



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

**COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES
 RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY BETWEEN RIGID
 AND FLEXIBLE ROAD PAVEMENTS**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE PAVIMENTOS
 RÍGIDOS Y FLEXIBLES**

Maicon Christian da Silva Petronio¹, Sandra Fabiana Rodgher², Fabiana Florian³

e5115877

<https://doi.org/10.47820/recima21.v5i11.5877>

PUBLICADO: 11/2024

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa da viabilidade técnica e econômica entre pavimentações rígidas (concreto) e flexíveis (asfalto), com foco em durabilidade, custo de implantação e manutenção, além de desempenho em diferentes climas e sustentabilidade. Foi realizada pesquisa qualitativa, bibliográfica e comparativa entre os tipos de pavimentos. Os pavimentos rígidos, apesar do maior custo inicial, oferecem vantagens econômicas a longo prazo devido à durabilidade e menores custos de manutenção. Por outro lado, pavimentos flexíveis apresentam menor custo inicial e maior adaptabilidade a diferentes condições, mas exigem manutenções mais frequentes e custosas. A escolha entre os dois tipos de pavimento deve considerar o volume de tráfego, condições climáticas e a disponibilidade de recursos locais.

PALAVRAS-CHAVE: Análise econômica. Infraestrutura rodoviária. Pavimentação flexível. Pavimentação rígida. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This work presents a comparative analysis of technical and economic feasibility between paving rigid (concrete) and flexible (asphalt), focusing on durability, implementation and maintenance costs, as well as performance in different climates and sustainability. Qualitative, bibliographic and comparative research was carried out between types of pavements. The rigid pavements, despite the higher initial cost, offer long-term economic advantages due to durability and lower maintenance costs. On the other hand, flexible pavements have a lower initial cost and greater adaptability to different conditions, but they demand more frequent and costly maintenances. The choice between the two types of pavement must consider the volume of traffic, climatic conditions and the availability of local resources.

KEYWORDS: Economic analysis. Road infrastructure. Flexible paving. Rigid paving. Sustainability.

RESUMEN

Este trabajo presenta un análisis comparativo de la viabilidad técnica y económica entre pavimentos rígidos (hormigón) y flexibles (asfalto), centrándose en la durabilidad, los costos de implementación y mantenimiento, así como el desempeño en diferentes climas y la sostenibilidad. Se realizó una investigación cualitativa, bibliográfica y comparativa entre los tipos de pavimentos. Los pavimentos rígidos, a pesar del mayor costo inicial, ofrecen ventajas económicas a largo plazo debido a su durabilidad y menores costos de mantenimiento. Por otro lado, los pavimentos flexibles tienen un menor coste inicial y una mayor adaptabilidad a diferentes condiciones, pero requieren un mantenimiento más frecuente y costoso. La elección entre los dos tipos de pavimento debe considerar el volumen de tráfico, las condiciones climáticas y la disponibilidad de recursos locales.

PALABRAS CLAVE: Análisis económico. Infraestructura Vial. Pavimentos flexibles. Pavimento rígido. Sostenibilidad.

¹ Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara - UNIARA. Araraquara-SP.

² Orientadora. Docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara - UNIARA. Araraquara-SP.

³ Coorientadora. Doutora em Alimentos e Nutrição. Docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Araraquara - UNIARA. Araraquara-SP.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

1. INTRODUÇÃO

A pavimentação é a parte fundamental da infraestrutura rodoviária de qualquer país, contribuindo efetivamente para o seu crescimento econômico por proporcionar o deslocamento de pessoas e mercadorias. O pavimento é formado por camadas de diferentes materiais de forma a fornecer segurança e conforto aos usuários (Cavalet, 2019, p. 1).

A escolha técnica entre pavimentações rígidas (geralmente em concreto) e flexíveis (frequentemente asfálticas) não apenas influencia a eficiência e segurança das vias, mas também tem implicações financeiras significativas a longo prazo, sendo fundamental para o desenvolvimento sustentável, eficiente e seguro das infraestruturas rodoviárias.

Segundo a Confederação Nacional dos Transportes – CNT (2023), 67,5% das rodovias brasileiras têm sua extensão classificada como regular, ruim ou péssima, enquanto 32,5% foram classificadas como ótima ou boa. Os percentuais demonstram uma relativa estabilidade no estado geral da malha rodoviária brasileira, em comparação com os resultados do ano de 2022, que apresentavam, respectivamente, 66% e 34% para os mesmos níveis de classificação.

Infelizmente houve uma redução de 4,5% no orçamento para investimentos em infraestrutura, em comparação ao ano de 2023.

A CNT trabalha para viabilizar um aumento na dotação, por meio de emendas para intervenções prioritárias em 2024, em consonância com as prioridades do transporte e da logística do país (CNT, 2023, s/n).

Considerando tais aspectos, e que, o investimento em infraestrutura rodoviária é significativo e tem um impacto direto nos recursos públicos, este trabalho tem o objetivo de comparar a viabilidade técnica e econômica entre pavimentações rígidas e flexíveis. Este trabalho permitirá auxiliar os tomadores de decisão a alocarem recursos de forma assertiva e eficaz, além de estimular o desenvolvimento de pavimentos seguros, duráveis e eficientes a longo prazo.

No Brasil, a malha rodoviária sofre um problema crônico, que é a baixa qualidade e a necessidade constante de manutenções. De acordo com a CNT (2023), a infraestrutura rodoviária brasileira é fator determinante para o crescimento do país.

A infraestrutura brasileira é fator determinante para o crescimento do país. Nesse cenário, o setor de transporte ocupa posição de destaque, dado o impacto direto que exerce sobre o desenvolvimento socioeconômico nacional. São as rodovias brasileiras, sobretudo, que possibilitam o acesso a bens de toda natureza, além da expansão de mercados e da movimentação de cargas e de passageiros. O transporte rodoviário vive um constante desafio: manter o Brasil em movimento, mesmo com uma malha rodoviária ainda de baixa qualidade. Tal cenário é reflexo da falta de investimentos na infraestrutura de transporte ao longo das últimas décadas (CNT, 2023, s/n).

A hipótese desta pesquisa é que as pavimentações rígidas sejam mais vantajosas em termos de durabilidade e manutenção a longo prazo, enquanto as pavimentações flexíveis possam ser mais econômicas em termos de custos iniciais e adaptação a variações do terreno. Entretanto, a viabilidade



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

técnica e econômica pode variar dependendo de fatores como o volume de tráfego, condições climáticas e a disponibilidade de materiais locais.

Foi realizada pesquisa qualitativa, bibliográfica e comparativa sobre o método construtivo de pavimentações rígidas e flexíveis, com foco na viabilidade técnica e econômica. Foram pesquisadas as bases de dados *Scielo* e Google Acadêmico, a fim de comparar as pavimentações (rígidas e flexíveis), bem como, a aplicação de métodos de análise econômica (análise custo-benefício) e análise técnica (método construtivo e vida útil).

2. REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção apresenta uma revisão da literatura pertinente sobre os principais aspectos relacionados às pavimentações rodoviárias rígidas e flexíveis, incluindo suas características técnicas, estruturais e desempenho, além de um comparativo histórico que analisa a porcentagem de implantação e condições atuais de ambos os pavimentos.

2.1 Estrutura do Pavimento

De acordo com Bernucci *et al.* (2010), o pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas (revestimento, base, sub-base, reforço de subleito e subleito), construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços resultantes do tráfego de veículos e do clima, e a garantir aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto no deslocamento, economia e segurança.

As camadas do pavimento, de acordo com o glossário de termos técnicos rodoviários (DNER, 2017) são definidas como:

- Base: camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos distribuindo-os ao subleito, e sobre a qual se constrói o revestimento ou camada de rolamento;
- Sub-base: camada imediatamente anterior e complementar à base, com as mesmas funções desta, e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura de base;
- Subleito: maciço teoricamente semi-infinito que serve de fundação e recebe todas as camadas do pavimento;
- Reforço de subleito: camada do pavimento executada após ao subleito com o intuito de reduzir espessura da sub-base, por motivos técnicos ou econômicos;
- Revestimento: camada com maior impermeabilidade, que recebe diretamente a ação dos veículos e destinada a melhorar as condições do rolamento, considerando fatores como conforto e segurança, e a suportar aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais duradoura a superfície de rolamento.

Os pavimentos utilizados em rodovias podem ser classificados em três tipos: pavimentos flexíveis, pavimentos semirrígidos e pavimentos rígidos, porém esta pesquisa dará ênfase aos pavimentos rígidos e flexíveis.

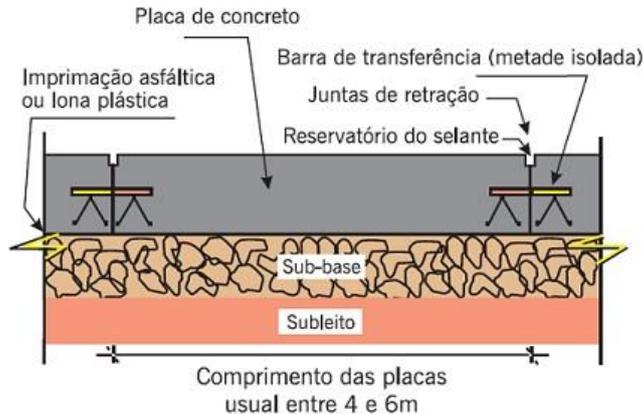


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

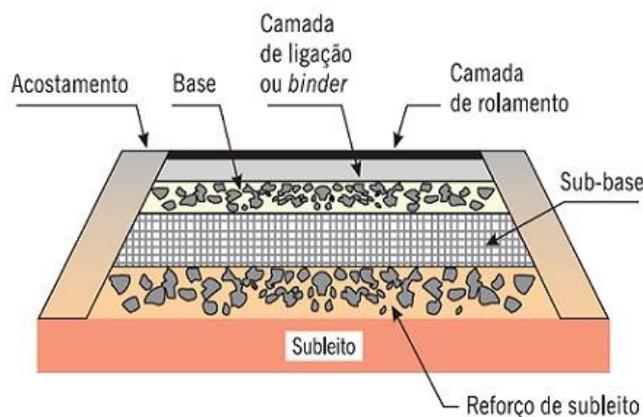
As figuras 1 e 2 demonstram a estrutura dos pavimentos rígidos e flexíveis, respectivamente.

Figura 1: Estrutura do pavimento rígido



Fonte: Bernucci *et al.*, 2010, p. 10

Figura 2: Estrutura do pavimento flexível



Fonte: Bernucci *et al.*, 2010, p. 10

2.2 Pavimento Rígido

O pavimento rígido é uma estrutura de pavimentação produzida em concreto de cimento Portland, projetada para resistir ao tráfego de veículos e proporcionar uma superfície durável e resistente. Em comparação com outros tipos de pavimentos, como o pavimento flexível (asfalto), o pavimento rígido é caracterizado por sua rigidez e capacidade de suportar cargas pesadas.

De acordo com Bernucci *et al.*, (2010, p. 337), este tipo de pavimento é formado por uma camada superficial de concreto de cimento Portland (em geral placas pré-moldadas ou produzidas *in loco*, e que podem ser armadas ou não), que são apoiadas geralmente sobre uma camada de material granular ou de material estabilizado com cimento (chamada sub-base), assentada sobre o subleito ou sobre um reforço do subleito quando necessário.



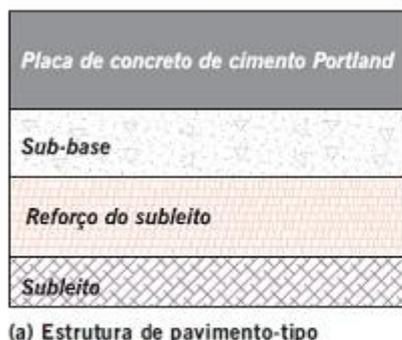
RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

Uma das características distintivas do pavimento rígido é sua capacidade de distribuir as cargas dos veículos ao longo de uma área maior, o que reflete em uma redução da deformação permanente do pavimento sob carga. Além disso, o concreto é extremamente durável e resistente a diversos fatores, como água, luz solar e produtos químicos, tornando-o uma escolha ideal para pavimentos de rodovias.

A Figura 3 mostra uma estrutura-tipo de pavimento de concreto de cimento Portland e uma foto de uma execução das placas de concreto de cimento (Bernucci *et al.*, 2010, p. 337).

Figura 3: Estrutura tipo do pavimento rígido



(b) Revestimento em concreto de cimento Portland sendo executado

Fonte: Bernucci *et al.*, 2010, p. 337

2.3 Pavimento Flexível

É uma estrutura de pavimentação composta principalmente por uma camada de asfalto (também conhecida como concreto asfáltico ou betume). Ele é chamado de "flexível" devido à sua capacidade de se deformar sob carga e se adaptar às irregularidades do solo e do tráfego, ao contrário do pavimento rígido, que é feito de concreto.

Este tipo de pavimento é fundamentado sobre camadas de solos, dispostas através da terraplenagem, tais camadas devem receber e distribuir todo o peso e esforço recebido através de sua faixa de rolamento. As camadas para esse tipo de pavimento devem ser capazes de trabalhar em conjunto, a fim de evitar possíveis erosões à estrutura no decorrer de sua vida útil (Santos; Camargo, s.d.).

Ainda de acordo com Santos e Camargo [s.d.], o pavimento flexível demanda muito das camadas estruturantes em decorrência da sua distribuição de forças uniformemente verticais, apresentando deformações elásticas significativas. Os materiais de constituição das camadas constituintes das bases do pavimento são de materiais granulares, solos ou misturas de solos, e não há a adição de agentes cimentantes.

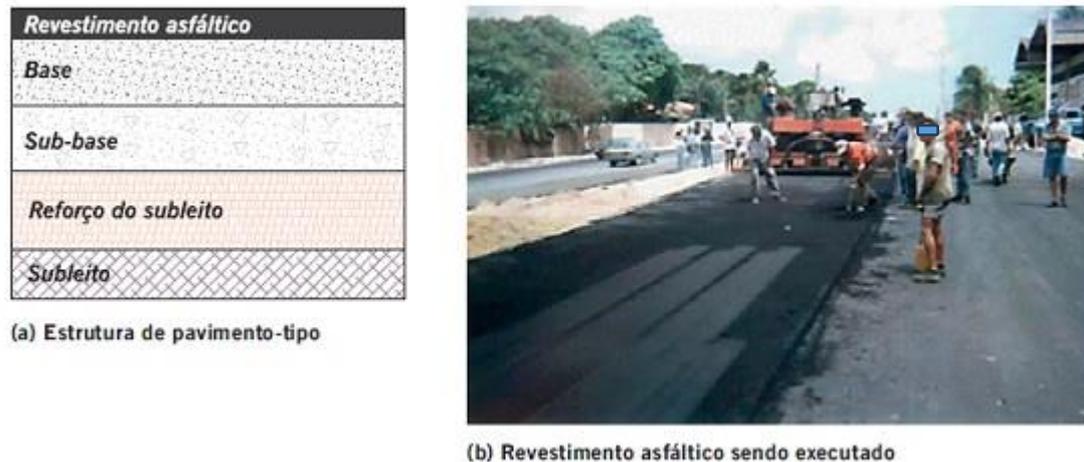


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

A Figura 4 mostra uma estrutura-tipo e a foto de uma execução de pavimento asfáltico (Bernucci *et al.*, 2010, p. 338).

Figura 4: Estrutura tipo do pavimento flexível



Fonte: Bernucci *et al.*, 2010, p. 338

2.4 Comparativo Histórico entre Pavimentos Rígidos e Flexíveis

Nos últimos anos, a porcentagem de pavimento rígido (concreto) nas rodovias do Brasil é consideravelmente baixa em comparação ao pavimento flexível (asfalto). De acordo com dados do Anuário CNT do Transporte 2022, a extensão da malha rodoviária pavimentada no Brasil está em torno de 213.500 km, e apenas, cerca de 2% dessa extensão utiliza pavimento rígido (Concrete Show, 2021).

Apesar da superioridade de utilização do pavimento flexível, suas condições atuais não são favoráveis, pois, aproximadamente 50% do pavimento no Brasil é classificado como Regular ou Ruim, enquanto 44,5% são classificados como Ótimo ou Bom (CNT, 2022).

De acordo com a Concrete Show (2021), o uso de pavimento de concreto tem crescido, impulsionado por suas vantagens em durabilidade e sustentabilidade. Exemplos recentes incluem projetos como a duplicação de trechos da BR-230 e a restauração do pavimento na BR-285, que adotaram o pavimento rígido por razões econômicas e de desempenho.

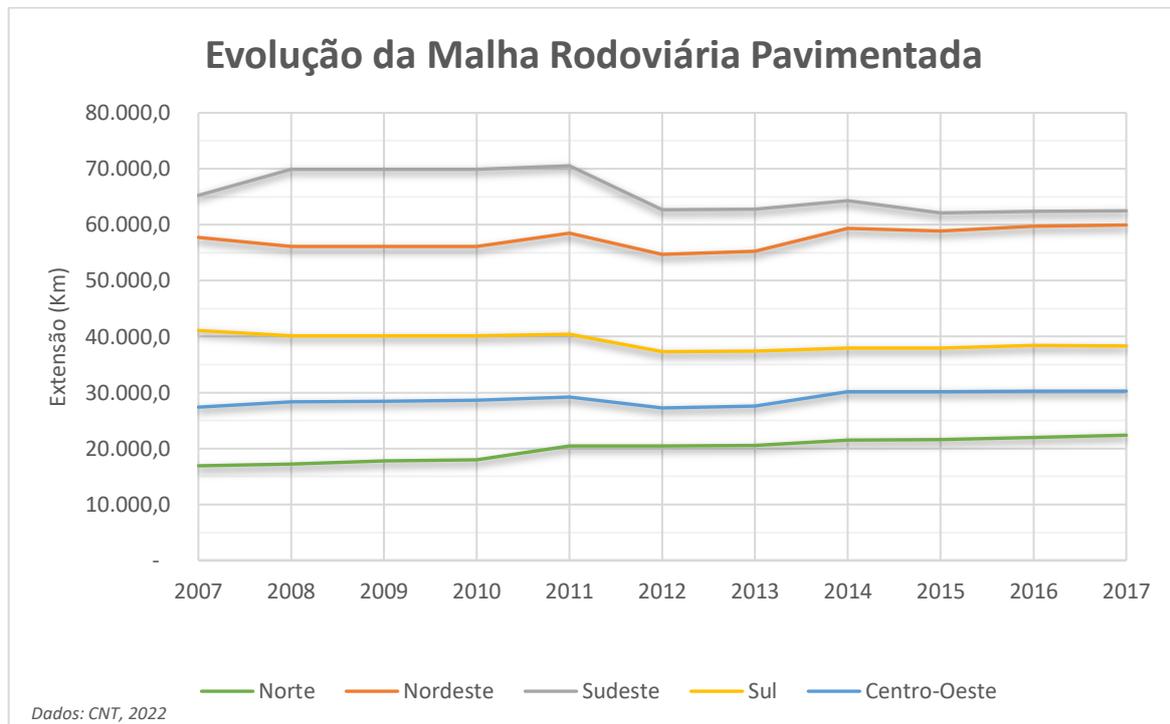
A malha rodoviária pavimentada no Brasil, possui condições precárias e um baixo índice de crescimento, cerca de 2,4% no período de 2007 a 2017. A figura 5 demonstra a evolução em quilômetros da pavimentação no Brasil por regiões.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

Figura 5: Evolução da Malha Rodoviária no Brasil



Fonte: Autor, 2024

3. ANÁLISE COMPARATIVA DA VIABILIDADE TÉCNICA, SUSTENTÁVEL E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RÍGIDAS E FLEXÍVEIS

3.1 Comparativo Técnico

A escolha do tipo de pavimento a ser empregado na pavimentação rodoviária ou urbana, depende da análise das características técnicas de cada tipo de pavimento. Com isso, é necessário o comparativo técnico entre o pavimento rígido e flexível, relacionando as características de composição, construção, durabilidade e manutenção, desempenho em diferentes climas e segurança.

3.1.1 Composição

A composição dos pavimentos rígidos e flexíveis difere significativamente, refletindo suas propriedades distintas e adequação a diferentes tipos de cargas e condições ambientais. De acordo com o DER (2006), o pavimento rígido é formado principalmente por placas de concreto de cimento Portland e suas camadas de base compostas de material granular ou estabilizado com cimento. Por outro lado, Bernucci *et al.*, (2022) descreve que o pavimento flexível é formado por várias camadas de materiais asfálticos (asfalto betuminoso com agregados) e que possuem uma característica elástica que permite dissipar e distribuir as cargas de forma gradual ao longo das camadas.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

3.1.2 Construção

A construção de pavimentos rígidos e flexíveis envolve processos distintos que refletem suas características materiais e funcionais. De acordo com Guimarães Neto (2011), a estrutura básica do pavimento flexível é mais complexa que a estrutura do pavimento rígido, em razão da forma de como as cargas são absorvidas pelos pavimentos. Porém, apesar da estrutura mais simples, o pavimento rígido possui maior rigorosidade na metodologia de construção e da qualidade dos materiais em comparação com o pavimento flexível.

Com relação à oferta de mão de obra e equipamentos necessários para execução, o pavimento flexível leva grande vantagem devido a sua maior empregabilidade nas rodovias do país, por outro lado, a execução do pavimento rígido sofre com a falta de empresas especializadas, resultando em falhas construtivas e no controle tecnológico (Mendonça Filho, 2018).

3.1.3 Durabilidade

De acordo com Bernucci *et al.*, (2022), os pavimentos são projetados para que cada camada possua uma certa espessura e que o sistema de camadas responda com uma rigidez conjunta adequada às condições climáticas e geométricas do local e ao tráfego, durante sua vida de projeto.

Segundo Petzold, Bernardi, Matteoni (2021) e conforme demonstra a figura 6, os esforços solicitantes que ambos os pavimentos recebem, tanto diariamente, quanto ao longo da sua vida útil, são distribuídos entre as camadas no pavimento flexível, e no pavimento rígido os esforços são absorvidos em sua maior parte pela placa de concreto.

Com relação aos esforços que ambos os pavimentos receberão, tanto diariamente, quanto ao longo da sua vida útil, no pavimento flexível a carga se distribui em parcelas proporcionais à rigidez das camadas, todas as camadas sofrem deformações elásticas significativas, as deformações até um limite não levam ao rompimento, devendo ser considerada a qualidade do solo pois este é submetido a altas tensões e absorve maiores deflexões, em contrapartida no pavimento rígido a placa absorve maior parte das tensões, essa distribuição de cargas faz-se sobre uma área relativamente maior e a qualidade do solo pouco infere no comportamento estrutural pouco deformável sendo mais resistente à tração (Petzold, Bernardi, Matteoni, 2021).

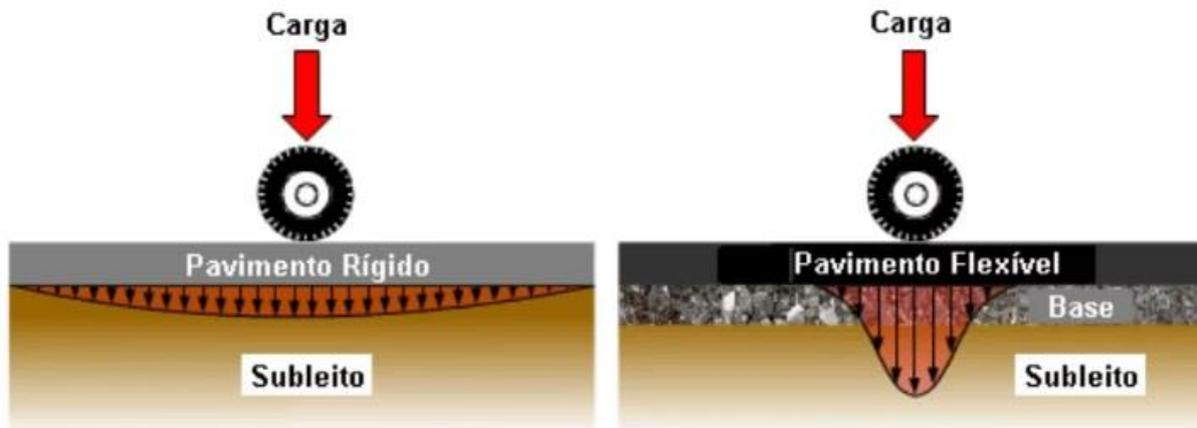
Logo, explica-se a enorme diferença entre os pavimentos quando o assunto é durabilidade.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

Figura 6: Deformação pela carga nos pavimentos



Fonte: Araújo, 2016

3.1.4 Manutenção

A manutenção de pavimentos flexíveis envolve, principalmente, reparos frequentes devido à sua suscetibilidade a deformações e fissuras que são causadas por cargas de tráfego e variações climáticas. Em climas quentes, a manutenção pode incluir o recapeamento de áreas afetadas por trilhas de rodas e ondulações, enquanto em climas frios, o foco está na reparação de fissuras e buracos resultantes do ciclo de congelamento e descongelamento.

De acordo com Mendonça Filho (2018), o pavimento rígido é a melhor opção por dispor de elevada resistência mecânica e ao desgaste, considerando que não há deformação plástica e nem formação de buracos e trilhas de rodas, garantindo assim, elevada durabilidade da estrutura e pequena necessidade de reparos rotineiros.

De modo geral, as manutenções realizadas nas obras com pavimento flexível são consideravelmente mais ágeis, onde a liberação do tráfego de veículos ocorre logo após a conclusão do serviço, o que não ocorre nas obras com pavimento rígido, pois, é necessário aguardar pelo tempo de cura do concreto (Ribas, 2017).

3.1.5 Desempenho em diferentes climas

De acordo com a CNT (2017), um dos fatores que mais impactam no comportamento e desempenho dos materiais do pavimento é o clima, principalmente as variações de temperatura e umidade, o que enfatiza a afirmação de Bernucci *et al.* (2022), que os pavimentos devem ser dimensionados para o tráfego previsto no período de projeto e para as condições climáticas a que estarão sujeitos.

Em climas quentes, o pavimento rígido leva vantagem por apresentar melhor desempenho e menor suscetibilidade ao amolecimento, quando comparado ao pavimento flexível que costuma apresentar deformação permanente. Já em climas frios, ambos os pavimentos podem sofrer com



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

contrações térmicas, porém, estes problemas podem ser contornados em ambos os pavimentos, com a instalação adequada de juntas de dilatação e o uso de aditivos no concreto, e no pavimento flexível a incorporação de ligantes modificados com polímeros.

3.1.6 Segurança

O pavimento de concreto (rígido) possui maior capacidade de reflexão da luz que o pavimento de asfalto (flexível), devido a sua superfície clara, com isso há melhora significativa na visibilidade horizontal e noturna dos motoristas, principalmente em dias de chuva, permitindo ainda uma maior aderência dos pneus à superfície de rolamento em comparação com o pavimento asfáltico, o que permite relevante redução na distância de frenagem (Mendonça Filho, 2018).

O pavimento de concreto proporciona maior velocidade de escoamento da água em comparação ao pavimento asfáltico, graças à texturização, diminuindo o acúmulo de água superficial que se forma na pista nos dias chuvosos, melhorando a resistência à derrapagem. Porém o pavimento flexível apresenta melhor aderência das demarcações viárias em relação ao pavimento rígido, devido a sua textura rugosa (Ribas, 2017).

3.2 Comparativo Sustentável

Ao considerar a sustentabilidade dos pavimentos rígidos e flexíveis, é importante avaliar o impacto ambiental, a eficiência de recursos, e os efeitos a longo prazo de cada tipo de pavimento. De acordo com Ribas (2017), durante todo o ciclo de vida dos pavimentos ocorre uma avaliação que vai desde a extração das matérias-primas até quando deixam de ter uso e são descartadas como resíduos, a fim de determinar indicadores de sustentabilidade.

Quando se fala em reciclagem, um processo que desempenha um papel fundamental na promoção da sustentabilidade, o pavimento rígido contribui positivamente, pois devido a sua vida útil significativamente maior que o flexível, implica em menor geração de rejeitos que, por sua vez, são inteiramente recicláveis. Entretanto, já existem técnicas que combinam outros materiais a produção do pavimento flexível, como o asfalto produzido de borracha moída de pneus inservíveis e o asfalto com polímero, o que permite que a pavimentação flexível também seja uma alternativa econômica e ecológica.

Outro fator importante associado à produção do concreto utilizado na pavimentação rígida, é a economia de energia elétrica em torno de 3 a 4 vezes quando comparado a produção do asfalto. Ainda de acordo com a ABCP (2015), também há uma economia de 30 a 60% de energia elétrica na iluminação pública e na sinalização, em virtude da cor mais clara dos pavimentos em concreto, o que também contribui para redução de até 14° C na temperatura medida na superfície do pavimento de concreto em relação àquelas medidas na superfície de pavimentos asfálticos.

Outrossim, cabe destacar ainda a economia de combustível que é gerada pelos pavimentos de concreto, na ordem de até 20% nos ônibus e caminhões, quando carregados, principalmente, em relação ao pavimento flexível, por oferecerem menor resistência ao rolamento (ABCP, 2015).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

3.3 COMPARATIVO ECONÔMICO

A escolha entre pavimentos rígidos e flexíveis é uma decisão crucial no planejamento e construção de infraestruturas viárias. Ambos os tipos de pavimentos oferecem vantagens distintas, e a análise econômica desempenha um papel fundamental na determinação da melhor opção para cada projeto específico. O pavimento rígido é conhecido por sua durabilidade e menor necessidade de manutenção ao longo do tempo, enquanto o pavimento flexível oferece menor custo inicial e maior flexibilidade de aplicação. No entanto, para uma escolha fundamentada e viável, é essencial realizar um comparativo econômico que leve em consideração não apenas os custos iniciais de implantação, mas também os custos de manutenção, considerando sua vida útil e condições de tráfego.

3.3.1 Custos de implantação

Os custos de implantação dos pavimentos rígidos e flexíveis variam significativamente devido às diferenças nos materiais empregados, processos de construção, demandas específicas de cada tipo de pavimento e o tipo de tráfego atendido.

Um estudo da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2015) leva em consideração um fator determinante e imprescindível na análise dos custos iniciais de implantação por quilômetro (Km) de ambos os pavimentos, com isso, demonstrando que quanto mais intenso for o fluxo de veículos, mais econômico o pavimento rígido tende a ser, conforme demonstra a Tabela 1 e Gráfico 1.

Tabela 1 – Custo de implantação do pavimento por Km

| VDMc | Pav. Concreto (R\$) | Pav. Flexível (R\$) |
|--------|---------------------|---------------------|
| 500 | 1.066.000,40 | 791.484,50 |
| 750 | 1.104.463,30 | 938.046,27 |
| 2.000 | 1.104.463,30 | 1.138.449,29 |
| 3.500 | 1.142.926,20 | 1.285.548,61 |
| 5.000 | 1.181.389,10 | 1.341.571,64 |
| 10.000 | 1.219.852,00 | 1.532.054,61 |

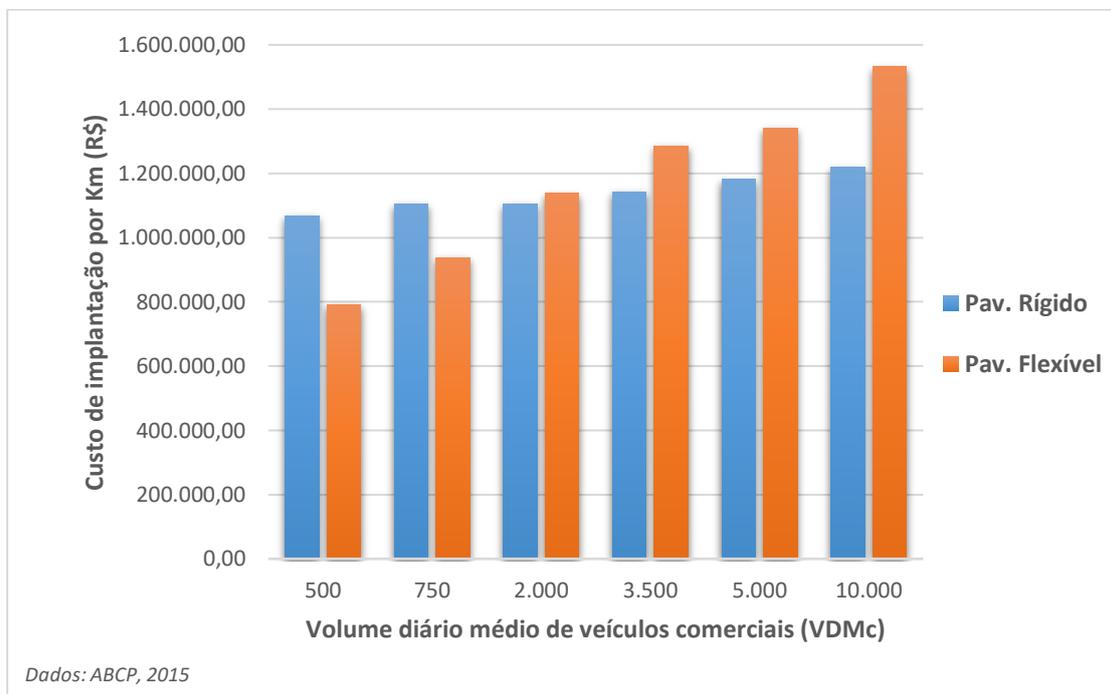
Fonte: Adaptado de ABCP, 2015



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

Gráfico 1 – Custo de implantação do pavimento por Km (R\$)



Fonte: Autor, 2024

De acordo com a Tabela 1, é perceptível que em casos em que haverá um baixo volume de tráfego (VDMc entre 500 e 750), torna-se favorável a implantação do pavimento flexível, devido ao seu custo inferior (Mendonça Filho, 2018).

3.3.2 Custos de manutenção

Os custos de manutenção são um fator crucial na avaliação econômica dos pavimentos, pois afetam significativamente o custo total ao longo da vida útil de uma estrada.

A manutenção de rodovias, deve considerar fatores importantes e que impactam diretamente no levantamento dos custos, como: tempo de vida útil dos pavimentos, frequência e tipo de manutenção. Se tratando de vida útil, o pavimento rígido tem vida útil de no mínimo 20 anos, enquanto o pavimento flexível pode resistir entre 08 e 12 anos, de acordo com a CNT (2017). Já com relação a frequência e tipo de manutenções que serão realizadas, geralmente são definidas em projeto, onde características específicas de cada região são levadas em consideração, como: volume e tipo de tráfego da rodovia, clima, entre outros.

O Gráfico 2 apresenta a diferença dos custos de manutenção realizada em parte de uma rodovia localizada no Nordeste brasileiro (BR 408). Ressalta-se que os dados são referentes a ambos os tipos de pavimentos, e considerando um período de 20 anos. E, de acordo com Landim (2020), os serviços realizados no pavimento flexível ao longo desse período foram: remendos e selagem de trincas, realizados anualmente, fresagem e reciclagem de base realizadas no 10º e 18º ano; enquanto



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

no pavimento rígido foram realizados serviços de limpeza de juntas, a cada 5 anos, e substituição de placas no 10º e 18º ano.

Gráfico 2 – Custos de manutenção no período de 20 anos



Fonte: Silva e Filho, 2011

O pavimento flexível se torna mais oneroso ao longo do tempo, com manutenções mais frequentes e cada vez mais custosas. Logo, o pavimento rígido se torna uma ótima alternativa a longo prazo, devido a sua durabilidade, manutenções de baixa frequência e que não necessitam de altos investimentos.

3.3.3 Análise do custo-benefício de implantação e manutenção de pavimentos rígidos e flexíveis

A análise de custo-benefício entre os tipos de pavimentos é um processo essencial para determinar a opção mais vantajosa em termos econômicos e de desempenho ao longo da vida útil de uma infraestrutura viária. Esse processo envolve a consideração de uma série de fatores, incluindo custos de implantação, custos de manutenção, durabilidade, desempenho sob condições específicas e impactos ambientais.

É possível observar que o pavimento rígido possui maior custo de implantação em determinadas situações, quando comparado com o pavimento flexível, porém este tipo de pavimento requer manutenções com menor frequência, o que o torna menos oneroso ao longo de sua vida útil. Ainda, de acordo com estudos, fica claro que o pavimento rígido a longo prazo se torna economicamente mais viável ao considerar a soma dos custos de implantação e manutenção.

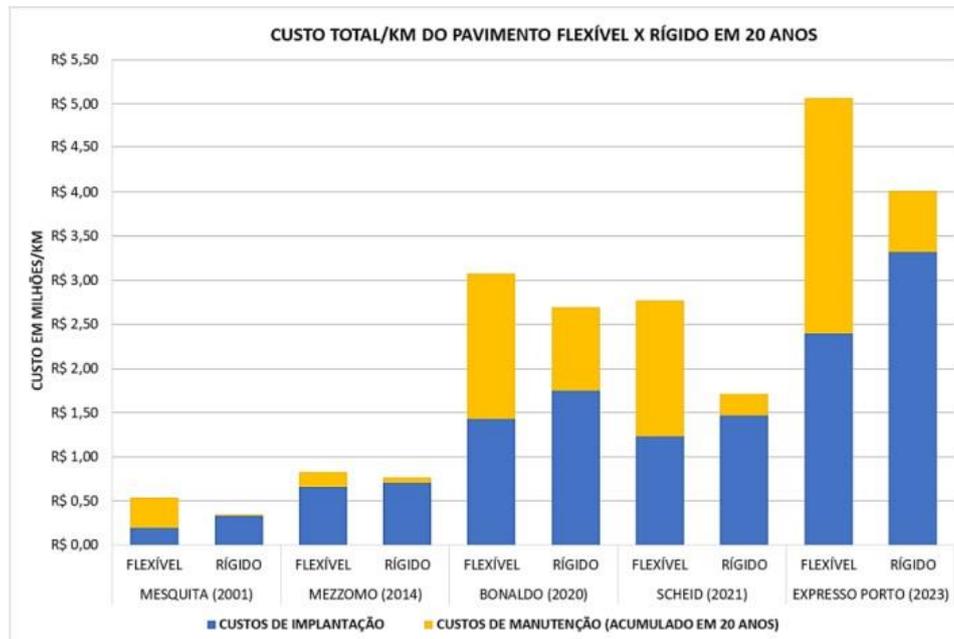
O Gráfico 3 demonstra o custo total (implantação e manutenção) de ambos os tipos de pavimentos ao longo de 20 anos (Bonfim *et al.*, 2024).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

Gráfico 3 – Custo total por Km dos pavimentos rígidos e flexíveis



Fonte: Bonfim *et al.*, 2024

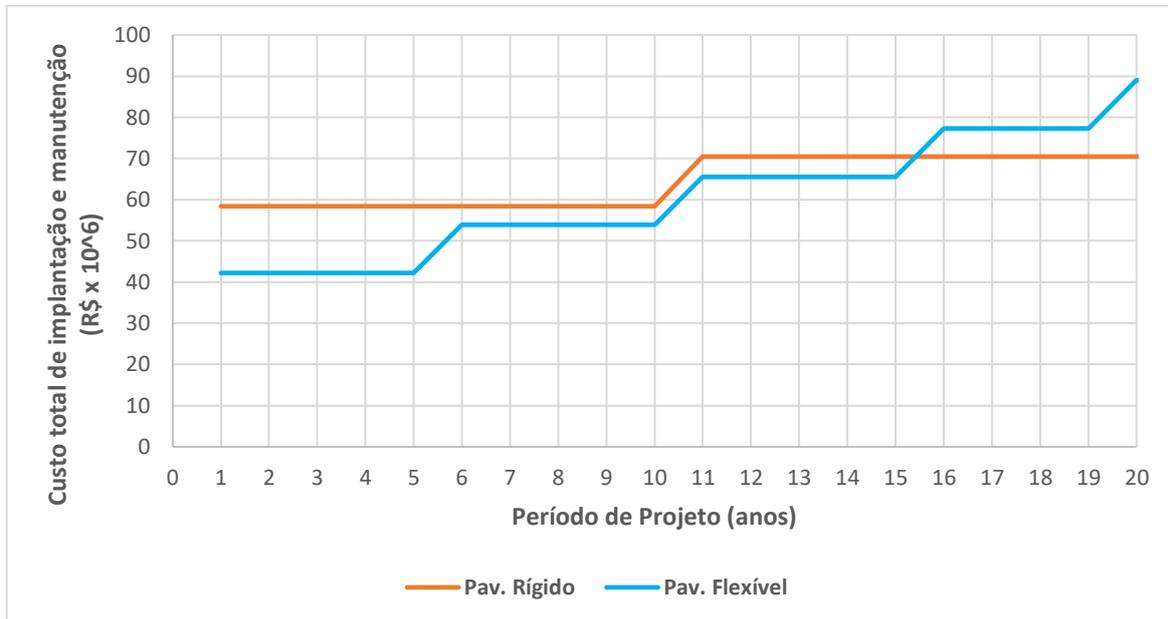
É notória a diferença de custos totais apresentados por ambos os autores, e ainda mais evidente para a rodovia Expresso Porto. De acordo com o estudo de Bonfim *et al.*, (2024), que realizaram o levantamento dos custos para a rodovia do Norte brasileiro (Expresso Porto), os valores para implantação dos pavimentos foram estimados pelo DER/RO, e em relação aos custos de manutenção foi considerado o tempo de recorrência de manutenção dos pavimentos conforme Mezzomo (2014) considerou em seu estudo, sendo a cada 5 anos para o pavimento flexível, e a cada 10 anos para o pavimento de concreto. O Gráfico 4 apresenta uma comparação dos custos totais de ambos os pavimentos, no período de 20 anos de projeto, e observa-se que a partir de 15 anos de projeto o pavimento flexível torna-se financeiramente mais custoso.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

Gráfico 4: Custos dos pavimentos rígidos e flexíveis considerados para a rodovia Expresso Porto



Fonte: Alterado de Bonfim *et al.*, 2024

4. CONSIDERAÇÕES

A partir do objetivo proposto, conclui-se que, a escolha entre pavimentos rígidos e flexíveis depende de diversos fatores, como volume de tráfego, condições climáticas, disponibilidade de recursos e mão de obra especializada. Enquanto os pavimentos rígidos, feitos de concreto, oferecem maior durabilidade e menores custos de manutenção a longo prazo, tornando-se uma solução economicamente mais viável para rodovias de alto tráfego, os pavimentos flexíveis, de asfalto, apresentam menor custo inicial e maior adaptabilidade a diferentes condições de terreno e clima, sendo mais indicados para rodovias de tráfego moderado e regiões com orçamento limitado.

Além disso, a sustentabilidade é um fator a ser levado em consideração ao comparar tecnicamente e economicamente os tipos de pavimentos, pois o pavimento rígido mostra-se mais vantajoso em termos de durabilidade e menor necessidade de recursos ao longo do tempo, enquanto o pavimento flexível pode ser mais sustentável no curto prazo, especialmente com o uso de materiais reciclados. Apesar da questão sustentável não ter sido o foco deste trabalho, sugere-se para estudos futuros devido sua considerável relevância.

Assim, a escolha do tipo de pavimento deve ser feita com base em uma análise cuidadosa das condições específicas de cada projeto, considerando não apenas os custos imediatos, mas também os impactos econômicos e ambientais a longo prazo. Com uma abordagem estratégica, é possível otimizar os investimentos em infraestrutura rodoviária, garantindo pavimentos duráveis, seguros e sustentáveis para atender às necessidades de mobilidade e desenvolvimento do país.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Pavimento de Concreto: Solução Sustentável e Custo Competitivo. In: II **Seminário ABCIC/IBRACON de Infraestrutura Viária e Mobilidade Urbana**. São Paulo, 2015.

AGÊNCIA BRASIL. Pesquisa da CNT mostra que 67% das rodovias brasileiras têm problemas. **Agência Brasil**, Brasília, 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2023-11/pesquisa-da-cnt-mostra-que-67-das-rodovias-brasileiras-tem-problemas>. Acesso em: 11 abr. 2024.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica – formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Imprinta, 2010.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica – formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: [s. n.], 2022.

BONALDO, J. B. **Análise Comparativa da Economicidade Para Implantação e Manutenção de Pavimentos Flexíveis e Rígidos**. 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 2020.

BONFIM, S. L. M.; SILVA, M. R.; LIMA, M. R.; LIMA, A. F.; SANTOS, B. M. Análise do custo-benefício de implantação e manutenção entre pavimentos rígido e flexível: estudo de caso para Rodovia Expresso Porto – RO. **Revista Caribeña de Ciências Sociales**, Miami, v. 13, n. 8, p. 01-21, ago. 2024. ISSN: 2254-7630.

CAVALET, V. N.; LUVIZÃO, G.; NIENOV, F. A.; ZAMPIERI, L. Q. Análise comparativa do custo-benefício entre pavimentos flexíveis em concreto asfáltico e pavimentos rígidos em concreto de Cimento Portland aplicado em rodovia de alto tráfego. In: **33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET**. Balneário Camboriú, 2019.

CONCRETE SHOW. Uso de Pavimento de Concreto é Ampliado em Rodovias do Brasil. **Concrete Show**, 28 abr. 2021. Disponível em: <https://digital.concreteshow.com.br/negcios/uso-de-pavimento-de-concreto-ampliado-em-rodovias-do-brasil>. Acesso em: 08 jun. 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Por Que os Pavimentos das Rodovias do Brasil Não Duram?**. Brasília, CNT, 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-divulga-estudo-por-que-pavimento-rodovias-brasil-nao-duram-resultados>. Acesso em: 12 jun. 2024.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2023**. Brasília, CNT, 2023. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br>. Acesso em: 24 abr. 2024.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DER. **Projeto de Pavimentação**. Instruções de Projeto. São Paulo: DER, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT. **Glossário de Termos Técnicos Rodoviários**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2017.

FILHO, J. M. M.; ROCHA, E. G. A. Estudo Comparativo entre Pavimentos Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 02, p. 146-163, jun. 2018. ISSN:2448-0959.

GUIMARÃES NETO, G. L. **Estudo Comparativo entre a Pavimentação Flexível e Rígida**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel) - Universidade da Amazônia, Belém, 2011.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

COMPARAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE PAVIMENTAÇÕES RODOVIÁRIAS RÍGIDAS E FLEXÍVEIS
Maicon Christian da Silva Petronio, Sandra Fabiana Rodgher, Fabiana Florian

LANDIM, A. I. V.; ABREU, A. A.; LANDIM, A. E. F. G.; SOUSA, A. A.; NETO, D. O.; NOVÍSSIMO, W. L. M. Análise comparativa de viabilidade técnica e econômica entre as pavimentações rígida e flexível. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 07, p. 14-27, jun. 2020. ISSN: 2448-0959.

MEZZOMO, H. **Análise comparativa entre um pavimento de concreto simples e um flexível para a duplicação da rodovia BR- 386/RS**. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 2014.

PETZOLD, A. S.; BERNARDI, R. M.; MATTEONI, S. Pavimentos Rígidos: O Futuro das Estradas. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 01, maio 2021. ISSN: 2178-6925.

RIBAS, L. C. **Custo-Benefício na Execução de Pavimentos Rígidos**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2017.

SANTOS, D. L. G.; CAMARGO, C. J. Uso da geotecnia na aplicação de pavimentos flexíveis em rodovias - A importância de se estudar a geotecnia local à pavimentação, com base nas exigências normatizadas pelo Manual de Pavimentação DNIT. **Brasil Escola**, s. d. Disponível em: <https://meuartigo.brasilecola.uol.com.br/engenharias/uso-da-geotecnia-na-aplicacao-de-pavimentos-flexiveis-em-rodovias.htm>. Acesso em: 18 maio de 2024.

SILVA FILHO, A. L. **Estudo comparativo de viabilidade técnica e econômica entre pavimentos rígido e flexível aplicados a rodovia BR-408/PE**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade Vale do Ipojuca, Caruaru, 2011.