

Estudo Comparativo Técnico-Econômico de Projetos de Pavimentos em Uma Via Urbana de Grande Fluxo na Cidade de Natal/RN

Emilly Silva Ferreira

Graduanda em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, f.emilly@escolar.ifrn.edu.br

Gleydson do Nascimento Ferreira da Silva

Graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, gleydson.n@escolar.ifrn.edu.br

Enio Fernandes Amorim

Professor Efetivo, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, enio.amorim@ifrn.edu.br

Ricardo Nascimento Flores Severo

Professor Titular, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, ricardo.severo@ifrn.edu.br

Sarah Araújo Costa

Professora Titular, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, sarah.costa@ifrn.edu.br

RESUMO: Nas grandes e médias cidades brasileiras tem sido empregada infraestrutura rodoviária para a organização do transporte público. Em Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte, foram elaboradas duas propostas de pavimento para um trecho de uma via de grande fluxo. O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo comparativo técnico financeiro entre a aplicação de um pavimento flexível, em concreto asfáltico, e outro com pavimento rígido, em concreto hidráulico. A metodologia adotada para realizar o estudo será por meio de análise comparativa de planilhas orçamentária e propriedades técnicas verificadas através dos quantitativos por quilômetro considerando uma estimativa de vida útil idêntica para os dois projetos. Concluiu-se que a proposta do projeto em pavimento flexível tem menor custo, porém destaca-se que o mesmo irá requerer maior número de manutenções. Além do mais, do ponto de vista ambiental, este pavimento aproveita o material residual de refinarias de petróleo e economiza o uso de matérias-primas essenciais para fabricação do cimento Portland. O projeto em concreto hidráulico tem um custo mais elevado, em contrapartida, apresenta maior durabilidade e requer menor número de manutenção. Diante disso, para o projeto da via considerada em função de outros fatores como clima, crescimento de tráfego e histórico de manutenções frequentes no pavimento flexível sugere-se a execução do projeto em pavimento rígido.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto de Pavimentos, Pavimento Flexível, Pavimento Rígida, Análise comparativa.

ABSTRACT: In Brazilian large and medium cities, road infrastructure has been employed for organizing public transportation. In Natal, the capital of Rio Grande do Norte state, two pavement proposals were developed for a segment of a high-traffic road. The aim of this work was to conduct a technical and financial comparative study between the application of flexible pavement, using asphalt concrete, and rigid pavement, using hydraulic concrete. The methodology adopted for the study involved a comparative analysis of budget spreadsheets and technical properties assessed through quantity per kilometer, considering an identical estimated lifespan for both projects. It was concluded that the proposal for the flexible pavement project has a lower cost; however, it is noted that it will require more maintenance. Furthermore, from an environmental

perspective, this pavement utilizes residual materials from oil refineries and conserves the use of essential raw materials for Portland cement production. The hydraulic concrete project has a higher cost; however, it exhibits greater durability and requires fewer maintenance interventions. Therefore, considering other factors such as climate, traffic growth, and a history of frequent maintenance on flexible pavement, it is suggested to implement the rigid pavement project for the considered road project.

KEYWORDS: Pavement Design, Flexible Pavement, Rigid Pavement, Comparative Analysis.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil em 2023 existiam cerca de 213,5 mil quilômetros de rodovias pavimentadas, de acordo com Confederação Nacional de Transportes – CNT, (2023), divididas em vias estaduais e federais, e em diferentes tipos de revestimentos. Este estudo também avaliou a importância da malha rodoviária, que concentra 65% da movimentação de cargas e 95% do transporte de passageiros do país. Esta pesquisa da CNT por fim sinalizou que com a atual situação das rodovias brasileiras, é possível observar que aspectos ambientais e econômicos do setor são negativamente impactados, sendo que mais de 50% de todas as rodovias estão em estado péssimo, ruim ou regular.

Com essa importância socioeconômica das vias de tráfego, tem-se a necessidade de analisar a viabilidade de implantação e manutenção desse meio. Matias (2022) sugere alguns de fatores limitantes para as escolhas do tipo de material a ser usado na composição das vias rodoviárias, que são a necessidade de ser embasado nas características da região e da análise do ponto de vista econômico.

De acordo com DNIT (2005), o processo construtivo de pavimentação está dividido em camadas distintas. A primeira é o subleito constituída por solo natural ou material compactado, e serve como base para as camadas superiores. Seguindo temos a camada de reforço de subleito, pouco usada atualmente. Posteriormente as camadas sub-base e de base compostas por melhores materiais com a obrigação de absorver as cargas e às distribuir para as camadas inferiores.

Com relação a manutenção dos revestimentos, Silva Filho (2011), relacionou a vida útil dos pavimentos onde resultou que diferentemente do pavimento flexível, que possui vida útil menor em média de dez anos, o pavimento rígido tem uma vida útil superior a vinte anos, não oxidando, resistente a ação de combustíveis, óleos veiculares e ação das chuvas e do sol, e atua como impermeabilizante.

Pereira (2019), esclarece alguns conceitos a respeito dos tipos de revestimento “pavimento flexível é composto por revestimento asfáltico, já o pavimento rígido é composto no seu revestimento por placas de concretos de cimento Portland”.

A durabilidade superior do pavimento rígido se configura como um fator crucial para a economia a longo prazo. Sua vida útil estimada de mais de vinte anos contrasta com a do pavimento flexível, que dura em média menos de dez anos. Essa diferença significativa na durabilidade impacta diretamente nos custos de reposição e na qualidade da via, garantindo um retorno do investimento mais vantajoso para o pavimento rígido.

Nesse trabalho foram estudados dois tipos de revestimento, o asfáltico e o de concreto hidráulico com o objetivo de fazer o comparativo técnico econômico da viabilidade entre o pavimento em concreto asfáltico e a pavimentação em concreto de cimento Portland, em uma importante rodovia situada na cidade de Natal no estado do Rio Grande do Norte.

1.1 Identificação de objeto de estudo

A avenida Felizardo Firmino Moura (Figura 1) tem a importante função de ser uma das principais formas de conexão entre os dois polos da cidade de Natal/RN. Atualmente circulam pela via cerca de 70 mil veículos por dia, de acordo com a Prefeitura de Natal (2023).

O trecho de estudo está compreendido entre a ponte Presidente Costa e Silva e o viaduto da Urbana, corresponde a 2km de extensão. Na imagem 1, sinalizado de azul, mostra o trecho de estudo destacado e a vizinhança, para melhor localização.



Figura 1. Trecho de estudo na avenida Felizardo Firmino Moura.

2 METODOLOGIA

2.1 Pavimento rígido método PCA/84

Para o desenvolvimento do trabalho utilizou-se do método PCA/84 para pavimentos rígidos refere-se a uma abordagem de projeto e dimensionamento desenvolvida pelo Portland Cement Association (PCA) em 1984. Este método é utilizado para calcular as espessuras e capacidades estruturais necessárias para pavimentos de concreto, levando em consideração fatores como tráfego, solo de fundação, e propriedades dos materiais de construção.

Foi verificado o coeficiente de recalque a partir do CBR (California Bearing Ratio) ou ensaio ISC (Índice de suporte Califórnia) e definido a espessura da sub-base, pelo coeficiente do ábaco da Figura 2. O Ensaio CBR é Normatizado pela NBR9895 de 10/2016: Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio.

Valor de suporte do subleito		Coeficiente de recalque no topo do sistema (MPa/m), para espessuras de sub-base iguais a (cm)			
CBR(%)	k(MPa/m)	10	15	20	30
2	16	19	22	27	33
3	24	27	31	37	45
4	30	34	38	44	54
5	34	38	42	49	59
6	38	42	46	53	65
7	41	45	50	56	69
8	44	48	53	60	72
9	47	52	56	63	76
10	49	54	58	65	79
11	51	56	60	67	81
12	53	58	62	69	84
13	54	59	63	70	85
14	56	61	65	72	87
15	57	62	66	73	88
16	59	64	68	75	91
17	60	65	69	76	92
18	61	66	70	77	93
19	62	67	71	78	94
20	63	68	72	79	96

Figura 2 – Aumento de k devido à presença de sub-base granular

Com posse desses dados foi feita a análise de fadiga, verificando quais as tensões equivalentes para cada eixo, onde são divididas pela resistência característica à tração na flexão, assim encontrando o fator de fadiga. Do mesmo modo da análise de fadiga, também encontra-se a análise de erosão através dos ábacos apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

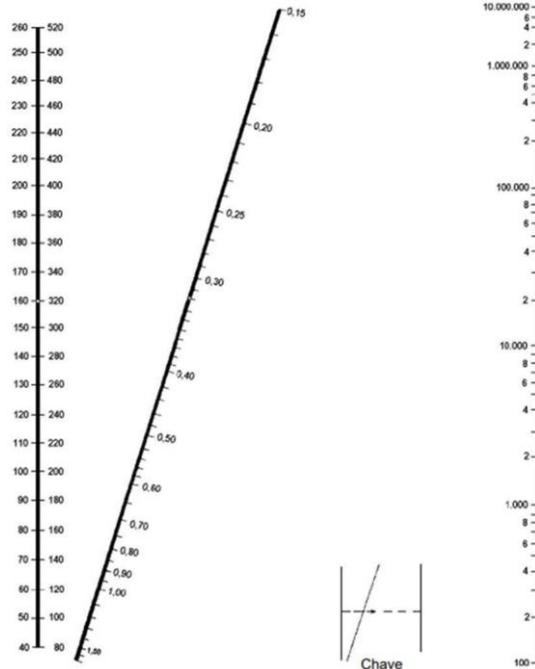


Figura 3 – Análise de Fadiga: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Fadiga (com e sem acostamento de concreto)

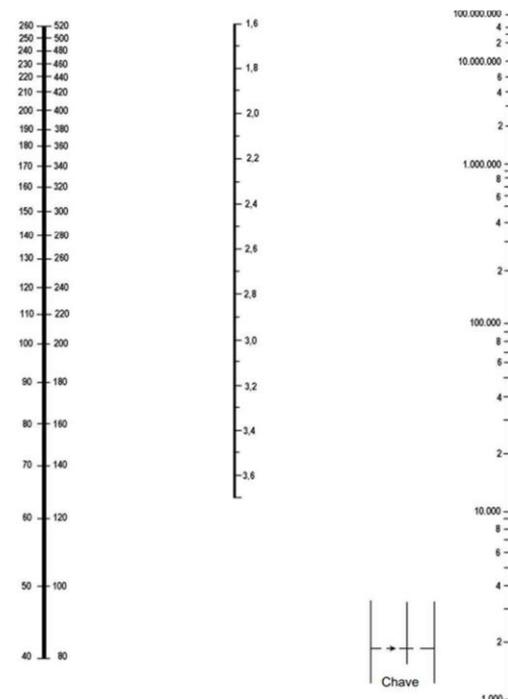


Figura 4 – Análise de Erosão: número admissível de repetições de carga em função do Fator de Erosão (com acostamento de concreto)

2.2 Pavimento flexível método do prof. Murilo Lopes

O método de dimensionamento proposto pelo Eng. Murilo Lopes de Souza, com base no ensaio CBR de O. J. Porter, no Índice de Grupo, de Steelee e no que se refere ao tráfego, apresentado no trabalho “Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume”, da autoria de W. J. Turnbull, C. R. Foster e R. G. Alvhin, do Corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U. e com conclusões obtidas na Pista Experimental da AASHTO. Os dados correspondentes aos coeficientes de equivalência estrutural são baseados nos resultados do The AASTHO Road Test, levado a cabo nas proximidades de Ottawa, Estado de Llinois, no período de 1958 a 1960. Este método depende das seguintes análises: do subleito, tráfego e materiais das camadas (dimensionamento).

Diante das informações do trecho conseguimos chegar a um valor de “N”. O dimensionamento é baseado em duas variáveis: a capacidade de suporte do solo de fundação (IS), e o Número “N” que representa o carregamento a que este pavimento será submetido.

Para determinar as espessuras das camadas do pavimento é preciso saber qual tipo de revestimento e optar pelo material utilizado nas camadas suporte do pavimento (base, sub-base e reforço do subleito). O tipo de revestimento é determinado através da Tabela 1.

Tabela 1. Espessuras mínimas de revestimento betuminoso.

N	Espessura Mínima de Revestimentos Betuminosos
$N \leq 10^6$	Tratamentos Superficiais Betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos Betuminosos com 5,0 cm de Espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Revestimentos Betuminosos com 7,5 cm de Espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Revestimentos Betuminosos com 10,0 cm de Espessura
$N > 5 \times 10^7$	Revestimentos Betuminosos com 12,5 cm de Espessura

Uma vez determinado que o revestimento é escolhido o tipo de material usado nas camadas de suporte, deve-se determinar os Coeficientes de Equivalência Estrutural conforme Manual de Pavimentação do DNIT, 2006 (pág.146). Cada camada tem seu próprio coeficiente e seus valores podem ser encontrados na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes de Equivalência Estrutural.

Componentes do Pavimento	Coefficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,7
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,4
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,2
Camada granulares	1
Solo cimento com resistência a compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,7
idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28kg/cm	1,4
idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,2

Com os coeficientes de equivalência estrutural determinados, utilizam-se inequações para determinar as espessuras das camadas do pavimento. Realizando a leitura do gráfico, aplicando a expressão e resolvendo as

inequações conseguimos chegar aos resultados.

Devido a ausência do módulo de resiliência foi impossível realizar dimensionamento adicional para o pavimento flexível utilizando o método Medina, que requer um, agrupamento de dados específicos e detalhados relacionado ao módulo de resiliência da resistência, para afirmar as características necessárias e a durabilidade do pavimento. Em razão dessa restrição, a metodologia de dimensionamento ficou limitada ao método Murilo Lopes, que tem como requisito um conjunto alternativo de dados diferentemente do método Medina. Com isso, a análise e dimensionamento do pavimento flexível foi realizado exclusivamente através do método de Murilo Lopes.

Conforme o pavimento flexível sofreu limitações devido à escassez de informações o pavimento rígido também teve restrições por isso optou-se apenas a utilização do método PCA/84 para fins de cálculo e análises.

3 RESULTADOS

A partir do dimensionamento foram definidas os valores das espessuras, em centímetros, das camadas dos diferentes revestimentos segundo a Tabela 3.

Tabela 3. Espessura das camadas.

Camada	Revestimento flexível	Revestimento rígido
Reforço do subleito	60	-
Sub-base	20	15
Base	15	-
Revestimento	10	21

Na figura 5, traz um esquema representativo do pavimento rígido e na figura 6 do pavimento flexível e em escala dos dois casos com suas determinadas espessuras.

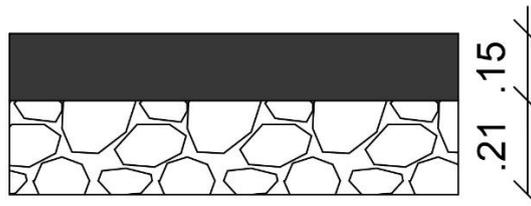


Figura 5. Esquema representativo do pavimento rígido.

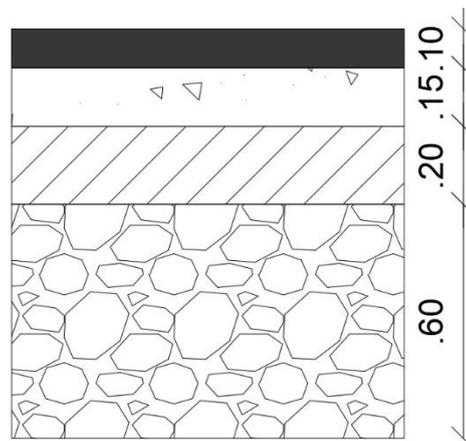


Figura 6. Esquema representativo do pavimento flexível.

Com esses dados e correlacionado ao valor da implementação de cada um foi gerado o gráfico apresentado na Figura 7, dados do DNIT, através do sistema SICRO, 2023, onde é apresentado, exclusivamente, o valor de implementação por metro cubico de material.

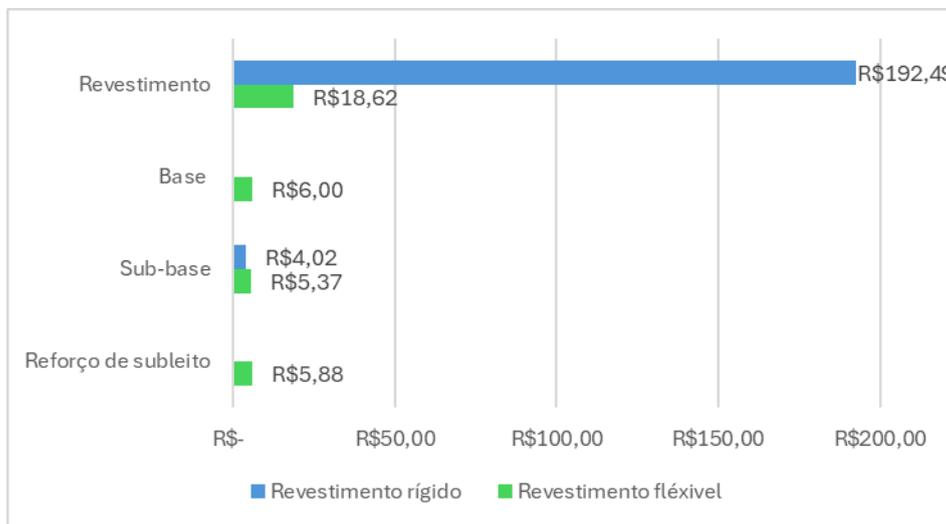


Figura 7. Gráfico custo e volume de material.

Para as camadas definidas no projeto, para um trecho de 1 m² teria-se a comparativo de valores de acordo com a tabela 4.

Tabela 4. Valor de um metro quadrado.

Camada	Revestimento flexível (1,00 m x 1,00 m)		Revestimento rígido (1,00 m x 1,00 m)	
Reforço de subleito	R\$	3,53	R\$	-
Sub-base	R\$	1,07	R\$	0,60
Base	R\$	0,90	R\$	-
Revestimento	R\$	1,86	R\$	40,42
Total de instalação em 1,00 m ²	R\$	7,36	R\$	41,03

Sendo assim observa-se que o valor da implementação é, consideravelmente, mais caro para o pavimento rígido, entretanto vale salientar que tendo em vista o número de manutenções, correções, surgimento e tratamento de manifestações patológicas, e os transtornos para a execução desses serviços tendo vários fatores que tratam desses meios.

4 CONCLUSÃO

Comparando os dois tipos de pavimentos propostos em projeto, conclui-se que entre o pavimento flexível em concreto asfáltico e o pavimento rígido em concreto hidráulico, a escolha ideal depende de uma análise criteriosa dos custos, durabilidade, manutenções, sustentabilidade e do contexto específico da via.

A escolha entre o concreto hidráulico se apresenta como a opção adequada para o projeto da via Felizardo Firmino Moura em Natal, devido à sua maior durabilidade, menor necessidade de manutenções e menor impacto ambiental. Levando em conta a grande perturbação durante as manutenções no histórico da via, viabiliza a escolha do pavimento rígido.

O valor de implementação é maior em pavimento rígido revertido em sugestão de um comparativo interligando o valor de manutenção e até mesmo uma pesquisa qualitativa correspondendo o transtorno aos usuários do meio e da vizinhança afetada durante as obras.

Concluiu-se que a proposta do projeto em pavimento flexível tem menor custo, porém destaca-se que o mesmo irá requerer maior número de manutenções. Além do mais, do ponto de vista ambiental, este

pavimento aproveita o material residual de refinarias de petróleo e economiza o uso de matérias-primas essenciais para fabricação do cimento Portland. O projeto em concreto hidráulico tem um custo mais elevado, em contrapartida, apresenta maior durabilidade e requer menor número de manutenção. Diante disso, para o projeto da via considerada em função de outros fatores como clima, crescimento de tráfego e histórico de manutenções frequentes no pavimento flexível sugere-se a execução do projeto em pavimento rígido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR9895 (2016): Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12131 (2206). Estacas- Prova de carga estática: método de ensaio.
- CNT Pesquisa de rodovias, Brasília : CNT : SEST SENAT : ITL, 2023.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT – IPR 719. Manual de Pavimentação. 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT lança novo Sistema de Custos Referenciais de Obras –SICRO, 2023.
- MATIAS, Rubens Feitosa. Revisão bibliográfica sobre pavimento rígido e pavimento flexível considerando dimensionamento e custos. 2022.
- PEREIRA, Paula Ulysséa. Gestão da mudança em processos internos: um estudo em empresa de engenharia de pavimentação e construção de estradas. 2019.
- Prefeitura de Natal (2023). **Conjunto de obras da Prefeitura melhora a malha viária de Natal**. 2024. Disponível em < <https://www.natal.rn.gov.br/news/post2/40631> > Acessado em 04 de julho de 2024.
- SILVA FILHO, Augusto Lins e. Estudo Comparativo de Viabilidade Técnica e Econômica Entre Pavimentos Rígido e Flexível Aplicados a Rodovia BR-408/PE. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade do Vale do Ipojuca – FAVIP, Caruaru, 2011
- TURNBULL, Willard Jay; AHLVIN, Richard Glen; FOSTER, Charles R. Design of flexible pavements considering mixed loads and traffic volume. Waterways Experiment Station, 1962.