

ANÁLISE TÉCNICA E DE CUSTOS ENTRE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E RÍGIDOS

BERNARDO ANTONIO SILVA RAMOS¹, CANDIDO RICARDO TOMAZONI COREIA², YURI SOTERO BOMFIM FRAGA³, FERNANDO DA SILVA SOUZA⁴

¹Me. em Engenharia Civil, Prof. Ass. UFAC, Rio Branco-AC, bernardo.ramos@ufac.br;

²Me. em Engenharia Civil, Prof. Ass. UFAC, Rio Branco-AC, candido.coreia@ufac.br;

³Dr. em Engenharia Civil, Prof. Adj. UFAC, Rio Branco-AC, yuri.fraga@ufac.br;

⁴Dr. em Engenharia Civil, Prof. Adj. UFAC, Rio Branco-AC, fernando.silva@ufac.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
07 a 10 de outubro de 2024

RESUMO: O trabalho reúne informações sobre pavimentos rígidos e flexíveis, abordando seus métodos de execução, materiais utilizados, e as principais patologias encontradas em cada tipo. O estudo se concentra na análise comparativa desses pavimentos em termos de segurança, conforto, eficiência energética, durabilidade, custo de implantação e manutenção. Foram realizadas visitas técnicas e análises quantitativas para avaliar o desempenho e os custos envolvidos na manutenção de ambos os tipos de pavimento. Após visitas técnicas e análise dos custos de manutenção, conclui-se que pavimentos rígidos, além de reduzir gastos com manutenção, apresentam um valor de implantação competitivo em rodovias com alto tráfego pesado, tornando-se uma alternativa viável e eficiente para as rodovias brasileiras.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento Rígido, pavimento flexível, pavimentação.

TECHNICAL AND COST ANALYSIS OF FLEXIBLE AND RIGID PAVEMENTS

ABSTRACT: The study compiles information on rigid and flexible pavements, discussing their construction methods, materials used, and the main pathologies observed in each type. The research focuses on a comparative analysis of these pavements in terms of safety, comfort, energy efficiency, durability, and the costs of implementation and maintenance. Technical visits and quantitative analyses were conducted to assess the performance and maintenance costs of both pavement types. It was concluded that rigid pavements, in addition to reducing maintenance expenses, offer a competitive implementation cost on highways with heavy traffic, making them a viable and efficient alternative for Brazilian roads.

KEYWORDS: Rigid Pavement, flexible pavement, pavement.

INTRODUÇÃO

A pavimentação de estradas e rodovias é uma atividade essencial para o desenvolvimento econômico e social de um país, pois permite a circulação eficiente de pessoas e mercadorias, conectando diferentes regiões e promovendo o crescimento das áreas atendidas. Historicamente, o processo de pavimentação começou com a necessidade de melhorar as condições naturais do solo para suportar o tráfego, utilizando materiais e técnicas rudimentares. Ao longo do tempo, esses métodos evoluíram, levando ao desenvolvimento de dois principais tipos de pavimentos: o pavimento flexível e o pavimento rígido.

Pavimento flexível, comumente usado no Brasil, é caracterizado por sua capacidade de se deformar sob carga e retornar à sua forma original quando a carga é removida. Esse tipo de pavimento é geralmente composto por múltiplas camadas, incluindo uma camada superior de pavimento, que distribui as tensões para as camadas inferiores, e uma base e sub-base que ajudam a estabilizar a estrutura. Sua popularidade deve-se em parte ao menor custo inicial de implantação e à rapidez de construção, fatores que são especialmente atrativos em projetos onde a necessidade de liberar o tráfego rapidamente é crucial, (SENÇO, 2007).

Por outro lado, o pavimento rígido é feito principalmente de concreto de cimento Portland, um material conhecido por sua alta durabilidade e resistência. Ao contrário dos pavimentos flexíveis, os pavimentos rígidos distribuem as tensões mais uniformemente sobre uma área maior, o que resulta em menor deformação ao longo do tempo. Essa característica torna os pavimentos rígidos particularmente adequados para rodovias com tráfego pesado, onde a demanda por manutenção frequente pode ser minimizada. Países desenvolvidos, como os Estados Unidos e várias nações europeias, têm adotado pavimentos rígidos em suas rodovias devido à sua longevidade e ao menor custo de manutenção ao longo da vida útil do pavimento, (BALBO, 2008).

Apesar dessas vantagens, no Brasil, ainda se observa uma clara preferência por pavimentos flexíveis, o que levanta questões sobre os fatores que influenciam essa escolha. Entre as possíveis razões estão o menor custo inicial de implantação e a tradição técnica que favorece o uso de asfalto, um material amplamente disponível e familiar para as equipes de construção locais. No entanto, essa preferência pode não considerar adequadamente as vantagens a longo prazo dos pavimentos rígidos, especialmente em rodovias que suportam grandes volumes de tráfego pesado, (NETO, 2011).

Diante desse cenário, este trabalho propõe uma análise comparativa detalhada entre os pavimentos rígidos e flexíveis, buscando avaliar não apenas os custos iniciais, mas também os benefícios de longo prazo em termos de durabilidade, manutenção e segurança. A introdução desses critérios de análise é fundamental para orientar decisões sobre qual tipo de pavimento utilizar em diferentes contextos. Com o crescimento constante do tráfego nas rodovias brasileiras e a necessidade de reduzir os custos de manutenção e melhorar a qualidade das infraestruturas, a consideração dos pavimentos rígidos como uma alternativa viável torna-se cada vez mais relevante.

Assim, o objetivo principal deste estudo é fornecer uma base técnica sólida para a escolha entre pavimentos rígidos e flexíveis, analisando os fatores que devem ser considerados na tomada de decisão para projetos de pavimentação rodoviária no Brasil. Além disso, este trabalho visa contribuir para o debate sobre a eficiência das políticas de infraestrutura no país, propondo uma discussão sobre as práticas atuais e as possíveis melhorias que poderiam ser implementadas para otimizar o uso dos recursos públicos na construção e manutenção de rodovias, (BERNUCCI ET AL, 2008).

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia adotada para este estudo foi desenvolvida com o objetivo de proporcionar uma análise comparativa entre os pavimentos rígidos e flexíveis, considerando aspectos técnicos, econômicos e operacionais. O estudo foi dividido em várias etapas, cada uma com foco em aspectos específicos dos pavimentos.

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente, incluindo normas técnicas, estudos acadêmicos, e publicações especializadas em pavimentação. Essa revisão permitiu reunir informações essenciais sobre os métodos de construção, materiais utilizados, características estruturais e comportamentais de ambos os tipos de pavimentos. A revisão também abordou as principais patologias associadas a cada tipo de pavimento, como rachaduras, deformações, e desgaste superficial, além das soluções técnicas recomendadas para reparo e manutenção.

Em seguida, foram realizadas visitas técnicas a rodovias com pavimentação rígida e flexível em diferentes regiões do estado do Paraná. Essas visitas foram fundamentais para observar in loco as condições reais dos pavimentos, identificar as patologias presentes e coletar dados sobre a necessidade de manutenção. As rodovias selecionadas para as visitas foram: a rodovia BR – 163 em pavimento flexível no trecho que entre os quilômetros 126 até 198, dispostos entre os municípios de Marmelândia – PR e Cascavel – PR com tráfego diário médio anual (TDMA) de 10.260 veículos no ano de 2014, responsável pelo escoamento de boa parte da produção agrícola e industrial da região oeste do estado, e rodovia que liga a fábrica de cimentos Itambé, até a jazida de calcário Rio Bonito, localizada no município de Campo Largo, região metropolitana de Curitiba – PR executada em pavimento rígido onde o tráfego predominante é de carretas com peso bruto de aproximadamente 55 toneladas, responsáveis pelo transporte de minério de calcário.

Durante as visitas, foram aplicados checklists técnicos para padronizar a avaliação das condições dos pavimentos. Esses checklists incluíram itens como o tipo de pavimento, características

visuais de desgaste, presença de trincas ou buracos, condições da camada de rolamento, e eficiência das intervenções de manutenção previamente realizadas. Além disso, foram realizadas medições específicas para avaliar a profundidade e extensão das falhas estruturais, o que ajudou a determinar a gravidade das patologias observadas.

A etapa seguinte consistiu na análise quantitativa dos custos de implantação e manutenção dos pavimentos. Foram levantados dados de orçamentos reais para obras de pavimentação, incluindo os custos de materiais, mão de obra, e equipamentos. A análise também levou em consideração o custo de manutenção ao longo do tempo, comparando as intervenções necessárias para pavimentos rígidos e flexíveis com base nos dados coletados durante as visitas técnicas e na literatura revisada.

Por fim, foi realizada uma análise comparativa entre os dois tipos de pavimento, considerando os aspectos de segurança, conforto, durabilidade e custos. Essa análise buscou identificar qual pavimento apresenta o melhor desempenho em diferentes contextos rodoviários, levando em conta fatores como o volume e tipo predominante de tráfego.

Essa abordagem metodológica permitiu obter uma visão abrangente e fundamentada das características e desempenho dos pavimentos rígidos e flexíveis, proporcionando uma base sólida para as conclusões e recomendações apresentadas ao final do estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados obtidos ao longo deste estudo oferece uma compreensão das diferenças entre pavimentos rígidos e flexíveis, tanto em termos de desempenho quanto de custo-benefício. Os resultados são apresentados em várias frentes, abrangendo aspectos estruturais, durabilidade, custos de manutenção, e impactos ambientais.

Os pavimentos rígidos demonstraram uma superioridade notável em termos de distribuição de tensões e resistência à deformação. Devido à sua composição em concreto de cimento Portland, esses pavimentos conseguem distribuir as cargas aplicadas de forma homogênea, o que resulta em uma menor concentração de tensões nas camadas inferiores. Essa característica se traduz em uma vida útil significativamente mais longa para os pavimentos rígidos, com menos necessidade de reparos, especialmente em rodovias com alto tráfego pesado. Em contraste, os pavimentos flexíveis, embora sejam mais fáceis e rápidos de implantar, apresentaram maior suscetibilidade a manifestações patológicas permanentes, como afundamentos e trincas, devido à natureza flexível.

Uma das principais vantagens identificadas nos pavimentos rígidos é a sua durabilidade. Estes pavimentos suportam longos períodos sem a necessidade de manutenção significativa, ao contrário dos pavimentos flexíveis, que geralmente requerem intervenções mais frequentes, especialmente em regiões de tráfego intenso. As visitas técnicas realizadas corroboraram com essa observação, evidenciando que rodovias com pavimento rígido apresentavam menos patologias, como buracos e trincas considerando a incidência de um alto volume de tráfego de veículos pesados. Isso se deve em parte à maior rigidez do concreto, que previne o acúmulo de tensões em pontos específicos, minimizando a ocorrência de falhas. Por outro lado, pavimentos flexíveis, embora mais baratos inicialmente, tendem a deteriorar mais rapidamente, necessitando de reparos frequentes que aumentam os custos de manutenção ao longo do tempo.

Em termos de custos de implantação, os pavimentos rígidos geralmente apresentam um investimento inicial mais elevado em comparação aos pavimentos flexíveis. Isso se deve ao custo mais alto do concreto de cimento Portland e à necessidade de mão de obra especializada para a sua instalação. No entanto, essa diferença inicial de custo é compensada ao longo do tempo pela redução significativa nos custos de manutenção. O estudo revelou que, em rodovias de alto tráfego, o custo total de um pavimento flexível ao longo do tempo pode superar o custo de um pavimento rígido conforme pode ser observado nas tabelas 01 e 02.

Outro aspecto importante abordado no estudo foi a segurança e o conforto proporcionados pelos diferentes tipos de pavimento. Pavimentos rígidos oferecem uma melhor aderência pneu-pavimento, o que pode reduzir a incidência de acidentes, especialmente em condições de chuva. Além disso, o menor desgaste da superfície do pavimento rígido contribui para um rodar mais suave, melhorando o conforto dos motoristas e passageiros. Pavimentos flexíveis, por outro lado, tendem a sofrer mais com

deformações na superfície ao longo do tempo, o que pode comprometer tanto a segurança quanto o conforto, especialmente em vias que não recebem manutenção regular.

Tabela 1; Custos médios gerenciais

CUSTOS MÉDIOS GERENCIAIS - DNIT Mês Base: jan./14	
MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES; DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT Valores obtidos utilizando-se os Manuais de Soluções Técnicas Gerenciais - CGPLAN/COVIDÉ	
OBRA / SERVIÇO	MÉDIA R\$ / Km
CONSTRUÇÃO P/ os casos específicos de TRÁFEGO PESADO	
CBUQ com 12 centímetros na pista e CBUQ 7 centímetros no acostamento	4.399.259,03
Implantação de revestimento em CBUQ com 18 centímetros na pista e acostamento, utilizando método de pavimento invertido com base em BGTC com espessura de 17 centímetros.	5.770.902,10
Implantação de revestimento em placa de Concreto de Cimento Portland com espessura de 18 centímetros na pista e acostamento.	3.507.481,41
Implantação de revestimento em placa de Concreto de Cimento Portland com espessura de 24 centímetros na pista e acostamento.	5.212.451,49
RESTAURAÇÃO	
Solução composta por fresagem de 5 centímetros, aplicação de 5 centímetros de CBUQ e recapeamento com 5 centímetros de CBUQ na pista e acostamento	1.122.805,14

Fonte: Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes – DNIT.

Tabela 2; Custo de substituição de placas de concreto.

Código TCPO	Componentes do Serviço	Valor p/m²	Valor p/km
02752.8.4.3	PAVIMENTAÇÃO de concreto armado fck = 25 MPa, e= 22 cm sobre lastro de brita graduada e = 10 cm, capacidade para cargas de até 6 t/m²		
01270.025.1	Armador	R\$ 0,51	R\$ 3.691,44
01270.040.1	Pedreiro	R\$ 3,78	R\$ 27.200,16
01270.045.1	Servente	R\$ 8,36	R\$ 60.192,00
02720.8.6.1	Lastro de brita 3 e 4 apiloado manualmente com maço de até 30 kg	R\$ 18,03	R\$ 129.805,20
033103.1.6	Concreto dosado em central convencional brita 1 e2 (resistência: 25,0 MPa)	R\$ 62,40	R\$ 449.258,40
051203.14.4	Barra de aço de transferência (bitola:25,0 mm / massa linear da barra: 1,93 kg/m)	R\$ 2,35	R\$ 16.909,20
-	Vibro-acabadora sobre esteiras, diesel, potência 77 HP (57 kW) - vida útil 20.000 h	R\$ 29,05	R\$ 209.149,20
07920.3.4.1	Selante à base de poliuretano	R\$ 1,30	R\$ 9.327,17
22500.9.10.1	Serra para corte de pavimento, elétrica, potência 7,5 HP (5,6 kW) - vida útil 8.000 h	R\$ 0,23	R\$ 1.651,10
Custo Total		R\$ 126,00	R\$ 907.183,87

Fonte: Tabela de Composições de Preços para Orçamentos, Pini 2010; adaptada pelo Autor, 2014.

Os resultados obtidos no estudo indicam que, embora pavimentos flexíveis sejam uma opção viável em contextos em que o custo inicial e a rapidez de implantação são prioritários, os pavimentos rígidos oferecem vantagens claras em termos de durabilidade, segurança, e custo-benefício a longo

prazo. Em rodovias com alto tráfego pesado, como aquelas encontradas em corredores de transporte de carga, a escolha por pavimentos rígidos pode ser mais econômica e eficiente, contribuindo para a redução de custos de manutenção e melhorando a qualidade da infraestrutura rodoviária do país.

De forma geral, o estudo sugere que, para maximizar a eficiência dos investimentos em infraestrutura rodoviária, a adoção de pavimentos rígidos deve ser mais amplamente considerada em projetos futuros, especialmente em rodovias estratégicas e de alto tráfego.

CONCLUSÃO

O presente estudo concluiu que os pavimentos rígidos oferecem vantagens sobre os pavimentos flexíveis, especialmente em rodovias sujeitas a tráfego pesado e intenso. A superioridade dos pavimentos rígidos se manifesta em diversos aspectos, incluindo a durabilidade, a resistência superior a deformações e a menor frequência de manutenções.

O estudo mostrou que, apesar do maior custo inicial de implantação dos pavimentos rígidos, o retorno sobre o investimento é mais favorável a longo prazo. Os custos reduzidos de manutenção e a maior durabilidade contribuem para uma economia ao longo da vida útil da rodovia.

Outro ponto importante destacado é a segurança. Pavimentos rígidos oferecem melhor aderência, o que pode reduzir o índice de acidentes, especialmente em condições adversas. Esse fator, combinado com o conforto proporcionado pelo pavimento, fortalece o argumento em favor do uso de pavimentos rígidos em rodovias de importância estratégica.

No entanto, é importante reconhecer que pavimentos flexíveis ainda têm seu lugar em situações onde a rapidez de implantação e os custos iniciais mais baixos são fatores determinantes, como em projetos de menor escala ou em áreas com menor intensidade de tráfego. Para maximizar os benefícios econômicos e sociais, é crucial que a escolha entre pavimento rígido e flexível seja feita com base em uma análise detalhada das condições específicas de cada projeto, considerando o volume de tráfego, as condições ambientais e os objetivos de longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão à Universidade Federal do Acre (UFAC) por proporcionar um ambiente acadêmico enriquecedor e por todo o suporte institucional durante o desenvolvimento deste trabalho. Ao Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA) e ao Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA), agradeço o apoio e incentivo contínuos à pesquisa científica.

Também gostaria de agradecer imensamente aos colegas de pesquisa pela colaboração, troca de conhecimentos e por todo o esforço coletivo que resultou neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 1999. Materiais Para Pavimentos de Concreto Simples. São Paulo.
- BALBO, J. T. 2007. Pavimentação Asfáltica Materiais, Projeto e Restauração. São Paulo. Oficina de Textos.
- BERNUCCI, L. B. et all. 2008. Pavimentação Asfáltica. ABEDA.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2013. Pesquisa CNT de Rodovias Relatório Gerencial. Brasília.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ, 2005. ES-P 12/05 Reparo Superficial. Curitiba.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ, 2005. ES-P 18/05 Tratamentos Superficiais. Curitiba.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT), 2009. Estimativa De Volume Médio Diário Anual. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT), 2006. Norma 031, Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço. Rio de Janeiro.
- GIUBLIN, C. R. 2008. O Concreto Pega a Estrada. CIMENTOS ITAMBE. Curitiba.
- SENÇO, D. W. 2007. Manual de Técnicas de Pavimentação Volume 01. 2 ed. São Paulo: Pini.