vez não só um custo adicional aos cofres públicos, mas também mais insegurança aos usuários.

A degradação dos pavimentos causa grandes prejuízos aos cofres públicos, seja pela necessidade de recuperação destes pavimentos, pela perda de mobilidade ou pelo aumento de gastos com saúde pública, relacionado ao aumento da insegurança viária causada pelas más condições das vias.

Tendo em vista as vantagens apresentadas ao longo deste artigo, as estradas brasileiras podem ser reabilitadas através da tecnologia *whitetopping*, uma vez que se trata de uma excelente solução, tanto sob o aspecto técnico e econômico, quanto o ambiental e social, principalmente no caso de rodovias submetidas a tráfego intenso e pesado de veículos comerciais, em que as soluções tradicionais do pavimento flexível não desempenham satisfatoriamente o resultado esperado.

7. REFERÊNCIAS

- ¹ DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Governar é Abrir Estradas**. 1ª Ed., São Paulo, 2009.
- ² IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Comunicado do Ipea nº 52: Rodovias brasileiras: gargalos, investimentos, concessões e preocupações com o futuro**. 2010, 60p.
- ³ CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Anuário CNT do Transporte**. 2017. Disponível em: <<http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2017/Inicial>> Acesso em: 12 de dezembro de 2017.
- ⁴ CET – Companhia de Engenharia de Tráfego. **1000 Relatórios de Investigação de Acidente Fatal em São Paulo**. Boletim Técnico nº 53. São Paulo, 2012, 50p.
- ⁵ DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem: **Glossário de Termos Técnicos Rodoviários**. Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/..%5Carquivos_internet%5Cipr%5Cipr_new%5Cmanuais%5CDNER-700-GTTR.pdf> Acesso em: 21 de maio de 2018.
- ⁶ SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: PINI, 1997.
- ⁷ DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes. **Manual de Pavimentos Rígidos**. 2ª Ed., Rio de Janeiro, DNIT, 2005.
- ⁸ BALBO, J. T. **Estudo das Propriedades Mecânicas das Misturas de Brita e Cimento e sua Aplicação nos Pavimentos Semi-Rígidos**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1993. 181p.
- ⁹ DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **DNIT 068/2004 – Pavimento Rígido – Execução de camada superposta de concreto do tipo whitetopping por meio mecânico – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2004, 17p.
- ¹⁰ PITTA, M. R. **Whitetopping – A evolução de um conceito**. In: Congresso Brasileiro de Cimento, 4., 1996, São Paulo.
- ¹¹ CARVALHO, Marcos Dutra de. **Pavimento e concreto: reduzido a custo social**. São Paulo, ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, 2007. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/wp-content/uploads/2013/02/2007_Artigo_Pavimento-de-concreto_Reduzindo-o-custo-social.pdf>. Acesso em 24/04/2017
- ¹² National Cooperative Highway Research Program. **NCHRP Synthesis 338 - Thin and Ultra-thin Whitetopping: a Synthesis of Highway Practice**., National Academie Of Sciences, Washington, D.C., 2004.
- ¹³ YU, H. T.; TAYABJI, S. TechBrief: Thin Whitetopping – the Colorado Experience. Federal Highway Administration's, 2007.
- ¹⁴ CROSARA, F. C., VIZZONI, R., CARVALHO, M. D. **Escolha da Melhor Alternativa de Pavimentação**. Rodovias & Vias. Curitiba/PR, p. 94-95, Ano 14, Ed. 80/2013.

- ¹⁵ DNER – Departamento Nacional de Estradas De Rodagem. **Glossário de termos técnicos rodoviários**. Rio de Janeiro, 1997. 296p.
- ¹⁶ DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes. **Plano Nacional de Contagem de Tráfego**. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/ContagemContinua>>. Acesso em 30/08/2017.
- ¹⁷ CARVALHO, M. D. de. **Vantagens e Benefícios do Whitetopping e do Inlay na Reabilitação de Pavimentos**. São Paulo, ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, 2012.
- ¹⁸ VIZZONI, R. **Seminário: Pavimento de Concreto: Solução Sustentável e Custo Competitivo**. II Seminário ABCIC/IBRACON de Infraestrutura Viária e Mobilidade Urbana. São Paulo, 2015.
- ¹⁹ CNT - Confederação Nacional dos Transportes. **Revista CNT**. Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2018.
- ²⁰ ONSV - Observatório Nacional de Segurança Viária. **20 Anos do CTB – Acidentes de Trânsito Custaram R\$ 36 Bilhões por Ano**. 01 de fevereiro de 2018. Disponível em: <<https://www.onsv.org.br/20-anos-do-ctb-acidentes-de-transito-custaram-r-36-bilhoes-por-ano/>> Acesso em: 19 de fevereiro de 2018.
- ²¹ ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Panorama do Coprocessamento - Brasil 2016**. São Paulo, 2016.
- ²² VIZZONI, R. **Seminário: O pavimento de concreto no modal nacional de transportes – uma realidade consolidada**. Concrete Show, 2009.
- ²³ VANGEEM, M., GAJDA, J. **Life Cycle Cost and CO2 Issues for Concrete Pavement**. CTLGroup Project No. 312114, 2008. Disponível em: <https://www.nrmca.org/taskforce/Item_2_TalkingPoints/Sustainability/Sustainability/312114%20Rosenfeld%20Pavement%20LCC%20LCA-%202008%2002%2015.pdf> Acesso em: 21 de maio de 2018.