

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

VANDER ALVES DOS REIS

**PATOLOGIA EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS:**  
Deformação longitudinal na trilha de roda

Paracatu

2019

VANDER ALVES DOS REIS

**PATOLOGIA EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS:**

Deformação longitudinal na trilha de roda

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitario Atenas como requisito parcial para obtenção de título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Pavimentação

Orientador: Prof. MSc, Romério R. Silva

Paracatu

2019

VANDER ALVES DOS REIS

**PATOLOGIA EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS:**  
Deformação longitudinal na trilha de roda

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitario Atenas como requisito parcial para obtenção de título de Bacharelado em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Pavimentação

Orientador: Prof. MSc, Romério R. Silva.

Banca Examinadora:

Paracatu- MG, 12 de Novembro de 2019.

---

Prof. Msc. Romério R. da Silva  
Centro Universitário Atenas

---

Prof. Msc. Carlos Eduardo Chula  
Centro Universitário Atenas

---

Prof. Dr. Alexandre Almeida Oliveira.  
Centro Universitário Atenas

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus em primeiro lugar por me proporcionar um novo folego de vida a cada dia, por ser minha infinita fonte de fé, por me fornecer energia e disposição para enfrentar as batalhas e nunca desistir.

A minha família que é e sempre será minha base para tudo.

Aos guerreiros do grupo de estudo que abriram mão de muitos finais de semana para estudar dedicando integralmente a um só objetivo: a graduação.

Aos professores pelo esforço, compreensão e dedicação durante toda jornada acadêmica.

Quando vai bem, ninguém lembra que existe.

Quando algo vai mal, dizem que não existe.

Quando é para gastar, acham que não é preciso que exista.

Porém quando realmente não existe,...  
Todos concordam que deveria existir.

Autor: Sutter

## RESUMO

Com o constante crescimento da frota nacional de veículos automotores nas últimas décadas e com o aumento de carga por eixo dos veículos, faz-se necessárias revisões e atualizações tanto nos sistemas construtivos e de recuperação dos pavimentos quanto nos sistemas de controle e fiscalização. Esse trabalho tem como intuito enfatizar a necessidade de se seguir os manuais do denit e também as normas regulamentadoras vigentes no Brasil para que assim se construa pavimentos que ofereçam ao usuário conforto e segurança, com isso a vida útil de cada pavimento será o que está proposto em projeto. Haja vista que quase metade dos pavimentos flexíveis do Brasil apresenta alguma patologia, entre elas esta o afundamento plástico longitudinal da trilha de roda, que quando constante em um pavimento de altas velocidades, consideravelmente despenca o grau de segurança e conforto da via. Contudo, a de ser concluir que algo está errado ou algum detalhe passa despercebido pelas construtoras e pelos órgãos fiscalizadores e regulamentadores, pois, mesmo com o avanço em tecnologia e ainda com a oferta de novos materiais e técnicas construtivas temos um constante aumento dos índices patológicos nas vias nacionais. Este trabalho vem ao encontro de tais desconformidades sugerindo novas técnicas e materiais além de evidenciar a importância de se seguir a metodologia construtiva dos órgãos regulamentadores no caso principal o denit.

**Palavras-chave:** Fiscalização. Atualizações. Vida Útil. Afundamento Longitudinal.

## **ABSTRACT**

With the constant growth of the national fleet of motor vehicles in the last decades and the increase of axle load of the vehicles, it is necessary to revise and update both the construction and restoration systems as well as the control and inspection systems. This work aims to emphasize the need to follow the denit manuals and also the current regulatory standards in Brazil to build floors that offer the user comfort and safety, so the life of each floor will be what is proposed. in project. Considering that almost half of Brazil's flexible pavements have some pathology, among them is the longitudinal plastic sinking of the wheel track, which when constant on a high speed pavement considerably decreases the degree of safety and comfort of the track, with everything The conclusion is that something is wrong or some detail goes unnoticed by the construction companies and the regulatory and regulatory agencies, because even with the advancement in technology and even with the offer of new materials and construction techniques we have a constant increase of pathological indices in the roads. nationals. This work comes up against such nonconformities suggesting new techniques and materials besides highlighting the importance of following the constructive methodology of the regulatory bodies in the main case denit.

**Keywords:** Surveillance. Updates. Lifecycle. Longitudinal Sinking.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>FIGURA 1</b> - Rodovia Br 040 km147                                 | 10 |
| <b>FIGURA 2</b> - Pavimentos flexíveis                                 | 14 |
| <b>FIGURA 3</b> - Afundamento plástico longitudinal na trilha de roda  | 15 |
| <b>FIGURA 4</b> - Tensão x deformação                                  | 16 |
| <b>FIGURA 5</b> - Revestimento asfáltico subdividido em camadas        | 17 |
| <b>FIGURA 6</b> - Regularização do subleito                            | 18 |
| <b>FIGURA 7</b> - Subleito   | 19 |
| <b>FIGURA 8</b> - Comparativa entre carga por eixo antigo e atual      | 22 |
| <b>FIGURA 9</b> - Pavimento recebendo prevenção com Micro Revestimento | 26 |
| <b>FIGURA 10</b> - Funcionamento da usina de asfalto borracha          | 29 |
| <b>FIGURA 11</b> - Processo de aplicação asfalto borracha              | 29 |
| <b>FIGURA 12</b> - Pavimento utilizando asfalto borracha               | 30 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|      |  |
|------|--|
| CBR  | Califórnia Bearing Ratio                             |
| CNT  | Confederação Nacional de Transportes                 |
| LCCA | Análise de Custo do Ciclo de Vida                    |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte |
| PMB  | Pavimento Modificado com Borracha de Pneus           |
| CAP  | Cimento Asfáltico de Petróleo                        |
| CBUQ | Concreto Betuminoso Usinado a Quente                 |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>   | <b>10</b> |
| <b>1.2 PROBLEMA</b>  | <b>11</b> |
| <b>1.3 HIPÓTESE</b>  | <b>12</b> |
| <b>1.4 OBJETIVOS</b>   | <b>12</b> |
| <b>1.4.1 OBJETIVO GERAL</b>  | <b>12</b> |
| <b>1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>   | <b>12</b> |
| <b>1.5 JUSTIFICATIVA</b>   | <b>13</b> |
| <b>1.6 METODOLOGIA</b>   | <b>13</b> |
| <b>1.7 ESTRUTURAS DO TRABALHO</b>  | <b>13</b> |
| <b>2 PAVIMENTO</b>   | <b>15</b> |
| <b>2.1 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS</b>  | <b>15</b> |
| <b>2.2 AFUNDAMENTO PLÁSTICO LONGITUDINAL (APL)</b>                                   | <b>16</b> |
| <b>2.3 CAMADAS QUE FORMAM O PAVIMENTO ASFÁLTICO FLEXÍVEL</b>                         | <b>17</b> |
| <b>2.3.1 REVESTIMENTO</b>  | <b>18</b> |
| <b>2.3.2 BASE</b>  | <b>18</b> |
| <b>2.3.3 SUB-BASE</b>  | <b>18</b> |
| <b>2.3.4 REFORÇO DO SUBLEITO</b>   | <b>19</b> |
| <b>2.3.5 REGULARIZAÇÃO DO SUBLEITO (NIVELAMENTO):</b>                                | <b>19</b> |
| <b>2.3.6 SUBLEITOS</b>   | <b>19</b> |
| <b>2.3.7 DIMENSIONAMENTO E EXECUÇÃO</b>  | <b>20</b> |
| <b>2.4 VIDA ÚTIL DOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS FLEXÍVEIS</b>                             | <b>21</b> |
| <b>3 DIFERENÇAS DA EXECUÇÃO DOS PAVIMENTOS NO BRASIL E NO EXTERIOR</b>               | <b>22</b> |
| <b>4 AVALIAÇÃO DOS PAVIMENTOS</b>  | <b>25</b> |
| <b>4.1 MANUTENÇÕES PREVENTIVAS</b>   | <b>25</b> |
| <b>4.2.1 MICRO REVESTIMENTO OU PINTURA ASFÁLTICA</b>                                 | <b>26</b> |
| <b>4.3 RESTAURAÇÕES DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS</b>                                     | <b>27</b> |
| <b>4.4 MANUTENÇÕES CORRETIVAS APLICANDO NOVOS MATERIAIS NOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS</b> | <b>28</b> |
| <b>4.4.1 ASFALTO BORRACHA</b>  | <b>28</b> |
| <b>4.4.2 TÉCNICA DE APLICAÇÃO DO ASFALTO BORRACHA</b>                                | <b>29</b> |
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>   | <b>32</b> |
| <b>6. REFERÊNCIAS</b>  | <b>34</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente problemas em pavimentos asfálticos são comuns nas rodovias brasileiras. Em pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte (2013) é possível observar que 47% das rodovias pavimentadas do país apresentam algum tipo de problema, entre os problemas esta a deformação permanente ou afundamento de trilha de roda.

A deformação permanente nos revestimentos asfálticos pode ser definida como depressões longitudinais nas trilhas de roda, as quais aumentam com as cargas repetidas impostas pelo fluxo de veículos exatamente como está ilustrado na figura 1 (BALBO, 2007).

**FIGURA 1** – Rodovia BR 040 KM 147



**Fonte:** Próprio autor

Alguns fatores contribuem para ocorrência dessas deformações como: ação dos agentes atmosféricos, relevo, qualidade dos materiais utilizados no projeto, excedente de carga imposto ao pavimento e principalmente o mau dimensionamento das camadas. (BERNUCCI, et al, 2008).

Os pavimentos flexíveis construídos com cimento asfáltico de petróleo (CAP), apresentam menor custo de construção e proporcionam um maior conforto aos usuários, pois não requer a construção de juntas de dilatação, tornando-se

assim uma das principais razões do grande emprego de ligantes asfálticos na camada de revestimento em obras de pavimentação no Brasil. (BALBO, 2007).

Por outro lado o constante avanço em pesquisas e as novas tecnologias que surgem a cada ano, os materiais utilizados em pavimentações asfálticas também evoluem consideravelmente surgindo novos compostos, misturas, reciclagens, adições de produtos e novas técnicas de execução, tudo isso contribui para o surgimento de melhores pavimentos no Brasil.

Não existe pavimento de qualidade sem manutenção periódica. A falta de reparos aumenta consideravelmente o volume de afundamentos, intensificando o número de acidentes rodoviários, fruto da perda de segurança na pista de rolamento. (Jacques, 2015)

## **1.2 PROBLEMA**

As estradas brasileiras são de grande importância para o desenvolvimento do País, tanto em nível social quanto no econômico, da malha viária do Brasil 78,6% não são pavimentados, esses números mostram que o País ainda necessita investir muito na primeira pavimentação asfáltica de suas vias, fazendo-se necessário que a sociedade civil, acadêmica, industrial, empresarial e governamental tenha como meta buscar o conhecimento ininterrupto sobre a possível deterioração e patologias dessas vias, para então propor as suas recuperações de forma adequada e garantir um fluxo constante. (CNT, 2017)

A capacidade de um pavimento permitir a circulação segura e satisfatória durante todo o seu tempo de vida tem sido almejada em todos os projetos de pavimentação, entretanto, as degradações são inevitáveis, principalmente por falta de um projeto bem elaborado de gerenciamento das vias e pavimentação, pelo uso de materiais de qualidade duvidosa e ao ineficiente sistema de drenagem que é fundamental durante as intempéries. (CNT, 2017)

Com todas essas questões abordadas, pergunta-se: como minimizar o aparecimento das deformações permanentes na trilha de roda em pavimentos flexíveis?

### **1.3 HIPÓTESE**

A potencialização das patologias tem origem com a utilização inadequada dos procedimentos construtivos em várias etapas de um pavimento como: projeto estrutural, escolha incorreta de materiais e misturas, falta de manutenção preventivo-corretiva, técnicas inadequadas tanto na produção quanto distribuição e execução das camadas na pista e falha na fiscalização no controle de peso.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo geral sugerir técnicas de construção e ações como: aplicação de materiais e tecnologias que minimizem o surgimento de deformações permanentes na trilha de roda nos pavimentos asfálticos, aumentando assim a sua vida útil bem como garantindo melhor conforto e segurança ao usuário.

#### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Enfatizar as principais características do asfalto flexível desde sua base até a camada mais nobre que é o revestimento, ressaltando a importância de se dimensionar e executar um projeto seguindo todas as normas para assim obter uma vida útil satisfatória do pavimento.
2. Analisar os parâmetros utilizados no Brasil, para implantação e recuperação de estradas, fazendo um comparativo entre obras no Brasil e no exterior.
3. Sugerir a aplicação de técnicas com ênfase em manutenções preventivas e corretivas dos pavimentos, garantindo assim conforto e segurança aos usuários da via.

## **1.5 JUSTIFICATIVA**

Haja vista que quase metade dos pavimentos asfálticos no Brasil apresenta algum tipo de patologia e que dentre essas se destaca o afundamento na trilha de roda, essa pesquisa vem ao encontro com esse problema para que o resultado obtido possa sugerir uma possível solução para a questão, com isso poderá evidenciar os pavimentos asfálticos brasileiros não por seus defeitos apresentados, mais sim pelo conforto e segurança que deve ser ofertado aos usuários das vias (BALBO, 2017).

## **1.6 METODOLOGIA**

Esse projeto foi embasado em uma pesquisa descritiva e explicativa proporcionando ao leitor uma maior compreensão sobre o tema abordado, com a intenção de torná-lo mais claro e explicativo possível.

A metodologia se justifica, pois, trás com sigo uma abordagem dedutiva bem aprofundada no tema com um procedimento simples, objetivo e direto.

Por fim, foi utilizada uma pesquisa bibliográfica com foco em artigos científicos, revista científica, outros meios impressos e eletrônicos relacionados com o tema e livros como; Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração, Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros, Análise de um pavimento dimensionado pelo método do DNER e também o Manual do DENIT.

## **1.7 ESTRUTURAS DO TRABALHO**

O primeiro capítulo explana acerca da introdução com a contextualização do estudo; formulação do problema de pesquisa; as proposições do estudo; os objetivos geral e específico; as justificativas, relevância e contribuições da proposta de estudo; a metodologia do estudo, bem como definição estrutural da monografia.

O segundo capítulo, trata-se de uma abordagem geral das principais características dos pavimentos brasileiros, dando ênfase ao pavimento flexível e abordando uma das principais patologias nele apresentada que são os afundamentos plásticos.

O terceiro capítulo versa da metodologia nacional perante a execução de pavimentos, fazendo um comparativo com as obras executadas no Brasil e no exterior dando ênfase à qualidade do pavimento, também alguns dos principais fatores que contribuem para o aparecimento da patologia.

O quarto capítulo, foram abordadas as principais técnicas de manutenção, preventivas e corretivas, para que os pavimentos flexíveis apresentem o menor índice patológico, e por consequência dessas ações tenham uma vida útil maior oferecendo mais conforto e segurança ao usuário.

Por fim, o quinto capítulo mostra a conclusão final do estudo, demonstrando se realmente haverá viabilidade de implantação de melhorias nos sistemas de gerenciamento dos pavimentos brasileiros, com a utilização de manutenções preventivas para solucionar ou amenizar os problemas apresentados.

## 2 PAVIMENTO

O pavimento é uma estrutura de várias camadas com espessuras determinadas por cálculos, com base em prospecções e análise de solo, construída sobre a superfície final de terraplenagem, tendo a função de resistir aos esforços provenientes do tráfego de veículos e de fatores atmosféricos, com objetivo de proporcionar aos usuários melhor condição de rolamento com conforto, economia e segurança (Oda, S. 2000).

### 2.1 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Os pavimentos asfálticos flexíveis são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos (CBUQ). É formado por camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base, reforço do subleito regularização do subleito e subleito.

O revestimento asfáltico pode ser composto por camada de rolamento em contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias ou de ligação, então chamadas de binder, ou ligante asfáltico, conforme análise do tráfego e dos materiais disponíveis, pode-se trabalhar com menor numero de camadas (BERNUCCI et al, 2008).

A imagem a seguir mostra um pavimento flexível figura 2.

**FIGURA 2** - Pavimentos flexíveis



Fonte: <https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fbras>

Acessado 09/10/2019

## 2.2 AFUNDAMENTO PLÁSTICO LONGITUDINAL (APL)

Segundo a CNT deformação permanente (plástica) é caracterizada por depressão na superfície do pavimento acompanhado de (compensação volumétrica lateral). Quando a extensão é maior que 6 m e se for ao longo da trilha de roda, denomina-se afundamento plástico de trilha de roda.

Possíveis causas que levam a ocorrência de afundamento plástico nas trilhas de roda (ATP) podem ser falhas na dosagem da mistura asfáltica, excesso de ligante asfáltico, falha no tipo de revestimento asfáltico escolhido para atender as cargas solicitantes. Geralmente ocorre sollevamento lateral juntamente com a depressão (BERNUCCI et al, 2008).

O fenômeno da deformação permanente é um processo complexo, pois ele é influenciado pelas propriedades e proporções de cada um dos componentes de uma mistura asfáltica como: (agregados, ligante e volume de vazios). A deformação permanente acontece com mais frequência no verão, já que a altas temperaturas a viscosidade do ligante diminui e o carregamento do tráfego é suportado pelo agregado mineral. A resistência à deformação permanente é considerada como uma combinação de resistência do ligante e do agregado mineral (FONTES, 2009).

A figura 3 mostra exatamente como é o afundamento na trilha de roda.

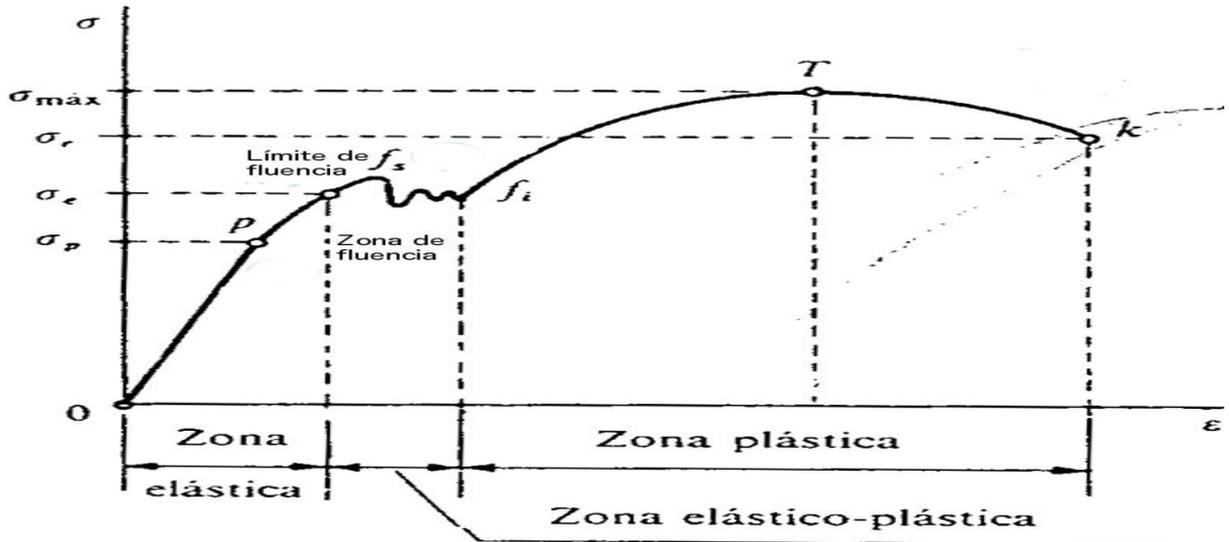
**FIGURA 3** - Afundamento plástico longitudinal na trilha de roda



**Fonte:** Próprio autor

A figura 4 demonstra o gráfico tensão x deformação dos materiais empregados na construção dos asfaltos flexíveis.

**FIGURA 4** - Gráfico tensão x deformação



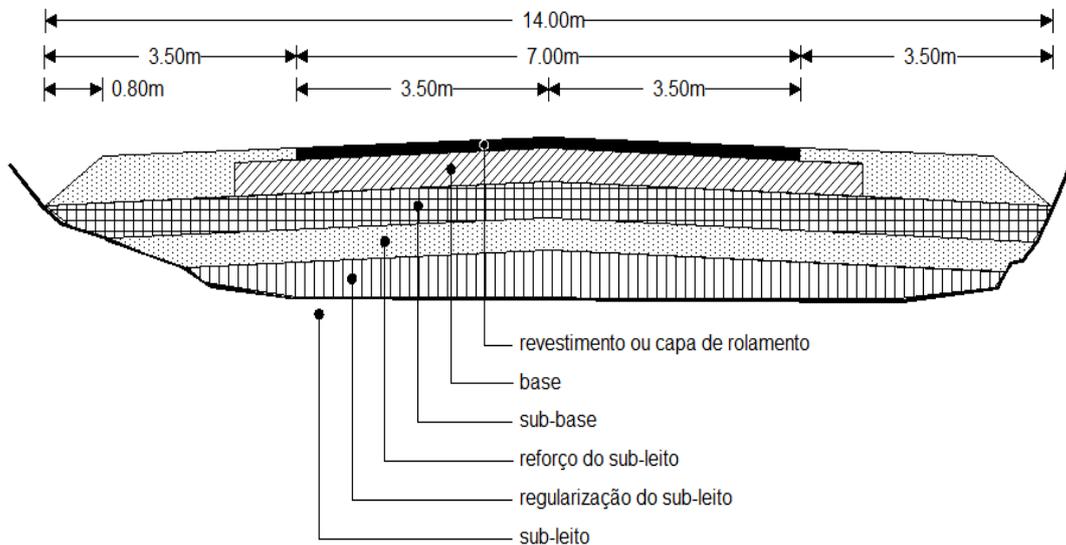
Fonte: <https://www.google.com/search?rlz> Acessado 09/10/2019

### 2.3 CAMADAS QUE FORMAM O PAVIMENTO ASFÁLTICO FLEXÍVEL

O pavimento é composto por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados, essa estrutura tem a função de receber e transmitir os esforços de maneira a aliviar as pressões sobre as camadas inferiores, que geralmente são menos resistentes e utiliza materiais menos nobres. (SILVA, 2008).

Para o perfeito funcionamento do sistema todas as camadas que o compõem devem trabalhar deformações compatíveis com sua natureza e capacidade de cada camada, desde a base até a parte mais nobre do asfalto que é a camada de manta asfáltica, que devem ser criteriosamente projetadas somente assim resistiram o peso próprio do pavimento mesmo nas condições mais severas, deverá também considerar o fluxo de veículos que é estimado através de pesquisas para que assim não ocorram processos que levem ao colapso permanente do pavimento. (BALBO, 2017).

FIGURA 5: Revestimento asfáltico subdividido em camadas.



Fonte: (BERNUCCI, et al; 2008).

### 2.3.1 REVESTIMENTO

O revestimento tem a função de receber as cargas estáticas ou dinâmicas, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de componentes ou perda de compactação, necessitando, portanto ser composto de matérias bem aglutinado, ou disposto de maneira a evitar sua movimentação horizontal. (BALBO, 2017).

### 2.3.2 BASE

A base é a camada que recebe e distribui os esforços oriundos do tráfego, e é sobre ela que se constrói o revestimento asfáltico flexível sendo que, depois de realizado o ensaio de CBR a resistência desse solo deve ser superior a 2%, caso essa situação não se comprove é necessário realizar reforço do solo ou até mesmo sua completa substituição. (SILVA, 2008)

### 2.3.3 SUB-BASE

A sub- base só é indicada quando não for aconselhável construir a base

diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito esse, que pode ser a quinta camada, é o terreno de fundação do pavimento. (BALBO, 2017)

#### **2.3.4 REFORÇO DO SUBLEITO**

O uso da camada de reforço do subleito não é obrigatório, pois espessuras maiores de camadas superiores poderiam aliviar as pressões sobre um subleito pobre, mas, no entanto é geralmente utilizado em projetos por razões econômicas. (BALBO, 2017)

#### **2.3.5 REGULARIZAÇÃO DO SUBLEITO (NIVELAMENTO):**

É a operação destinada a conformar o leito, transversal e longitudinalmente, ou não existir, dependendo das condições do leito, compreende cortes ou aterros até 20 cm de espessura. (BALBO, 2017)

**Figura 6:** Regularização do subleito



**Fonte:** <https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved> Acessado em 14/09/19.

#### **2.3.6 SUBLEITOS**

Subleito deve ser constituído de material natural compactado, ele tem a função de receber os esforços e alivia-los em sua profundidade, isso normalmente acontece no primeiro metro. (BALBO, 2017).

**FIGURA 7:** Subleito

**Fonte:** <https://www.google.com/url?sa=i&source=images> Acessado em 14/09/19.

### 2.3.7 DIMENSIONAMENTO E EXECUÇÃO

Segundo DENIT o dimensionamento das espessuras mínimas de cada camada do pavimento flexível, depende da capacidade de suporte do subleito e dos materiais constituintes das camadas. Essa avaliação é feita pelo Índice de Suporte Califórnia (California Bearing Ratio – CBR).

Ainda segundo o DENIT a qualidade dos pavimentos flexíveis depende diretamente de um correto processo construtivo e da observação dos resultados das prospecções realizadas, as (NBRs) e suas diretrizes na elaboração dos projetos de pavimentação influenciam diretamente no resultado e na qualidade do serviço apresentado, os ensaios em laboratório e o controle tecnológico dos materiais asfálticos contribuem no dimensionamento do pavimento e nas demais relevâncias do projeto, sendo que o conhecimento do solo e suas características como granulometria, umidade, resistência, compactação, plasticidade e densidade, são fundamentais para uma estrutura bem dimensionada.

Os critérios que determinam, por exemplo, as espessuras das camadas de base, sub-base e subleito que formam um pavimento asfáltico que, por consequência receberão as cargas advindas do tráfego devem, no entanto, serem rigorosamente seguidas a NBR 7208 e também o manual do DNIT.

O asfalto que será utilizado, sua temperatura, transporte até o local onde será assentado, granulometria e grau de compactação, podem favorecer o aparecimento das manifestações patológicas oriundas de um projeto problemático, de uma construção inadequada ou do uso de materiais de qualidade inferior.

Problemas como esses, elevam o número de reformas e correções nas vias, gerando gastos desnecessários, desconforto, insegurança ao trafegar pela via e causando os afundamentos asfálticos. (LOPES, 2012).

## **2.4 VIDA ÚTIL DOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS FLEXÍVEIS**

O pavimento asfáltico flexível por questões de ordem técnicas e econômicas é dimensionado para atender a ciclos de vida de média duração (8 a 10 anos). A rodovia e, em especial o pavimento, em razão da importância do transporte no complexo da atividade socioeconômica, dentro de uma perspectiva de médio prazo deve apresentar permanentemente um desempenho satisfatório durante toda sua vida útil. (DENIT 2006)

Este desempenho satisfatório se traduz na oferta, ao usuário, de condições de tráfego seguras, confortáveis e econômicas atendendo aos preceitos de otimização do custo total de transporte. A capacidade que um pavimento tem de proporcionar um determinado nível de desempenho é chamada de “Serventia do Pavimento” – cujo respectivo processo de aferição pode ser através de “Avaliações Subjetivas” ou “Avaliações Objetivas”. (DENIT 2006).

### **3 DIFERENÇAS DA EXECUÇÃO DOS PAVIMENTOS NO BRASIL E NO EXTERIOR**

Uma questão relevante quanto à execução é o custo total do pavimento, do material e da técnica empregada para sua implantação. As concessionárias brasileiras geralmente realizam a análise do custo do ciclo de vida do pavimento (LCCA- Análise de Custo do Ciclo de Vida) para seleção da melhor alternativa tecnológica a se empregar na obra, o que muitas vezes resulta na utilização de técnicas e materiais mais novos que podem apresentar um custo inicial mais elevado, mas que a longo prazo são mais eficientes, gerando um ganho futuro maior devido à redução das necessidades de intervenções de manutenção (CNT 2017).

Por outro lado, o DNIT, por motivos administrativos, aparenta estar muito ligado à questão do custo sendo assim, muitas vezes, ele acaba tendo que contratar obras inicialmente mais baratas, mas que são executadas com tecnologias defasadas, fazendo com que a economia na hora da contratação se torne um custo maior de manutenção ao longo do ciclo de vida do pavimento (BALBO, 2017).

No Brasil ainda é adotado um método empírico, que não contempla teorias sobre o comportamento elástico das camadas do pavimento. A incorporação desse fator no dimensionamento é importante principalmente para se prever a ruptura por fadiga do pavimento. Isso vem se mostrando uma tendência natural de evolução dos métodos de dimensionamento, conforme pode ser observado em alguns países comparados como: (Estados Unidos, Japão e Portugal) que passaram a adotar métodos mecanístico-empíricos em seus projetos de pavimentação. (JACQUES, 2015).

Além disso, outra diferença se destaca quando comparados os dois métodos, que é a consideração de um nível de confiabilidade do projeto pelo método japonês, essa variável visa a garantir um desempenho aceitável do pavimento mesmo no caso de variação das condições estimadas, no momento do dimensionamento, ao longo do período de vida útil do pavimento. O método do DNIT não prevê essa variável, portanto, não permite variação das condições estimadas no momento do dimensionamento sem que haja impacto direto na durabilidade planejada. Isso aumenta a probabilidade de ocorrência de defeitos precoces no pavimento, caso as condições iniciais não se confirmem. (BERNUCCI et al, 2008).

Outro fator que chama atenção no comparativo é a incorporação das

diferenças climáticas. O método brasileiro contempla uma variável que seria representativa do efeito do clima no pavimento, mas que, no entanto, assume um único valor para todo o país, sendo, dessa forma, equivalente a um método que não incorpora as variações climáticas locais no dimensionamento dos pavimentos, considerando a extensão territorial do Brasil e as variações climáticas encontradas em cada região, esse é um ponto crítico do método. (JACQUES, 2015).

Ainda segundo Jacques é possível fazer uma comparação simples com o método adotado em Portugal, por exemplo, que incorpora três faixas climáticas para o país, que possui uma extensão territorial norte-sul e leste-oeste 87% e 95% menor do que as do Brasil, respectivamente. Além disso, quanto à altitude, que é outro fator que influencia na variação do clima, Portugal possui uma altitude máxima 21% mais baixa que a máxima registrada no Brasil.

Os veículos mais modernos possuem capacidade de carga superior à da época em que o método foi desenvolvido, aliado a isso, pode haver sobrepeso dos veículos, sendo assim, o carregamento que a rodovia deve suportar acaba sendo muito maior do que aquele para o qual ela foi projetada, um novo método de dimensionamento deveria incorporar as novas características dos veículos atuais forçando assim os projetos a se adequarem a nova realidade do tráfego nacional.

**FIGURA 8:** Comparativo entre eixo padrão antigo e atual



**Fonte:** Método de dimensionamento mecânico empírico de pavimentos asfálticos – SisPav. [Rio de Janeiro] 2007.

Além disso, foi apontado que o dimensionamento dos pavimentos flexíveis já pode ser feito para períodos de até 20 anos, o que é confirmado pela comparação entre os métodos de dimensionamento adotados nos outros países, entretanto, no Brasil, ainda se adota um período de projeto de 10 anos, uma das causas disso é o custo inicial para implantação de um pavimento com vida útil maior, que é mais caro. Portanto, a falta de orçamento disponibilizado para investimento no setor gera impacto no dimensionamento dos pavimentos (FONTES, 2009).

Para um dimensionamento correto devem-se levar em consideração algumas variáveis que causarão impactos diretos nos pavimentos; a fiscalização do sobrepeso como uma das causas de desgaste precoce do pavimento, aliado a falta de uma base de dados climática adaptada para o Brasil e subdivididos em pelo menos 4 das principais regiões, também a falta de equipamentos no Brasil capazes de realizar os ensaios necessários para a execução de um projeto de pavimentação completo e eficiente (JACQUES, 2015).

Com isso a incorporação do comportamento de cada material sob as diferentes condições climáticas verificadas no Brasil permitirá que o projetista selecione a solução que melhor atenda ao clima da região onde a rodovia será construída, o que não é previsto pelo atual método do DENIT.

## **4 AVALIAÇÃO DOS PAVIMENTOS**

Segundo Fontes 2009 avaliação dos pavimentos consiste, na primeira fase do processo de seleção de medidas de manutenção de uma determinada via, e a partir da sua realização que é possível identificar a necessidade de intervenção de recuperação. A avaliação de um pavimento requer a coleta de dados fundamentais, os quais podem ser divididos em algumas categorias como:

1. Condições do pavimento (incluindo os acostamentos)
2. Dados de projeto do pavimento.
3. Propriedades dos materiais componentes.
4. Diagnóstico e a manutenção dos pavimentos.
5. Volume de tráfego e carregamento.
6. Condições climáticas.
7. Considerações de segurança.

### **4.1 MANUTENÇÕES PREVENTIVAS**

Segundo a CNT no Brasil em torno de 50% dos pavimentos asfálticos flexíveis apresentam algum problema, fazendo-se necessária a sua recuperação, ou seja, manutenção corretiva imediata desses pavimentos danificados. Outra questão a ser priorizada seria a aplicação de uma manutenção preventiva nos pavimentos ainda considerados bons, pois com isso aumentaria sua vida útil e também prolongaria a intervenção corretiva que economicamente tem um custo de implantação bem mais elevado.

Estudos apontam que a manutenção preventiva de estradas e rodovias não só melhora a qualidade do trânsito de veículo, bem como a sua segurança e ainda se torna mais barato.

Dados estatísticos da CNT mostram que o trabalho de manutenção asfáltica indiscutivelmente tem custo menor, como provoca menos transtorno ao trânsito. O asfalto tem vida útil, em média, de 10 anos, por esse motivo é preciso um gerenciamento capaz de identificar a necessidade de recuperação, para se realizar a intervenção a recuperação e restauração no momento certo, bem como a precisão dos produtos a serem usados.

Para se realizar a manutenção preventiva das vias pavimentadas é utilizados produtos como retardadores de trinca, agentes rejuvenescedores e produtos que melhoram a drenagem, acompanhados de instrumentos de diagnóstico, exatamente para se identificar com maior precisão o uso de cada um desses materiais e produtos.

Alguns desses produtos e equipamentos possuem tecnologia avançadas e inovadoras, capazes de realizar todo o serviço de prevenção necessária às vias como é o caso do Micro revestimento asfáltico (CNT 2017).

#### **4.2.1 MICRO REVESTIMENTO OU PINTURA ASFÁLTICA**

Micro revestimento é uma mistura de agregado britado, emulsão catiônica com polímeros, água e aditivos misturados e aplicados numa superfície apropriadamente preparada, utiliza-se para projetos de rodovias e selagem de fissuras, trincas, impermeabilização do pavimento e também preenchimento de trilhas de rodas. É imprescindível a correta avaliação das condições de funcionais do pavimento bem como o desgaste e as cargas que o pavimento foi solicitado, com esses dados e ainda na fase do projeto será definido o tempo de uso do pavimento e quando ele recebera a intervenção preventiva. (DENIT 2006).

**FIGURA 9** – Pavimento recebendo prevenção com Micro Revestimento.



**Fonte:** [http://www.mestreluso.pt/uploads/1/1/8/0/11808021/8540037\\_orig.jpg](http://www.mestreluso.pt/uploads/1/1/8/0/11808021/8540037_orig.jpg).

Acessado 09/04/2019

### **4.3 RESTAURAÇÕES DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

Segundo Balbo 2007 restauração é um conjunto de atividades que visa restabelecer os danos causados pela ação do tempo e também do tráfego de veículos em um determinado pavimento, devolvendo assim sua funcionalidade e trafegabilidade. Antes de uma intervenção em um pavimento deve-se fazer uma criteriosa avaliação seguindo o manual do DNIT.

O objetivo do projeto de restauração do pavimento é fornecer uma solução eficiente, atentando às restrições técnicas e econômicas de cada caso. Para isso, deve-se realizar uma avaliação adequada do pavimento, a fim de determinar as causas e a intensidade da restauração necessária (BALBO, 2017).

É importante que as informações sejam organizadas de forma consolidada para facilitar a determinação das causas das deteriorações encontradas, a identificação das alternativas de restauração e uma melhor gestão do pavimento.

A restauração é uma tarefa complexa que, segundo o DNIT, requer ainda mais cuidados que a própria concepção de novos pavimentos..

## **4.4 MANUTENÇÕES CORRETIVAS APLICANDO NOVOS MATERIAIS NOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

O conceito de empregar novos materiais dando ênfase aos recicláveis é considerado um conceito inovador e sustentável, além de melhorar o desempenho dos pavimentos flexíveis brasileiros no contexto geral. Há muito a ser feito grandes extensões a serem pavimentadas e outras tantas com necessidade de recapeamento ou até pavimentação. A utilização de materiais com maior qualidade, durabilidade e segurança, tornariam o projeto de implantação e restauração das rodovias mais viável levando em consideração às questões econômicas. Com tudo um dos materiais que se enquadra nesse conceito é o asfalto borracha. (BERNUCCI, et al; 2008)

### **4.4.1 ASFALTO BORRACHA**

A massa asfáltica obtida com o emprego do ligante batizado de asfalto borracha apresenta maior durabilidade, menor tendência às deformações permanentes, mais elasticidade, maior resistência às intempéries e maior resistência à fadiga, quando comparadas ao emprego do asfalto convencional, em termos de pavimentos é mais durável e de melhor qualidade (FONTES, 2009).

O asfalto borracha, contem em sua composição pneus usados, antigamente considerados resíduos a serem descartados, hoje sendo reciclados e incorporados aos ligantes asfálticos em obras de pavimentação. O reaproveitamento da borracha dos pneus, além de contribuir com o meio ambiente, oferece mais segurança para os usuários das rodoviária e maior vida útil para o pavimento asfáltico. (Oda, S. 2000).

Além dos benefícios ecológicos, o asfalto borracha proporciona mais segurança e conforto aos usuários que, ao passar pela rodovia, percebem que a textura do pavimento em contato com o veículo gera menos ruído, maior aderência dos pneus e menor dispersão de água em caso de chuva, além de ser mais durável. (BERNUCCI, et al; 2008).

#### 4.4.2 TÉCNICA DE APLICAÇÃO DO ASFALTO BORRACHA

O Asfalto Borracha via úmida, apresenta um ligante com qualidades obviamente superiores às do asfalto convencional, tais como maior resistência à oxidação pela luz solar, maior viscosidade, mais elasticidade e baixa sensibilidade às variações de temperaturas. Partículas finas de borracha são misturadas ao cimento asfáltico aquecido, produzindo um novo tipo de ligante denominado pavimento modificado com borracha de pneus (FONTES, 2009).

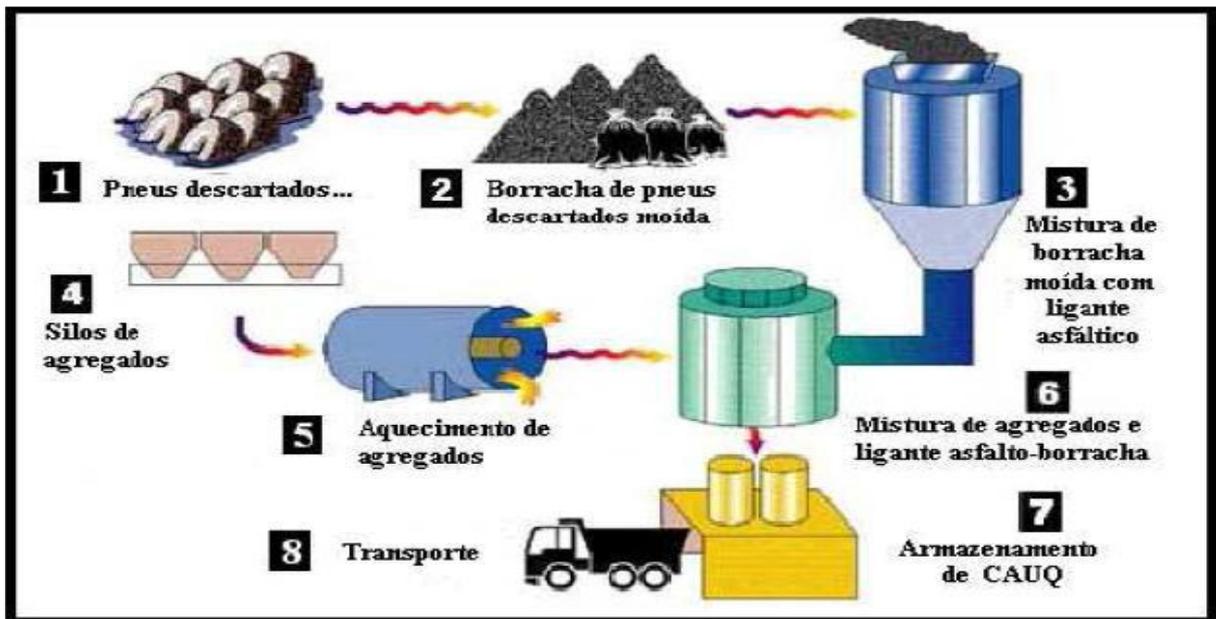
No processo úmido, o ligante asfalto-borracha é obtido a partir da adição da borracha moída ao ligante asfáltico, em um tanque de reação, em temperaturas entre 175 e 200°C. O teor de borracha normalmente utilizado no asfalto borracha é de 15% a 20% em peso. O teor varia em função das características que se deseja obter no ligante modificado final (FONTES, 2009).

Segundo Fontes (2009) após o período de reação, o produto obtido fica armazenado em outro tanque, que deve conter um sistema mecânico de agitação constante, a fim de manter a mistura dispersa, de forma a evitar a deposição das partículas, que não reagiram parcial ou completamente, com o ligante asfáltico.

Ainda segundo Fontes (2009) para a produção de cada quilômetro do asfalto borracha são necessários 600 pneus, com um custo 30% maior se comparado ao asfalto convencional. Mas os benefícios são maiores! Melhoria das propriedades do asfalto comum, aumentando a durabilidade do pavimento em até 40%. Além da resistência e diminuição de custos de manutenção, a adição da borracha aumenta a aderência, o que ajuda a evitar derrapagens e reduz o spray causado pelos pneus em dias de chuva, garantindo estradas mais seguras.

A figura 10 mostra o funcionamento de uma usina de asfalto borracha, já a figura 11 ilustra a aplicação desse produto usinado em um pavimento.

**FIGURA 10** – Funcionamento da usina de asfalto borracha



Fonte: Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento

**FIGURA 11** – Processo de aplicação asfalto borracha



Fonte: Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento

**FIGURA 12** – Pavimento utilizando asfalto borracha



**Fonte:** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando se iniciou essa pesquisa foi constatado que quase metade dos pavimentos asfálticos no Brasil apresenta algum tipo de patologia e que, dentre essas se destaca o afundamento plástico longitudinal na trilha de roda, por isso a importância de estudar esse defeito nos pavimentos flexíveis, diante disso o objetivo geral dessa pesquisa foi identificar técnicas construtivas e novos materiais, onde se constatou que, o trabalho de pesquisa obteve um resultado positivo, pois conseguiu demonstrar que após a implantação das técnicas e dos novos materiais de forma correta diminuirá a ocorrência dessa patologia.

Esse projeto de pesquisa partiu da hipótese de que os pavimentos flexíveis brasileiros apresentam um alto índice de defeitos devido: escolha incorreta de materiais, utilização de técnicas construtivas ultrapassadas e um dos principais fatores que é a falta de fiscalização no controle de peso, ou seja, carga máxima por eixo, com isso essa hipótese foi confirmada. Durante a execução desse trabalho verificou-se que, quando os pavimentos são projetados e executados por empresas privadas esses apresentam uma durabilidade maior, além de oferecer mais conforto e segurança aos usuários, isso devido ao método executivo que visa sempre uma melhor qualidade, diferentemente quando se realiza projetos públicos, tais empresas visam apenas diminuir o custo para assim ganharem a tão concorrida licitação, assim com um custo reduzido os materiais utilizados são de uma qualidade inferior ou até mesmo inadequados para algumas situações, junto a tudo isso a falta de manutenção preventiva faz com que o tempo de vida útil do pavimento seja reduzido drasticamente.

Esse projeto de pesquisa questionou como minimizar o aparecimento das deformações permanentes na trilha de roda em pavimentos flexíveis? Após todos os estudos e pesquisas chegou-se ao resultado que quando se utiliza os materiais corretos, as técnicas adequadas do manual dnit e se conseguir fiscalizar e controlar os excedentes de carga por eixo os problemas com esse tipo de patologia serão diminuídos consideravelmente.

A metodologia utilizada nesse trabalho foi uma pesquisa descritiva e explicativa explorando materiais como artigos, livros e ainda alguns sites especializados no tema, sendo assim esse projeto enfrentou algumas limitações tais como a dificuldade de se conseguir informações específicas sobre trechos de

rodovias federais, onde algumas informações enriqueceriam o trabalho e conseqüentemente melhorariam os resultados apresentados, aliado a essa falta de informações o projeto ainda se deparou com limitação de tempo e de recursos financeiros para exploração de ensaios em laboratório. Um exemplo de rodovia com esse tipo de patologia é a BR020 próximo à cidade de Luiz Eduardo Magalhães BA.

Esse projeto de pesquisa recomenda aos futuros pesquisadores o foco em questões pontuais dessa patologia apresentada no trabalho, tais como: ensaios físicos e químicos dos materiais e do solo em laboratório e questões de temperatura o quanto a variação dela influencia na resistência dos materiais utilizados nos pavimentos flexíveis.

## 6. REFERÊNCIAS

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**, V.1. Ed. Oficina dos Textos, 1ª edição 1ª reimpressão, São Paulo, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani, et al, **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros. 1ª Ed.** - Rio de Janeiro: Petrobrás ABEDA, 2008.

CNT – Confederação Nacional dos Transportes. **Pesquisa Rodoviária**, 2007.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa.** Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Pavimentação. 3. Ed. – Rio de Janeiro, 2006

JACQUES, Guilherme Ebani- **Análise Mecânica-Empírica de um Pavimento Dimensionado pelo Método do DNER:** Estudo de caso da Duplicação da Rodovia RSC-287 em Santa Cruz do Sul. Faculdade UNISC Santa Cruz do Sul, 2015.

FONTES, L. P. T. L. **Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos.** Tese de Doutorado. Universidade do Minho. Universidade Federal de Santa Catarina. 545 p., 2009.

ODA, Sandra. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto. Borracha em Obras de Pavimentação.** Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 200.