

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

MARA PAULA CARVALHO PEREIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAVIMENTO  
RÍGIDO E PAVIMENTO FLEXÍVEL**

Paracatu

2019

MARA PAULA CARVALHO PEREIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAVIMENTO RÍGIDO E PAVIMENTO  
FLEXÍVEL**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Felipe Neto Vasconcelos

Paracatu

2019

MARA PAULA CARVALHO PEREIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAVIMENTO RÍGIDO E PAVIMENTO  
FLEXÍVEL**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Pavimentação.

Orientador: Prof. Msc. Felipe Neto Vasconcelos

Banca Examinadora:

Paracatu- MG, 19 de novembro de 2019.

---

Prof. Msc. Felipe Neto Vasconcelos  
Centro Universitário Atenas

---

Prof. Matheus Dias Ruas  
Centro Universitário Atenas

---

Prof. Dr. Alexandre Almeida Oliveira  
Centro Universitário Atenas

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e pelas grandes coisas que tem me proporcionado.

Agradeço aos meus pais, Vilma e Vicente, pelo apoio e força de sempre, sem o apoio de vocês não teria conseguido chegar até aqui.

Agradeço aos meus irmãos Lídia e Breno, pelo companheirismo e parceria.

Agradeço ao meu marido Mailson, por estar sempre ao meu lado me dando apoio e força para seguir em frente com os meus ideais, obrigada pela compreensão e paciência, você é um dos responsáveis pela minha vitória.

Deixo a minha gratidão e sincera admiração a todos os professores que participaram da minha formação.

Agradeço ao meu orientador Felipe Neto Vasconcelos, pela paciência e aos vastos conhecimentos me repassados durante a elaboração deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma foram importantes para que este momento se concretizasse.

## RESUMO

O presente trabalho tem por finalidade comparar os pavimentos rígidos e flexíveis, ambos muito utilizados na malha rodoviária brasileira, estes têm a função de propiciar segurança e conforto aos usuários. Será apresentado a estrutura destes pavimentos, bem como suas características e composições, suas patologias, manutenções, vida útil, entre outros. Esta análise visa compreender o melhor pavimento no ponto de vista econômico e técnico, demonstrando qual destes apresenta melhor custo/benefício em diferentes tipos de estradas, desde vias com grande concentração de veículos pesados a vias de poucos veículos leves. Para chegar ao fim do estudo com resultados satisfatórios foram utilizados diversos autores para compor o levantamento bibliográfico.

**Palavras-Chave:** Pavimento Rígido. Pavimento Flexível. Custo/Benefício

## **ABSTRACT**

*The purpose of the present work is to compare the hard pavement and the flexible pavement, both most used in the Brazilian road network, these have the function of providing safety and comfort to users. It will be presented the structure of these floors, as well as their characteristics and compositions, their pathologies, maintenance, useful life, among others. This analysis aims to understand the best pavement from the technical and economic point of view, demonstrating which one has the best cost / benefit on different types of roads, from high heavy vehicle to low light vehicle roads. To arrive at a comparative study with satisfactory results, several authors were used to compose the bibliographic survey.*

**Keywords:** *Hard Floor. Flexible floor. Cost benefit*

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CNT	Confederação Nacional do Transporte
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
SciELO	Scientific Electronic Library Online
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EUA	Estados Unidos da América
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
CBUQ	Concreto Betuminoso a Quente

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> – Reação dos pavimentos quando as cargas são aplicadas	16
<b>FIGURA 2</b> – Pavimento Flexível em rodovia	17
<b>FIGURA 3</b> – Pavimento Rígido	17
<b>FIGURA 4</b> – Caminho do Mar, em São Paulo	19
<b>FIGURA 5</b> – Ponte Rio Niterói	20
<b>FIGURA 6</b> – Estrutura do pavimento flexível	23
<b>FIGURA 7</b> – Estrutura do pavimento rígido	25
<b>FIGURA 8</b> – Afundamentos em pavimentos asfálticos	30



## LISTA DE TABELAS

**TABELA 1 – Comparativo entre pavimento flexível e pavimento rígido**

31

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>1.1 PROBLEMA</b>	<b>11</b>
<b>1.2 HIPÓTESES</b>	<b>11</b>
<b>1.3 OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
<b>1.3.1 OBJETIVO GERAL</b>	<b>12</b>
<b>1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>12</b>
<b>1.4 JUSTIFICATIVA</b>	<b>12</b>
<b>1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO</b>	<b>13</b>
<b>1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>15</b>
<b>2.1 A IMPORTÂNCIA DOS PAVIMENTOS NAS ESTRADAS</b>	<b>15</b>
<b>2.2 PAVIMENTO FLEXÍVEL</b>	<b>16</b>
<b>2.3 PAVIMENTO RÍGIDO</b>	<b>17</b>
<b>3 CONCEITOS E FUNÇÕES DOS PAVIMENTOS</b>	<b>19</b>
<b>3.1 HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL</b>	<b>19</b>
<b>3.2 OS PAVIMENTOS RODOVIARIOS NO SECULO XXI</b>	<b>21</b>
<b>3.3 PAVIMENTAÇÃO SUSTENTAVEL</b>	<b>22</b>
<b>3.4 ASFALTO BORRACHA</b>	<b>22</b>
<b>4.0 COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS PAVIMENTOS</b>	<b>23</b>
<b>4.1 ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS</b>	<b>23</b>
<b>4.1.1 ESTRUTURA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL</b>	<b>23</b>
<b>4.1.2 ASFALTO</b>	<b>24</b>
<b>4.1.3 PRÉ – MISTURADO A FRIO (PMF)</b>	<b>24</b>
<b>4.1.4 PRÉ – MISTURADO A QUENTE</b>	<b>24</b>
<b>4.2 ESTRUTURA DO PAVIMENTO RÍGIDO</b>	<b>25</b>
<b>4.2.1 CARACTERÍSTICAS DO PAVIMENTO RÍGIDO</b>	<b>26</b>
<b>4.2.2 PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES</b>	<b>26</b>
<b>4.2.3 PAVIMENTO DE CONCRETO ARMADO</b>	<b>26</b>
<b>4.2.4 WHITETOPPING</b>	<b>27</b>
<b>5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O PAVIMENTO RÍGIDO E PAVIMENTO FLEXÍVEL</b>	<b>28</b>
<b>5.1 CUSTOS DE CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO</b>	<b>28</b>

<b>5.2 VIDA ÚTIL</b>	28
<b>5.3 SEGURANÇA</b>	29
<b>5.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS</b>	29
<b>5.5 PATOLOGIAS</b>	29
<b>5.5.1 AFUNDAMENTOS</b>	30
<b>5.5.2 FISSURAS E TRINCAS</b>	30
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	33
<b>REFERÊNCIAS</b>	34

## **1 INTRODUÇÃO**

O transporte brasileiro é predominantemente rodoviário, segundo a Confederação Nacional de Transportes - CNT no ano de (2009) de toda a carga transportada no Brasil 61,1% utilizou o transporte por modal rodoviário; 21,0% o modal ferroviário, 14% utilizaram o modal hidroviários, e apenas 0,4% por meio do modal aéreo.

Isto posto, se faz justificável a construção de estradas capazes de suportar as cargas solicitantes dos veículos, garantindo a população deslocamentos com altos níveis de segurança e conforto, são dois tipos de pavimentos predominante em nosso país, flexível e rígido. O pavimento flexível é composto por revestimento asfáltico, já o pavimento rígido é composto no seu revestimento por placas de concretos de cimento Portland.

Assim, faz-se necessário conhecer cada tipo de pavimento, a fim de, se obter o melhor tipo para cada construção, levando em consideração a vida útil, impactos ambientais, custo benefício, viabilidade técnica e econômica e principalmente, segurança e conforto nas vias.

Tendo em vista os aspectos observados, o objetivo deste trabalho é realizar um estudo comparativo entre o pavimento rígido e o pavimento flexível quando estes são implantados em rodovias. Logo, será desenvolvida uma revisão bibliográfica a fim de, apresentar as estruturas dos pavimentos, analisar suas características, composições e o processo executivo.

### **1.1 PROBLEMA**

Dentre os tipos de pavimentos analisados qual representa melhor custo benefício para a construção civil?

### **1.2 HIPÓTESE**

A) O pavimento rígido seria recomendado em vias de tráfego pesado por apresentar resistência e conseqüentemente vida útil superior ao flexível.

B) O pavimento flexível possui menor durabilidade e valor inferior ao pavimento rígido se comparados a curto prazo, além de propiciar aos usuários menor

conforto e segurança, dessa forma, apresentaria menor custo benefício.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho é fazer uma comparação entre os dois principais tipos de pavimentos mais aplicados nas estradas brasileiras, pavimento flexível (asfalto) e pavimento rígido (concreto).

#### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Conceituar pavimentação;
- b) Apresentar as estruturas e características dos pavimentos;
- c) Análise comparativa entre o pavimento rígido e o pavimento flexível.

### **1.4 JUSTIFICATIVA**

Segundo a CNT (2009) as estradas do país são compostas por 99% de malha asfáltica, o que pode ser explicado pelo menor valor a curto prazo em seu uso, entretanto, uma análise sistemática da aplicação do pavimento rígido poderia demonstrar maior custo benefício a longo prazo.

A escolha deste tema vem da importância de compreender o comportamento dos pavimentos em situações adversas, afim de obter o melhor para cada situação, além de analisar suas principais características, vantagens e desvantagens, custo benefício e vida útil.

Compreende-se que devemos conhecer bem cada pavimento para aplicá-los de forma correta, afim de se obter o melhor custo benefício e uma longa vida útil.

O pavimento tem por objetivo proporcionar a população mais segurança, conforto e economia, haja vista que as mercadorias brasileiras são por maioria transportadas pelo modal rodoviário. Logo, manter as rodovias em boas condições, com sistema de drenagem de qualidade, infraestruturas complementares e aplicação de revestimento adequado, todos estes citados contribuem para um país mais rico economicamente e seguro.

A engenharia apresenta junto a diversos exemplares e manuais, a importância da pavimentação no dia a dia, abordando diversos estudos com diferentes tipos de materiais e revestimentos, além de apresentar a melhor forma de realizar a restauração quando estes já se encontram deteriorados. Será apresentado como exemplo neste trabalho, apenas o pavimento rígido e o flexível, ambos muito utilizados nas rodovias brasileiras.

## **1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO**

A pesquisa proposta trata-se de uma revisão bibliográfica, portanto, descritiva, apresentando as características dos pavimentos rígido e flexível, e comparando-os em diversos aspectos, como durabilidade, resistência e custos para aplicação. De acordo com Boente e Braga (2004), a revisão bibliográfica é o ponto inicial de toda pesquisa científica, se dando através do levantamento de informações coletadas em livros e artigos científicos devidamente publicados, afim de explanar o tema proposto e apresentá-lo a sociedade.

Segundo Conforto e Amaral (2011) a revisão bibliográfica é um método científico de pesquisa em que ocorre busca e análise de diversos artigos sobre o tema de interesse.

Este trabalho também pode ser caracterizado por uma pesquisa exploratória a qual visa um conhecimento amplo do assunto em questão, tornando-o mais explícito, de modo que possa ser melhor exposto, (BOENTE e BRAGA, 2004).

Foi pesquisado nas bases de dados Google Acadêmico, CAPES e SciELO utilizando os termos “pavimentos”, “tipos de pavimento”, “pavimento flexível”, “pavimento rígido”, “transporte rodoviário no Brasil”, selecionando artigos de até 10 anos relacionados ao tema, nas linguagens português, espanhol e inglês. Após, foi realizada seleção dos artigos, escolhendo aqueles de fontes científicas confiáveis, baseadas em evidências, que contemplavam as respostas dos objetivos propostos.

## **1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO**

O primeiro capítulo deste estudo descreve a importância dos pavimentos, apresentando sua evolução ao longo dos anos, conceituando e apresentando os pavimentos.

O segundo capítulo consiste em apresentar os pavimentos e apresentar de forma prática sua utilização na construção civil, apresentando suas camadas e composições.

O terceiro capítulo é realizada uma análise comparativa entre o pavimento rígido e o pavimento flexível, nesta análise é levado em consideração vários fatores.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A IMPORTÂNCIA DOS PAVIMENTOS NAS ESTRADAS

Vários fatores devem ser levados em consideração na escolha do revestimento. Segundo Balbo (2007) pavimentar uma via proporciona o aumento de tráfego, haja vista que o pavimento apresenta um rolamento mais aderente e com menos irregularidades, assim, os usuários terão mais segurança e comodidade.

De acordo com a CNT (2009), as rodovias brasileiras são projetadas com vida útil de 8 a 12 anos, nos EUA essa média é de 25 anos, isto posto, compreende-se a importância de conhecer e aplicar o pavimento correto, afim de buscar melhores condições a longo prazo e proporcionar aos usuários segurança a qualquer necessidade emergencial, como frenagens.

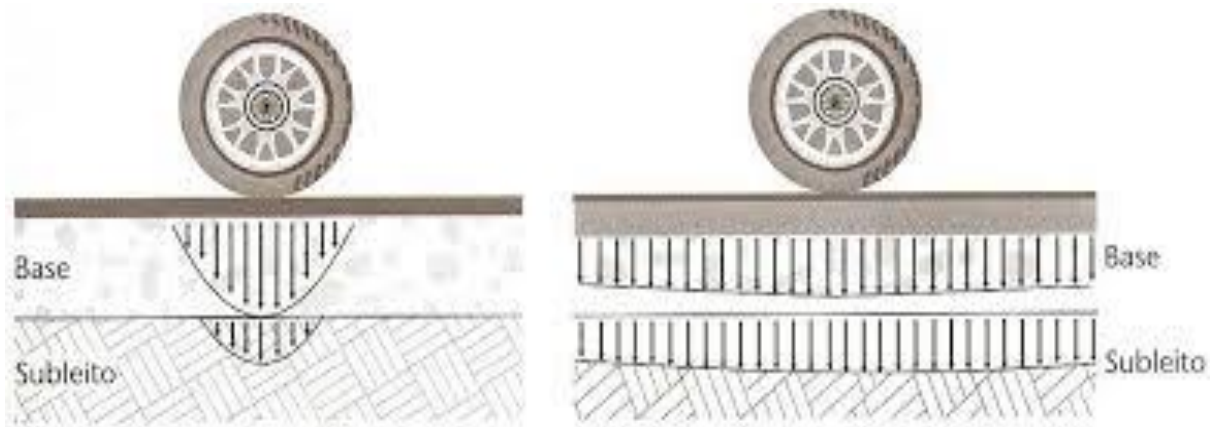
O pavimento recebe e transmite os esforços vindos dos veículos, afim de diminuir a pressão nas camadas inferiores. Segundo Balbo (2007), o pavimento possui camadas com funções específicas, que em qualquer ação climática deve proporcionar aos veículos condições adequadas de rolamento.

Definição de cada camada da estrutura do pavimento segundo o DNER (2017):

- a) Base: camada que alivia os esforços advindos dos veículos repassando para as camadas inferiores;
- b) Sub-base: camada que complementa à base, tendo as mesmas características e funções, porém, recebe menos tensão;
- c) Subleito: Camada mais interna do pavimento, sendo a fundação do pavimento;
- d) Reforço de subleito: camada com a função de diminuir a carga do subleito, funcionando como um suporte ao mesmo, camada construída com material granular.
- e) Revestimento: camada responsável por receber diretamente os esforços oriundos dos veículos e a que oferece condições seguras ao rolamento.



Figura 1: Reação dos pavimentos quando cargas são aplicadas



Fonte: (Balbo 2007).

A imagem acima demonstra como os dois pavimentos reagem quando as cargas são aplicadas, a placa do pavimento de concreto absorve grande parte das cargas e tensões, no pavimento de asfalto estas são divididas entre as camadas inferiores. Para Balbo (2007) os pavimentos apresentam diferentes comportamentos quando as cargas oriundas dos veículos são aplicadas, ambos possuem suas vantagens e desvantagens, quando for feita a escolha do tipo de pavimento a ser aplicado, vários fatores devem ser levados em consideração, os tipos de veículos que vão utilizar a via, as características do local de aplicação do revestimento, entre outros.

## 2.2 PAVIMENTO FLEXÍVEL

O pavimento flexível é o mais utilizado nas rodovias do país, este permite a união de vários materiais agregados na sua composição, o custo de investimento para a pavimentação asfáltica é relativamente baixo se comparado ao rígido. Para Bernucci (2010), o pavimento asfáltico é composto de agregados, correspondendo de 90% a 95% deste material, este revestimento deve suportar as cargas oriundas do tráfego e transmiti-las as demais camadas inferiores, o material betuminoso representa em média 7,5% do asfalto, este apresenta ação impermeabilizante e aglutinante.

Figura 2: Pavimento Flexível em rodovia.



Fonte: (Rodocon, 2017)

Para Bernucci (2010), a manutenção neste pavimento deve ser frequente devido sua composição. As frenagens, carga em excesso e derramamento de óleo diesel são os principais fatores para as deformações no revestimento. O pavimento rígido diferentemente do flexível é extremamente resistente a ataques químicos, necessitando de poucas manutenções durante sua vida útil.

### 2.3 PAVIMENTO RÍGIDO

O pavimento rígido é recomendado em vias de tráfego intenso e pesado, sua construção apresenta valores elevados a curto prazo, este pavimento se construído com materiais de qualidade e da maneira correta pode permanecer anos sem precisar de manutenção. Para Bernucci (2010), os pavimentos rígidos são compostos por placas de concreto, este revestimento apresenta elevada rigidez, absorvendo grande partes das cargas e tensões provenientes do carregamento.

Figura 3: Pavimento Rígido



Fonte: (Revista Vias Concretas, 2017)

O pavimento rígido apresenta maior resistência ao longo dos anos, com pouca manutenção, as placas de concreto do revestimento são rejuntadas, proporcionando maior resistência e rigidez. A manutenção neste pavimento é mais complicada, sendo necessário a substituição da placa inteira. Segundo o DNIT (2006), o pavimento de concreto é composto por cimento Portland, areia, agregado e água.

Para Balbo (2007), o pavimento proporciona aos usuários mais conforto e segurança, seja em ruas, avenidas, rodovias ou aeroportos. A principal função das estradas é conseguir atender a demanda de tráfego de determinada região, fazendo com que as tarefas diárias se tornem rápidas e seguras, ao longo dos últimos anos o homem compreendeu a importância da pavimentação, aprimorando técnicas remotas, buscando conhecimento e testes cada vez mais avançados, afim de se obter o melhor custo/benefício com a construção de novas rodovias e estradas pelo país.

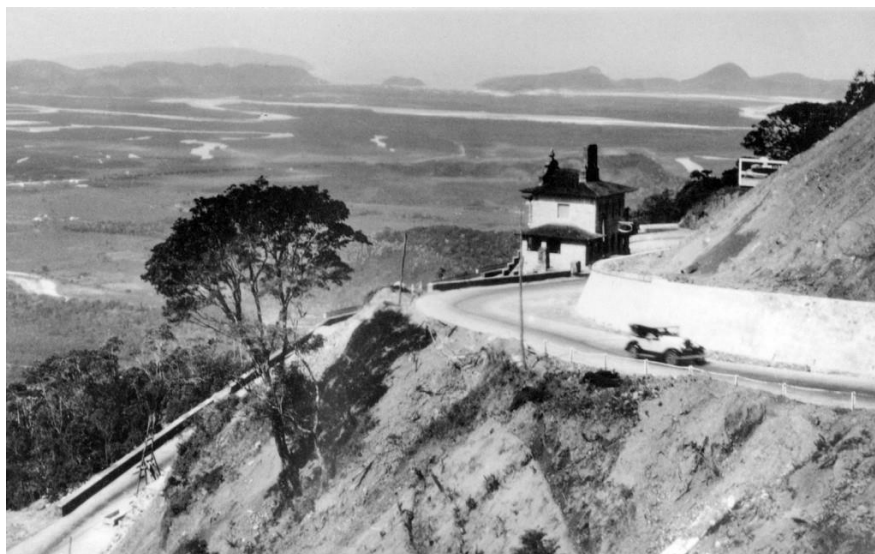
### 3 CONCEITOS E FUNÇÕES DOS PAVIMENTOS

Pavimentos são revestimentos formados acima de diversas camadas sobrepostas, afim de resistir e distribuir as cargas oriundas do trafego. Logo, conhecer seus tipos e suas funções é primordial. Segundo Senço (2007), os pavimentos são estruturas projetadas sobre a terraplanagem, com a finalidade de receber e distribuir os esforços verticais proveniente de diversos tipos de veículos, como automóveis, motocicletas, caminhões, ônibus, pedestres entre outros. No Brasil, várias formas e métodos foram estudadas durante os anos, afim de proporcionar mais resistência ao desgaste oriundo de forças horizontais, tornando a superfície do rolamento mais duradoura, confortável e segura para os usuários.

#### 3.1 HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL

Ao longo dos anos devido a necessidade de locomoção, a pavimentação foi ganhando importância e visibilidade, os pavimentos passaram por diversos estudos e análises, afim de buscar os melhores materiais para tipo de região. Segundo Reis (1995), o pavimento mais antigo que consta em registros e documentações no Brasil ocorreu em 1922, o Caminho do Mar em São Paulo teve parte de seu trecho feito de concreto cimento Portland

Figura 4: Caminho do Mar, em São Paulo, 06/07/1979



Fonte: <http://memoriasantista.com.br/?p=1361>

Em 1940, duas das principais vias de São Paulo estavam sendo construídas, Via Anhanguera e a Via Anchieta, além das primeiras autoestradas do país, o pavimento de concreto Portland foi usado em todas essas obras, pois este na época estava em alta na Alemanha, (BALBO, 2007).

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, o cimento passou a ser destinado a atender as necessidades da construção civil, os EUA nesta época começaram a desenvolver o uso do pavimento flexível com base em produtos betuminosos, o Brasil rapidamente aderiu a ideia, empregando em sua malha rodoviária a pavimentação quase que exclusiva asfáltica, (PITTA, 1998).

Nos anos seguintes ocorreu uma explosão do rodoviarismo no Brasil, na década de 60 todas as capitais do país já estavam ligadas por rodovias Federais, Exceto Manaus e Belém. O DNER estava com obras rodoviárias por todo país, como a Transamazônica, a Belém-Brasília, a Ponte Rio-Niterói, entre outras obras, o Brasil alcançou a incrível marca de 47 mil Km de rodovias pavimentadas na década de 80, (DNIT, 2006).

Figura 5: Ponte Rio Niterói



Fonte: (Revista Área, 2018)

No século XX e início do século XXI o país teve grandes obras rodoviárias construídas ao longo de todo país, porém, estas não tiveram a devida atenção dos governantes com manutenções e reparos, (CNT, 2009).

### 3.2 OS PAVIMENTOS RODOVIARIOS NO SECULO XXI

Os órgãos públicos devem discutir a manutenção e recuperação das rodovias brasileiras para que o país possa oferecer um sistema rodoviário com segurança e conforto para as pessoas, além disso o país precisa se preocupar com o grande prejuízo econômico, já que perde a chance de se desenvolver, não conseguindo mostrar para o mercado Europeu produtos competitivos, uma vez que o sistema rodoviário não possui trechos para fazer a conexão da produção para os terminais de exportação (BALBO, 2007).

De acordo com a CNT (2017) é necessário 10 bilhões de reais para reconstituir a malha viária Federal, o estudo comprovou que as estradas não estão proporcionando segurança e conforto aos brasileiros, estima-se que as rodovias brasileiras circulam cerca de 130 milhões de pessoas por ano. A economia brasileira é muito afetada com a situação precária das estradas, haja vista que se perde grande quantidade de carga e se tem alto custo com combustível e manutenção nos veículos. As estradas brasileiras apresentam qualidade imprópria, segundo a pesquisa 58,2% da extensão total dos pavimentos analisados, possuem problemas que podem trazer transtornos econômicos e sociais.

Ainda, conforme a CNT (2017), a extensão da malha viária brasileira é 1,73 milhões de quilômetros em extensão, estima-se que destes 212 mil são pavimentados, representando 12,3%, e apenas 3% são constituídas de pavimento de concreto, demonstrando a predominância do pavimento asfáltico em nosso país.

De acordo com o DNIT (2006), os pavimentos são divididos em três grupos: pavimento flexível (Asfáltico), rígido (concreto) e semirrígido, o último citado não será abordado neste trabalho. No pavimento flexível ocorre a deformação das camadas inferiores e as cargas são distribuídas igualmente entre elas, o revestimento deste pavimento é composto por materiais betuminosos, sendo possível a adição de borrachas moídas oriundas de pneus velhos, tornando esse tipo de pavimentação sustentável. O pavimento de concreto é caracterizado por sua elevada rigidez, se comparado com as camadas de sustentação e reforço que o compõe, este é responsável por receber, absorver e distribuir as cargas e tensões.

### **3.4 PAVIMENTAÇÃO SUSTENTÁVEL**

A engenharia através de estudos, análises e experimentos busca implementar meios para tornar a pavimentação menos agressiva ao meio ambiente. O grande desafio é encontrar materiais que mantenham a resistência, o custo, as características físicas e que seja sustentável. Para Ribas (2017), existem diversas técnicas e formas de execução afim de preservar os recursos naturais, como por exemplo, a reutilização de materiais asfálticos, a adição de polímeros na composição da massa asfáltica, a combinação de materiais como o asfalto borracha advindo de pneus inutilizáveis, dentre outros.

### **3.4 ASFALTO BORRACHA**

Este método consiste em adicionar pneus velhos inservíveis moídos ao asfalto, nesta mistura pode-se incluir aditivos, óleos, diluentes, entre outros. Segundo Wickboldt (2005), a técnica de incorporar a borracha de pneus ao asfalto está sendo utilizada a muitos anos no exterior.

Para Di Giulio (2007), no Brasil, a utilização de asfalto borracha foi aprovado em 1999 pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), são 220 pontos de coleta de pneus espalhados pelo Brasil, administrados pela Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos (ANIP).

A aplicação do asfalto borracha em rodovias e estradas brasileiras viabilizam várias vantagens, como por exemplo a sustentabilidade com a reutilização dos pneus que seriam descartados, e a qualidade do produto final, assim, compreender as características e composições dos pavimentos se torna necessário afim de buscar meio para contribuir no haja vista que o mesmo apresenta satisfatórios resultados no quesito custo/benefício. Wickboldt (2005).

## 4.0 COMPOSIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS PAVIMENTOS

Os pavimentos são classificados em rígidos, flexíveis e semirrígidos, no presente trabalho será abordado apenas os pavimentos asfálticos e os pavimentos rígidos, apesar de ambos serem os mais usados nas estradas brasileiras, é visível a predominância do pavimento flexível. Segundo Medina (1997), habitualmente consideramos duas categorias de revestimentos, o pavimento de asfalto que é constituído por revestimento betuminoso acima de solo granulométrico e estabilizado, e o pavimento de concreto que é formado por placas de concreto, podendo ser armadas ou não.

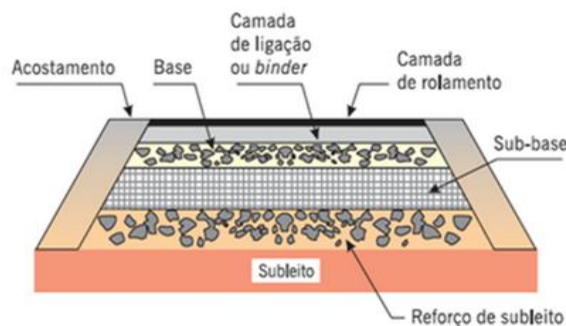
### 4.1 ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS

O pavimento flexível devido a interação entre suas camadas faz com que sua construção gere mais impactos devido à grande movimentação de terra. Para Guimarães Neto (2011), o pavimento de concreto apresenta estrutura simples e o pavimento flexível apresenta estrutura mais complexa, isto ocorre devido a forma que as cargas são absorvidas pelos revestimentos

#### 4.1.1 ESTRUTURA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

O pavimento asfáltico pode ser descrito como aquele que o carregamento é aplicado e distribuído sobre todas as camadas, fazendo com que estas recebam cargas relativamente iguais entre si, (DNIT, 2006).

Figura 6: Estrutura do pavimento flexível.



Fonte: (BERNUCCI, 2010)



As cargas e tensões provenientes dos veículos são distribuídas entre as camadas inferiores, devido as repetições de cargas no pavimento, as deformações e tensões tendem a ocasionar trincas por fadiga. O pavimento flexível é constituído por revestimento de materiais betuminosos ou asfáltico, suas camadas da base e da sub-base são formadas por materiais granulosos, (GONÇALVES, 1999).

#### **4.1.2 ASFALTO**

Classificado como ligante betuminoso, composto por hidrocarbonetos que se originam das técnicas de dilatação do petróleo, a mistura asfáltica possui diversas propriedades, composição e formas de aplicação, se tornando mole a temperatura aproximada de 150 °C a 200 °C, este é considerado de pouca reatividade e impermeável, (BERNUCCI, 2006).

#### **4.1.3 PRÉ – MISTURADO A FRIO**

É constituído de agregados e emulsão asfáltica que apresenta pouca viscosidade quando se encontra em temperatura ambiente, os agregados que o compõe podem ser pedra ou seixo britado para o agregado graúdo e areia e o pó de brita para formar o agregado miúdo, o material de enchimento conhecido como filer pode ser composto de diversos minerais, como por exemplo cal, cimento e pó de calcário. Para espalhar o pré misturado a frio as motoniveladoras podem ser usadas, porém as vibroacabadoras são as mais indicadas para evitar que o material se desagregue, (BALBO, 2007).

Segundo Abeda (2010), para obtenção do pré misturado a frio não é preciso de grandes investimentos, além disso o uso de motoniveladoras e vibroacabadoras facilita a aplicação do mesmo, fazendo com que este se torne cada vez mais competitivo no mercado, tendendo a ganhar grande visibilidade na forma prática de aplicação e o baixo valor de mercado.

#### **4.1.4 PRÉ – MISTURADO A QUENTE**

O concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), é o mais utilizado em ruas, avenidas e rodovias do país. A aplicação deste revestimento é feita em altas temperaturas, a mistura deste material é realizada em usinas especializadas, os

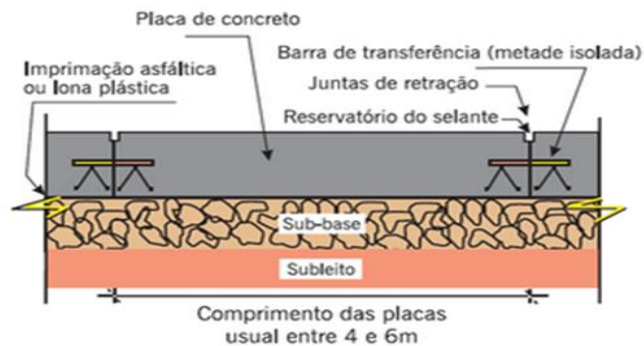
agregados utilizados na mistura podem ser graúdos ou miúdos, também é utilizado na composição o ligante asfáltico e o filler, (DNIT, 2006).

De acordo com Balbo (2007), na produção do CBUQ a dosagem dos agregados antes da usinagem e a garantia que os mesmos se encontram perfeitamente secos é de extrema importância para garantir a eficiência pretendida. No momento da aplicação do revestimento, para se obter a temperatura desejada de aplicação, vários fatores devem ser levados em consideração para que não ocorra patologias nos pavimentos, como por exemplo a distância do local de aplicação e a usina, o clima, o tipo de caminhão utilizado para fazer o transporte da mistura, entre outros.

## 4.2 ESTRUTURA DO PAVIMENTO RÍGIDO

O pavimento de concreto pode ser descrito como, o revestimento que tende a absorver as tensões provenientes das cargas oriundas dos veículos, por apresentar elevada rigidez em relação as camadas inferiores, (DNIT, 2006).

Figura 7: Estrutura do pavimento rígido.



(Fonte: BERNUCCI, 2010)

De acordo com Balbo (2009), as placas do revestimento rígido são constituídas de concreto, estas desempenham a função de revestimento e base, podendo ser armadas ou não.

#### **4.2.1 CARACTERÍSTICAS DO PAVIMENTO RÍGIDO**

O pavimento rígido, ou também chamado de pavimento de concreto, oferece maior segurança e conforto para os motoristas, além de economia e rapidez para quem constrói. Possui alta durabilidade e baixo custo de manutenção. Conforme manual do DNIT (2006), o pavimento de concreto possui uma rigidez elevada comparada às suas camadas inferiores, absorvendo grande parte das cargas oriundas dos veículos. Tendo essa como uma de suas principais características, é comum sua aplicação em aeroportos, corredores de ônibus, estradas e avenidas devido a maior resistência e durabilidade. Possui no mercado atualmente diferentes tipos de pavimentos rígidos, com diversas características, atendendo diversos tipos de cargas, neste trabalho será abordado apenas os pavimentos não armados (simples), pavimentos armados e os whitetopping.

#### **4.2.2 PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES**

O pavimento de concreto simples não adiciona aço, sendo constituído apenas do concreto bruto e produzido no próprio local da aplicação. Para Balbo (2009), o concreto simples pode ser classificado como aquele que não possui armadura, com placas moldadas no próprio local da aplicação, após a aplicação do concreto é feita a serragem das juntas horizontais e das juntas transversais.

#### **4.2.3 PAVIMENTO DE CONCRETO ARMADO**

O pavimento de concreto armado adiciona-se aço afim de se obter uma maior resistência, este tipo de revestimento é constituído por um conjunto de placas armadas. De acordo com Balbo (2009), este tipo de pavimento atua sob esforços de flexão, tensões e cargas provenientes dos veículos, estes são facilmente absorvidas por essa estrutura de concreto armado, não deixando as camadas interiores sofrerem grandes impactos, este revestimento é o mais indicado em casos de estradas que o tráfego é intenso e pesado.

#### **4.2.4 WHITETOPPING**

São revestimentos moldados acima do existente, afim de reestruturar o pavimento existente, são recomendados para vias com pouco volume de trafego, como por exemplo as vias rurais. Para Balbo (2009), o whitetopping também conhecido como cobertura branca é composto de concreto simples ou de concreto armado, a utilização deste concreto visa a restaurar o pavimento, servindo como uma nova camada. Assim, cada pavimento apresenta suas características e composições próprias, vários fatores devem ser levados em consideração no momento da construção e implantação de um novo revestimento.

## **5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O PAVIMENTO RÍGIDO E PAVIMENTO FLEXÍVEL**

É indiscutível a soberania do pavimento asfáltico nas estradas brasileiras, segundo a CNT (2017), a malha rodoviária é composta de 99% de revestimento flexível, as vantagens no uso deste tipo de pavimento são inúmeros, abordaremos as principais.

Segundo Carvalho (2007), o pavimento de concreto possui inúmeras vantagens, como por exemplo, diminuição no número de acidentes, elevada resistência a intempéries, considerável diminuição no uso de combustíveis, redução de gastos com iluminação pública, não sofre grandes deformações, proporciona segurança aos usuários, entre outras.

Para Balbo (2007), o pavimento flexível pode ser considerado a principal forma de revestimento existente, apresentando em sua forma a flexibilidade e a versatilidade requerida para pavimentos de qualidade, além de apresentar características essenciais para proporcionar maior adesão entre os agregados, durabilidade e resistência. Assim, ambos pavimentos apresentam vantagens e desvantagens, estas devem ser analisadas para cada caso, apresentaremos neste trabalho as julgadas essenciais para a comparação dos pavimentos apresentados.

### **5.1 CUSTOS DE CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO**

O pavimento rígido apresenta a curto prazo melhor custo/benefício, a princípio é necessário ser feito grandes investimentos, mas ao analisarmos a longo prazo, com todas as manutenções necessárias do pavimento flexível o revestimento de concreto pode ser considerado mais viável economicamente. Segundo CNT (2017), o custo para investir inicialmente no pavimento rígido é relativamente maior que o custo inicial para a construção do pavimento asfáltico, porém, quando se compara o investimento total e a vida útil, o pavimento feito de concreto leva vantagem.

### **5.2 VIDA UTIL**

A vida útil de um pavimento depende das cargas oriundas dos veículos que este revestimento está sendo submetido, aos tipos de materiais inseridos na sua composição, dentre outros fatores. Para Guimaraes Neto, Santos Filho (2011), o

pavimento rígido tem vida útil estimada em 20 anos, já o pavimento asfáltico consegue atender por 10 anos sem apresentar problemas estruturais. Logo, os pavimentos de concreto possuem melhor custo/benefício e oferece maior segurança.

### **5.3 SEGURANÇA**

Na construção dos revestimentos vários fatores devem ser levados em consideração, porém o mais importante é a segurança que estes devem proporcionar aos usuários, escolher o revestimento adequado e materiais de qualidade é imprescindível para que as vias se tornem cada vez mais seguras. Segundo Vizzoni (2015), o índice de acidentes em pavimentos rígidos tende a ser menor se comparado ao pavimento flexível, este fator se deve pela resistência a agentes químico e ao processo de aquaplanagem. No revestimento de concreto a velocidade que a água escoar é maior, eliminando das rodovias as lâminas de água comuns em dias de chuva. Logo, o pavimento rígido devido a sua texturização possui uma melhor resposta em casos de aquaplanagem.

### **5.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS**

Os pavimentos devem ser resistentes a diversos tipos de sobrecargas e agentes que afetam sua estrutura interna e externa. Em revestimentos de concreto a resistência é maior, não sendo afetados por óleos, graxas e combustíveis, porém, o pavimento asfáltico é sensível a estes agentes, tendo grandes problemas quando submetido aos agentes citados. Para Neto (2011), é necessário fazer a manutenção em pavimentos sempre que este apresentar problemas em sua utilização. Os agentes podem ser a causa de diversos defeitos no revestimento, devendo ser feito o tratamento adequado para cada caso.

### **5.5 PATOLOGIAS**

O pavimento de concreto por possuir a característica de se deformar com facilidade apresenta muitos problemas em sua estrutura, as cargas oriundas dos veículos são transferidas para suas camadas inferiores, esse revestimento apresenta grande quantidade de patologias se comparado ao pavimento de concreto. As

patologias em pavimentos rígidos ocorrem principalmente pelo uso de materiais de má qualidade e o processo de execução realizado de maneira incorreta, além de sobrecarga oriundas de tráfego de veículo, acima dos valores estimados em projeto. Balbo (2007).

### 5.5.1 AFUNDAMENTOS

Segundo o DNIT (2006) esse tipo de deformação ocorre permanentemente no pavimento, a principal característica desta patologia é a depressão do revestimento, podendo ou não ter levantamento da superfície. Os “afundamentos locais” são conhecidos quando ocorrem afundamento com extensão de até 6 metros, e os “afundamentos de trilhos de rodas” ocorrem quando a extensão é superior a 6 metros.

Figura 8: Afundamentos em pavimentos asfálticos



Fonte: Manual de patologia e manutenção de pavimentos, 2008.

Este tipo de patologia é característico dos pavimentos flexíveis, devido a tendência deste se deformar com facilidade, os pavimentos rígidos devido sua elevada rigidez não ocorre a patologia de afundamentos, (DNIT, 2006).

### 5.5.2 FISSURAS E TRINCAS

Segundo o DNIT (2006), as trincas e fissuras possuem as mesmas características, se desenvolvendo parcialmente ou por completo, são causadas pela fadiga do revestimento, ou seja, o grande fluxo de veículos repetitivo, as fissuras não trazem problemas funcionais ao revestimento, já as trincas por apresentar tamanhos relativamente maiores podem trazer riscos de acidentes e desconforto aos usuários.

Segundo Silva (2005), ocorrem diversas patologias no pavimento de concreto, podendo ser divididas em patologias estruturais e funcionais. Quando as cargas advindas do fluxo causam trincas que se espalham pelo revestimento chamamos de patologia estrutural. A patologia funcional é quando a segurança das pessoas é afetada, a rugosidade do revestimento advindas da retração plástica prejudicam a dirigibilidade.

As fissuras e trincas são patologias comuns nos dois tipos de pavimentados apresentados, no pavimento rígido este problema está ligado diretamente com a forma errada de execução, não respeitando o tempo de cura do concreto. Nos revestimentos asfáltico, esta patologia ocorre devido à má dosagem da mistura ou em casos que ocorre compactação em excesso ou em momentos inadequados (BALBO, 2007).

**TABELA 1 – Comparativo entre pavimento flexível e pavimento rígido**

<b>PAVIMENTOS FLEXÍVEIS</b>	<b>PAVIMENTOS RÍGIDOS</b>
Formado por estrutura complexa, requer escavações e movimentação de terra.	Formado por estrutura mais simples
É extremamente sensíveis por produtos químicos (óleo, graxas, combustíveis).	Devido a sua composição, este pavimento é muito resistente aos ataques químicos.
Deve ser feito frequentemente manutenções.	Pequena necessidade de manutenção
Muito aderência para demarcações	Devido ao baixo nível de porosidade, este apresenta falta de aderência em demarcações
Vida útil estimada em 10 anos	Vida útil estimada em 20 anos
Apresenta custo inferior se comparado ao rígido.	Apresenta custo de investimento elevado, mas devido as vantagens o custo a longo prazo se torna compensatório



---

Quando necessário manutenções, este pavimento admite o conserto apenas no local afetado

Este pavimento quando necessário manutenções deve refazer toda a placa de concreto afetada.

---

**Fonte:** Associação de Ensino Superior Unificado do Centro Leste, 2008.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os aspectos apresentados, podemos concluir que o pavimento rígido apresenta maiores vantagens quando comparado ao pavimento flexível, no Brasil a soberania do asfalto é perceptível, porém o concreto está conquistando cada vez mais seu espaço no mercado.

Os pavimentos flexíveis possuem um menor custo de investimento inicial e admitem reparos localizados sempre que necessário, não havendo a necessidade de refazer toda construção da placa. Além disso, esse tipo de revestimento é composto por uma mistura asfáltica que pode apresentar outras opções de materiais constituintes, como por exemplo o asfalto borracha que reutiliza pneus que seriam descartados no meio ambiente, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável.

Os pavimentos rígidos possuem um custo superior, porém se for bem executado não é necessárias manutenções frequentes e a vida útil deste revestimento é de aproximadamente 20 anos, tornando seu custo mais viável se comparado a longo prazo. Além do mais, este pavimento devido a sua composição, apresenta maior aderência dos pneus com o revestimento, proporcionando mais segurança aos usuários, outro fator importante é a resistência deste pavimento com os agentes químicos, como óleos e combustíveis, ambos muito comuns nas estradas.

Os objetivos específicos foram alcançados, foi comprovada a importância de analisar e compreender as estruturas e características dos pavimentos. Conforme informações contidas na Tabela 1, ambos os pavimentos apresentam vantagens e desvantagens, devemos analisar sua aplicação, as cargas solicitantes, os materiais empregados, entre outros.

Comprovando a hipótese levantada no início do estudo conclui-se que o pavimento flexível possui pouca durabilidade e custo de investimento inicial inferior, o pavimento rígido apresenta alta resistência e alto custo de investimento inicial, se comparado a longo prazo devido a sua durabilidade o de concreto apresenta melhor custo/benefício, além de propiciar mais conforto e segurança aos usuários devido a sua composição.

## REFERÊNCIAS

- BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto**. São Paulo, Oficina de Textos, 2009.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, projeto e restauração**. São Paulo, Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/ ABEDA, 2006.
- BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA, Laura M. G.; CERATTI, Jorge A. P.; SOARES, Jorge B. **Pavimentação Asfáltica – formação básica para engenheiros**. 3ª Edição. Rio de Janeiro, Imprinta, 2010.
- BRASIL. **Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 2017**, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico.
- BOENTE, Alfredo; BRAGA Glauca. **Metodologia científica contemporânea para universitários e pesquisadores**. Rio de Janeiro: Brasport, 2004
- Carvalho, M. D. (2007) "**Pavimento de Concreto: reduzindo o custo social**", [http://www.abcp.org.br/sala\\_de\\_imprensa/arquivos\\_arquivos](http://www.abcp.org.br/sala_de_imprensa/arquivos_arquivos) acessado em 22/09/2019.
- Confederação Nacional do Transporte – CNT. **Transporte Rodoviário: Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília, CNT, 2017.
- CONFORTO, Edivandro Carlos; AMARAL, Daniel Capaldo; SILVA, SL DA. **Aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos**. In: 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto. Anais do 8º CBGDP. 2011.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. **Manual de Pavimentação Rodoviária**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.

DI GIULIO, G. **Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto** – Inovação Uniemp v.3 n.3 – Campinas, 2007.

FILHO, José Moacir de Mendonça; ROCHA, Eider Gomes de Azevedo. **Estudo Comparativo entre Pavimentos Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária**, 2018.

GUIMARÃES NETO, Guilherme Loreto. **Estudo Comparativo entre a Pavimentação Flexível e Rígida**, 2011.

GONÇALVES, F. J. P (1999) **O desempenho dos pavimentos flexíveis**. Seminário II de doutorado, PPGEC/UFRGS.

MEDINA, J., 1997, **Mecânica dos Pavimentos**. 1ª edição, 380 p. Rio de Janeiro-RJ, Editora UFRJ.

PITTA, Márcio Rocha. **Construção de Pavimentos de Concreto Simples**. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

RIBAS, Leandro Carlos. **Custo-Benefício na Execução de Pavimentos Rígidos**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2017.

SANTO. N.R.E. & REIS, R.M.M. **Micro concreto asfáltico a frio uma inovação tecnológica para tratamento de superfície**. abril Santos. 20p. PA: ABPV. 1995.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2ª Edição. São Paulo; Editora Pini, 2007.

SILVA FILHO, Augusto Lins e. **Estudo Comparativo de Viabilidade Técnica e Econômica entre Pavimentos Rígido e Flexível Aplicados a Rodovia BR- 408/PE**, 2011.

SILVA JÚNIOR, Ildeivan da.; reimpr. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, ABEDA, 2010.504p.

VIEIRA, Glécia; TÉCHNE, Ronaldo Vizzoni. **Revista - Como Construir. Engenharia Civil**. Disponível em: <<http://www.cspublisher.com/admin/produtos/PTE/index.asp>> acessado no dia 26/10/19.

WICKBOLDT, V. S. **Ensaio acelerados de Pavimentos para avaliação de desempenho de Recapeamentos Asfálticos** – Dissertação de Mestrado – PPGEC/UFRGS. 134p. 2005.