

UNIEVANGÉLICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUCAS LÁZARO OLIVEIRA

RECICLAGEM DE PAVIMENTOS A FRIO IN SITU

ANÁPOLIS / GO

2018

LUCAS LÁZARO OLIVEIRA

RECICLAGEM DE PAVIMENTOS A FRIO IN SITU

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: GLEDISTON NEPOMUCENO COSTA
JUNIOR**

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

OLIVEIRA, LUCAS LÁZARO

Reciclagem de pavimentos a frio in situ.

50 pg., 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1. Reciclagem de pavimentos | 2. Pavimentos flexíveis |
| 3. Asfalto | 4. In Situ |
| I. ENC/UNI | II. Reciclagem de pavimentos a frio in situ |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA. Lucas Lázaro. Reciclagem de pavimentos a frio in situ. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 50p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lucas Lázaro Oliveira

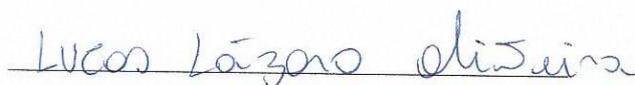
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Reciclagem de pavimentos a frio In Situ.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Lucas Lázaro Oliveira

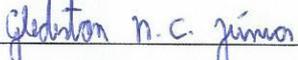
E-mail: laz.lucas1@gmail.com

LUCAS LÁZARO OLIVEIRA

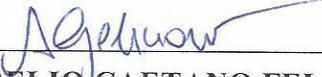
RECICLAGEM DE PAVIMENTOS A FRIO IN SITU

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL

APROVADO POR:



GLEDISTON NEPOMUCENO COSTA JUNIOR (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)



AURELIO CAETANO FELICIANO, Especialista (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)



WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, Junho de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por minha vida, família e amigos. Agradeço a ELE pela saúde e força para superar as dificuldades.

A esta Universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte de novos desafios, apoiado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Ao meu orientador, Glediston Nepomuceno Costa Junior, pelo empenho dedicado a elaboração deste trabalho.

A todos os discentes que nesses anos me auxiliaram na busca do conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim e aos meus caros colegas de graduação.

Aos meus pais e queridos irmãos, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Meus agradecimentos aos amigos, companheiros de trabalho e irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida com certeza.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Lucas Lázaro Oliveira

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa a respeito da técnica de reciclagem de pavimentos a frio in situ, utilizando três ligantes: o cimento, a emulsão asfáltica e a espuma de betume, com as suas respectivas vantagens e desvantagens. No Brasil o principal modal de transportes é o rodoviário, presente em todo o território nacional. A malha rodoviária do país é constituída principalmente pelos pavimentos flexíveis, onde uma grande parcela destes apresenta problemas. A manutenção periódica é sempre recomendada pelos especialistas em rodovias, porém não ocorre com frequência. Assim a reciclagem é uma alternativa para a restauração desse pavimento, proporcionando a recuperação da qualidade, possuindo uma relação custo/benefício satisfatória, evitando o desperdício de materiais, reduzindo a exploração de fontes não renováveis, e contribuindo diretamente com a redução dos impactos ambientais. Primeiramente é abordada uma revisão bibliográfica de temas associados ao assunto central, sendo então apresentados os principais conceitos do pavimento, das suas patologias, a reciclagem (classificação e definição), e da reciclagem a frio in situ a frio. Na sequência são introduzidos os métodos usando três dos principais ligantes encontrados no Brasil, o cimento, a emulsão e a espuma de asfalto. Por fim é discutido as suas particularidades, de modo a chegar em um consenso sobre as variáveis indispensáveis para a escolha da técnica de reciclagem.

PALAVRAS-CHAVE:

Reciclagem; Pavimentos; In situ; Asfalto; Restauração.

ABSTRACT

This work presents a comparative analysis regarding the technique of recycling cold pavements in situ using three binders: cement, asphalt emulsion and bitumen foam, with their respective advantages and disadvantages. In Brazil, the main mode of transport is road transport, which is present throughout the country. The country's road network consists mainly of flexible pavements, where a large portion of these presents problems. Periodic maintenance is always recommended by road experts, but it does not occur frequently. Thus, recycling is an alternative to the restoration of this pavement, providing quality recovery, having a satisfactory cost-benefit ratio, avoiding material waste, reducing the exploitation of non-renewable sources, and directly contributing to the reduction of environmental impacts. Firstly, a bibliographical review of topics related to the central theme is presented. The main concepts of pavement, its pathologies, recycling (classification and definition) and cold in situ cold recycling are presented. In the sequence the methods are introduced using three of the main binders found in Brazil, cement, emulsion and asphalt foam. Finally, its particularities are discussed, in order to arrive at a consensus on the variables that are indispensable for the choice of recycling technique.

KEY WORDS:

Recycling; Flooring; In situ; Asphalt; Restoration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seção transversal.....	16
Figura 2 - Lago de asfalto em Trinidad	19
Figura 3 – Disposição das camadas.....	21
Figura 4 - Diferenças básicas.....	21
Figura 5 – Ação das cargas.....	22
Figura 6 – Composição das camadas de um pavimento.....	23
Figura 7 – Trecho com afundamento.....	27
Figura 8 - Exemplo de Exsudação	28
Figura 9 - Composição das rodovias no Brasil.....	29
Figura 10 - Situação das rodovias quanto aos tipos de administração.	30
Figura 11 - Rodovias Federais.....	30
Figura 12 - Rodovias Estaduais	30
Figura 13 - Malha rodoviária de Goiás.....	32
Figura 14 – Fresadora DYNAPAC.....	35
Figura 15 - Fresadora/Recicladora RM500	35
Figura 16 - Rolo compactador	38
Figura 17 - Rolo compactador de pneus.....	13
Figura 18 - Comboio com cimento seco.....	40
Figura 19 - Comboio com cimento líquido	40
Figura 20 - Emulsão Betuminosa	42
Figura 21 - Comboio Emulsão	42
Figura 22 - Fases com espuma	44

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Fatores importantes	36
Tabela 2 - Critérios de seleção para reciclagem a fio <i>in situ</i>	39
Tabela 3 - Resultados da análise	45

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ARRA	Asphalt Recycling and Reclaiming Association
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminosa Usinado a Quente
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGG	Índice de Gravidade Global
IMB	Instituto Mauro Borges
NRB	Norma Brasileira Regulamentadora
PCA	Portland Cement Association
PIB	Produto Interno Bruto
SEGPLAN	Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento
SNV	Sistema Nacional de Viação

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 METODOLOGIA	14
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2 PAVIMENTOS	16
2.1 HISTORIA DOS PAVIMENTOS	17
2.2 O ASFALTO.....	19
2.3 SUBDIVISÃO DOS PAVIMENTOS.....	20
2.4 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.....	22
3 PATOLOGIAS NOS PAVIMENTOS	24
3.1 DEGRADAÇÃO DO PAVIMENTO	25
3.2 SITUAÇÃO NO BRASIL	28
3.2.1 Situação em Goiás.....	31
4 A TÉCNICA DE RECICLAGEM.....	33
4.1 FRESAGEM	36
4.1.1 Fresagem quanto à espessura	36
4.1.2 Fresagem quanto à rugosidade	37
4.2 EQUIPAMENTOS.....	37
4.3 RECICLAGEM DE PAVIMENTOS A FRIO IN SITU.....	13
4.4 RECICLAGEM COM CIMENTO	39
4.5 RECICLAGEM COM EMULSÃO BETUMINOSA	41
4.6 RECICLAGEM COM ESPUMA DE BETUME.....	43
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

No decorrer dos últimos anos, os veículos que circulam pelas rodovias do país passaram por grandes transformações, seja na forma estética, na capacidade de carga, no aumento da frota, ou na diversidade existente. Eles estão maiores, mais robustos e sendo capazes de transportar cargas mais pesadas. Em contrapartida os pavimentos das estradas não seguiram o mesmo ritmo de evolução e estão sofrendo com o aumento das degradações. Essa realidade precisa de uma maior dedicação no estudo do problema, especialmente nas estradas mais antigas que naturalmente não estão preparadas para tal impacto (MARTINHO et al, 2004).

Segundo Cunha (2010) um pavimento passa por diversos tipos de processos de deterioração, causado principalmente pelo tráfego e pelo clima. O crescente aumento da frota de veículos automotores fez com que as solicitações as quais estes pavimentos estão sujeitos aumentassem. Tendo em paralelo, um aumento significativo das exigências referente a durabilidade, a qualidade e ao resguardo dos mecanismos de segurança dos usuários.

Martinho et al (2004) afirma que restaurar e reforçar os pavimentos que já existem adaptando-os para as condições de circulação atuais deve ser uma medida pesquisada e colocada em pratica com estudos bem elaborados e consistentes, pois é de suma importância garantir um nível de qualidade adequado em prol da sociedade. Geralmente os materiais existentes já não possuem as suas propriedades originais, causados principalmente pelo seu uso contínuo e pela passagem do tempo.

A reciclagem é uma opção para os métodos de restauração tradicionais, pois ela proporciona um fim apropriado aos materiais resultantes dos pavimentos danificados. Esta técnica caminha lado a lado das responsabilidades atuais quanto ao meio ambiente, e garante a restauração das propriedades estruturais. Durante a reciclagem esses materiais podem ser reutilizados com a adição de outros materiais com funções corretivas que servem para melhorar os atributos existentes e aumentar as ligações entre os agregados (CUNHA, 2010).

O primeiro registro do uso da reciclagem de pavimentos data dos anos de 1970 na América do Norte, que passava por um período de avanço imprevisível no preço do petróleo, alcançando valores muito altos e conseqüentemente tendo gastos muito elevados na produção, no transporte e no emprego das misturas asfálticas. Nos anos seguintes, a reciclagem assume novamente um papel considerável, seja por razões de ordem econômica, mas principalmente

por razões ambientais. Desde então, os fatores ambientais passam a ter uma maior participação na escolha do melhor método que será usado para recuperar uma rodovia.

Assim, a reciclagem se apresenta como uma saída alternativa para os problemas de escassez de insumos, com a disponibilidade cada vez menor e com as demandas cada vez maiores. Outro ponto notável é quanto a possível reutilização completa ou parcial dos materiais provenientes da fresagem, dando um destino ecologicamente correto aos mesmos, por vezes garantindo muitas propriedades idênticas e até mesmo melhores nos pavimentos reabilitados. Pode-se dizer que de modo geral a reciclagem é uma das ferramentas das políticas de crescimento e desenvolvimento sustentável almejada pela sociedade.

Existem vários métodos que podem ser usados na reciclagem de pavimentos, e muitas variáveis estão envolvidas na escolha do processo. Martinho et al (2004) afirma que é preciso sempre fazer uma análise do projeto do pavimento em questão, pois ali existem informações imprescindíveis. Antes de decidir o tipo de intervenção que será realizada, é preciso que ocorra uma caracterização do estado do pavimento, que auxilia na identificação confiável das propriedades existentes e permite definir um processo mais adequado.

Todavia, a reciclagem só se torna possível quando se tem justificativas ambientais e econômicas suficientes, sendo de suma importância a promoção da integração entre as questões ambientais e as soluções possíveis.

1.1 JUSTIFICATIVA

O método de reciclagem de pavimento a frio *in situ*, é uma alternativa para a recuperação de pavimentos flexíveis. Porém, ainda persiste uma escassez de arquivos científicos que possam proporcionar um conhecimento técnico e científico suficiente para atender a todas as dúvidas e questionamento que surgem quanto a sua utilização. Esse trabalho tem como propósito realizar uma revisão bibliográfica e apresentar um levantamento sobre o que existe do assunto.

Possuir uma malha rodoviária estável e de qualidade é uma questão muito importante para a nossa nação. A urgência da retomada econômica do Brasil nos próximos anos, necessita de uma alta demanda no segmento de infraestrutura. Nesse contexto, assegurar a recuperação da nossa malha rodoviária mostra-se imprescindível para permitir um crescimento social e econômico com bases permanentes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem objetivo principal apresentar de forma analítica técnicas de reciclagem de pavimentos a frio, tendo enfoque no método *in situ*, o qual ocorre no local onde será feita a correção do pavimento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definição, história e importância do pavimento asfáltico;
- Apresentar as principais patologias de um pavimento;
- A importância da reciclagem no atual cenário brasileiro;
- Técnicas de reciclagem a frio *in situ*;
- Análise comparativa (Cimento, Emulsão asfáltica, Espuma de Betume).

1.3 METODOLOGIA

- Levantamento de dados através de fontes diversas (artigos, revistas, publicações acadêmicas, livros, fontes eletrônicas, etc);
- Análise comparativa dos diferentes métodos;
- Apresentação de resultados obtidos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é organizado da seguinte forma:

No capítulo 1, é apresentado o contexto do conteúdo em estudo, onde é apresentado os principais objetivos do trabalho e decorre uma visão geral da estrutura considerada para a monografia.

No Capítulo 2 é abordado as considerações iniciais sobre a história, a composição e como funciona, dando destaque aos pavimentos flexíveis. Será também abordado uma subdivisão básica dos pavimentos, assim como a descrição das camadas que o constituem para depois progredir para as principais formas de deterioração dos mesmos.

O Capítulo 3 aborda uma reprodução das mais comuns patologias existentes em pavimentos asfálticos. Neste também é apresentado e focado na região de estudos do tema, apresentando a extensa malha rodoviária brasileira e suas adversidades.

No Capítulo 4 são apresentados e discutidos alguns dos diversos tipos de reciclagem que existem. São considerados três métodos diferentes, considerando o equipamento utilizado e outros aspectos. É ainda analisado, descrito e comparado os parâmetros dos modelos já existentes, com foco nos métodos a frio e feitos no próprio local. São mencionados os benefícios e as complicações existentes.

Por fim, no 5º capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho, bem como uma base para os estudos posteriores referentes à reciclagem de pavimentos a frio in situ.

2 PAVIMENTOS

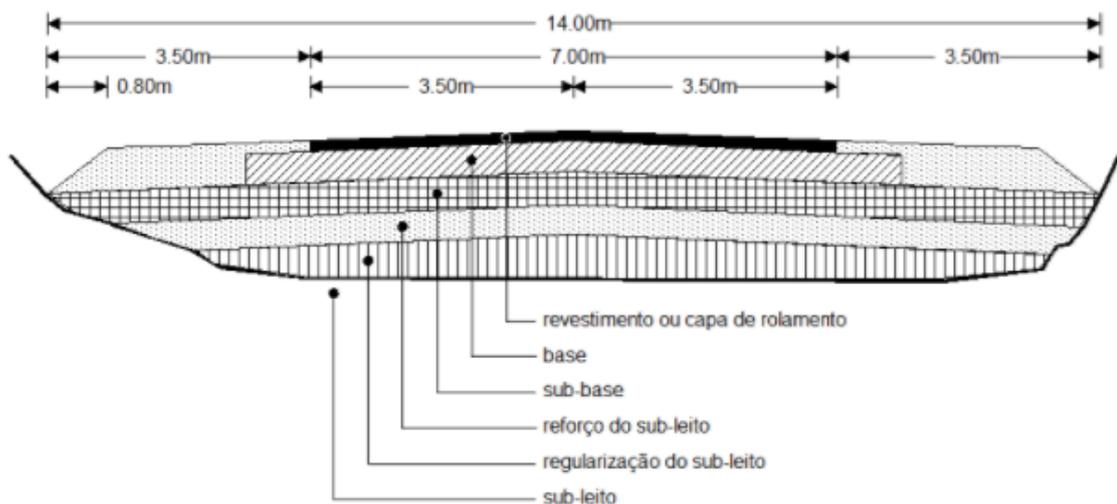
Segundo o DNIT (2006), pavimento é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi espaço, considerando teoricamente como infinito.

O pavimento, por injunções de ordem técnico-econômicas é uma estrutura de camada em que materiais de diferentes resistências e deformidades são colocados em contato resultando daí um elevado grau de complexidade no que respeita ao cálculo de tensões e deformações e atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego.

Faleiros (2005) afirma que a estrutura do pavimento tem como função distribuir e resistir as forças verticais originadas do fluxo de veículos com eficiência, dando uma capacidade de rolamento confortável ao usuário, sendo capaz de resistir ao desgaste e tornando o sistema durável.

Na Figura 1 a seguir é ilustrado um esquema de um pavimento constituído pelas camadas comuns no Brasil.

Figura 1 – Seção transversal



Fonte: Faleiros (2005), pg. 4 adaptado.

Segundo as informações de Andrade (2010) em um típico pavimento existe: o subleito que é o solo da fundação do pavimento. No caso mais comum é a estrada já em tráfego já há algum tempo, a qual se pretende pavimentar, onde se apresenta uma superfície irregular, sendo necessária uma regularização. Essa regularização do subleito possui uma camada irregular, corrigindo as falhas da camada final. Já no caso do reforço do subleito trata-

se de uma camada de espessura constante sobre o subleito regularizado. Sendo tipicamente um solo argiloso de qualidades superiores ao do subleito.

Ainda segundo Andrade (2010) entre o subleito (ou a camada de reforço) e a base, existe a sub-base. Ela deve ter uma boa capacidade de suporte para prevenir o bombeamento do solo do subleito para a camada de base. A base fica abaixo do revestimento, fornecendo suporte estrutural, aliviando as tensões vindas da primeira camada para as posteriores.

Nos pavimentos asfálticos, a camada de base possui grande importância. Elas podem apresentar constituições granulares, estas que não possuem coesão, resistindo somente a valores desprezíveis de forças de tração e distribuindo principalmente as tensões de compressão. Neste caso, surgem configurações com ou sem o uso de aditivos cimentícios. Outra configuração comum para a base é aquela que apresenta uma boa coesão graças ao emprego de ligantes, seja ele do tipo ativo (solo-cimento, sol-cal, concreto-rolado) ou do tipo asfáltico (solo asfalto, macadame asfáltico, mistura asfáltica).

Na superfície, a superfície de revestimento é a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do tráfego, destinada a melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de segurança e conforto, além de suportar ao desgaste (FALEIROS, 2005).

Para Solanki (2017) durante o dimensionamento da espessura é imprescindível dar a devida atenção quanto a fatores como os estudos geotécnicos da região, o tráfego previsto e a escolha correta dos materiais que serão usados.

2.1 HISTORIA DOS PAVIMENTOS

A datar de vários anos atrás, a humanidade percebeu a necessidade de expandir seus territórios e encontrar uma maneira de facilitar seu acesso às áreas cultiváveis e fontes de materiais essenciais à sua subsistência e desenvolvimento. A partir dessa necessidade, o homem deu início a construção de estradas (BALBO, 2007).

Segundo Veggi e Magalhães (2014) percorrer a história da pavimentação remete à própria história da humanidade, passando pelo povoamento dos continentes, conquistas territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, urbanização e desenvolvimento. Estudos mostram que as primeiras estradas pavimentadas foram concebidas a partir do surgimento das rodas, há mais de 4000 anos, demonstrando que a velocidade de viagem nesse tipo de construção é maior quando comparada com os meios da época.

A partir desse ponto as rodovias se multiplicaram e se desenvolveram, tornando-se vital para o crescimento e a manutenção de qualquer Estado, pois garantem um deslocamento mais rápido, seguro e eficiente de produtos e pessoas. Atualmente, a pavimentação é indispensável e essencial para a vida moderna, seja nas áreas rurais, semiurbana ou urbana.

Como os pavimentos, a história também é construída em camadas e, frequentemente, as estradas formam um caminho para examinar o passado, daí ser uma das primeiras buscas dos arqueólogos nas explorações de civilizações antigas (MOURA, 2017).

Aos romanos foi atribuída a arte maior do planejamento e da construção viária da antiguidade. Visando, dentre outros, objetivos militares e de manutenção da ordem no vasto território do Império, os romanos foram capazes de implantar um sistema robusto construído com elevado nível de critério técnico. O sistema viário romano já existia anteriormente à instalação do Império, embora o mesmo tenha experimentado grande desenvolvimento a partir de então. A partir da queda do Império Romano (476 D.C.), e durante os séculos seguintes, as novas nações europeias perderam de vista a construção e a conservação das estradas. A França foi à primeira, desde então, a reconhecer o efeito do transporte no comércio, dando importância à velocidade de viagem.

De acordo com o Manual de Pavimentação, a pavimentação no Brasil já foi objeto de estudos e práticas de construção desde longa data, quando experientes técnicos do então DNER formularam normas e procedimentos que se tornaram, com suas sucessivas atualizações, o estado de arte na Engenharia Rodoviária. Desde os anos de 1950, os métodos de pavimentação tiveram um grande desenvolvimento graças ao intercâmbio entre Brasil e Estados Unidos nessa área. Como consequência veio à necessidade de uniformizar as especificações de serviço e as técnicas de construção, o que, em função do esforço coletivo do DNER, deu origem à primeira edição do Manual de Pavimentação, em 1960.

“Sem estradas adequadas não apenas continuaremos a ser uma região fora do espectro das nações desenvolvidas, como também continuaremos a ser um país que não oferece acesso adequado de bens para sua população. Não nos ufanemos, portanto, de nossa infraestrutura rodoviária, ainda bastante arcaica, que demonstra baixa tecnologia a serviço, reflexo de nosso atraso como sociedade moderna” (BALBO, 2007).

2.2 O ASFALTO

O asfalto é um dos mais antigos e versáteis materiais de construção utilizados pelo homem. Contendo mais de 100 aplicações, desde a agricultura até a indústria. O uso em pavimentação é um dos mais importantes entre todos. Na maioria dos países do mundo, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento. No Brasil, cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico, além de ser também utilizado em grande parte das ruas (BERNUCCI et al., 2008).

Este pode ser encontrado de forma natural na natureza, sendo puros ou misturados com outros minérios, em afloramentos naturais. De acordo com Castro (2003), o asfalto natural tem sua origem da elevação do petróleo à superfície, e graças à ação do sol e do vento, os gases e óleos leves são destilados lentamente, deixando um resíduo muito duro. Um exemplo é o "Asfalto de Trinidad" mostrado na figura a seguir.

Figura 2 - Lago de asfalto em Trinidad



Fonte: www.quemmandoufazerengenharia.wordpress.com, 2018.

Lira (2013) explica que na maioria das vezes, o asfalto comum se encontra impregnada em estruturas porosas denominadas de rochas asfálticas. Este é um produto

orgânico composto por hidrocarbonetos não voláteis, possuindo uma massa molecular elevada com propriedades que variam dependendo da origem do petróleo e do processo de sua obtenção.

Os asfaltos de petróleo são obtidos através de uma destilação fracionada de certos tipos de petróleo. No petróleo, é comprovada a existência de materiais de origem vegetal e animal, bem como de produtos específicos presentes no metabolismo de seres vivos (GUARÇONI, 1994).

A principal forma de refino de petróleo no Brasil é a destilação a vácuo. Através dela que se obtém o C.A.P (Cimento Asfáltico de Petróleo), em forma sólida ou semissólida dependendo da temperatura do ambiente. O CAP é usado na construção dos revestimentos asfálticos.

Há várias razões para o uso intensivo do asfalto em pavimentação, sendo que as principais são: proporciona forte união dos agregados, agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável; é impermeabilizante; é durável e resistente à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com o uso ou não de aditivos.

Conforme Castro (2003), os pavimentos urbanos também desempenham um papel vital para o desenvolvimento das cidades e merecem a mesma preocupação quanto à manutenção e a conservação.

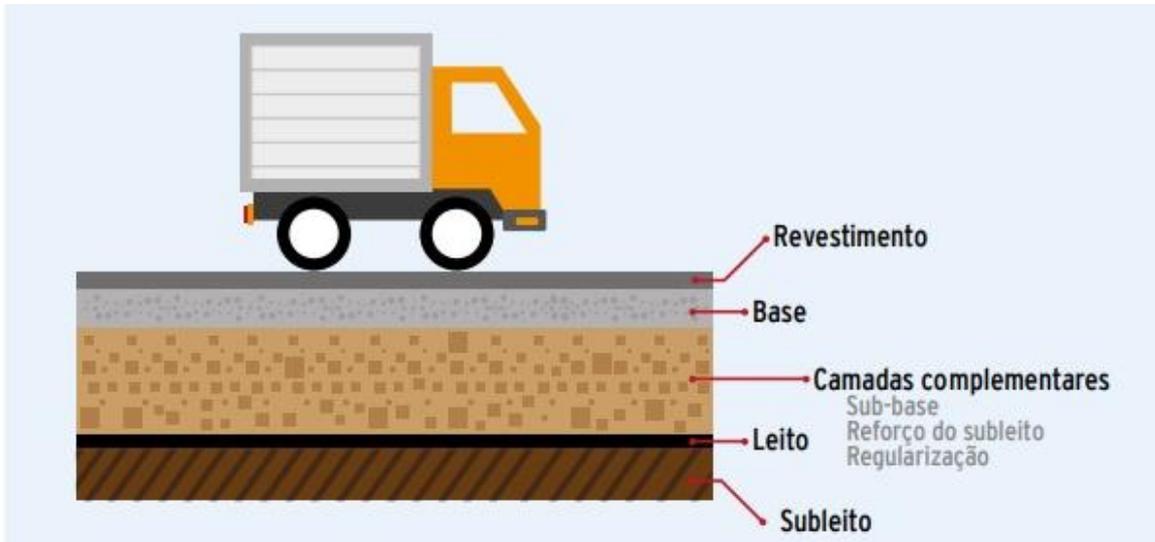
2.3 SUBDIVISÃO DOS PAVIMENTOS

Andrade (2010) descreve de maneira geral que os pavimentos são classificados de acordo com os critérios a seguir:

O pavimento flexível é aquele que sempre tem um revestimento betuminoso ou asfáltico na sua superfície, possuindo também algum material granular que compõe a base e outro material granuloso ou o próprio solo que forma a sua sub-base. Estes tipos de pavimentos são conhecidos como flexíveis, uma vez que a estrutura flutua devido às cargas de tráfego. A estrutura é composta de diversas camadas de materiais que podem comportar esta flexão (FALEIROS, 2005).

A figura 3 mostra a representação da composição de um pavimento flexível.

Figura 3 – Disposição das camadas.

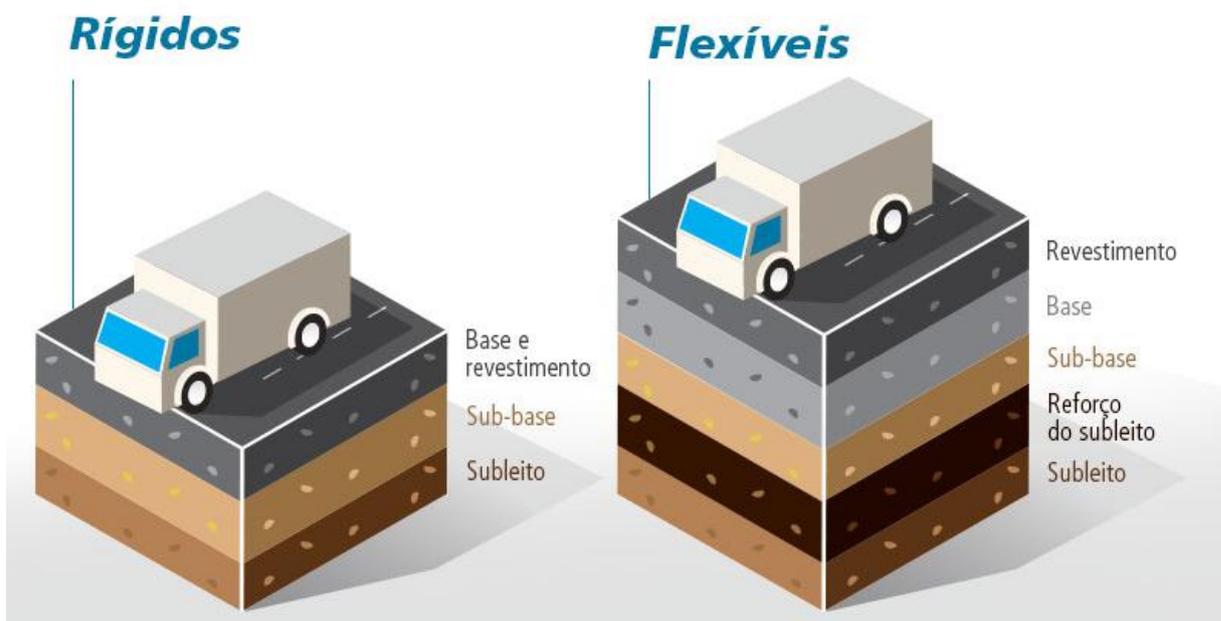


Fonte: (CNT, 2017), adaptado.

Já o pavimento semirrígido caracteriza-se por possuir uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como, por exemplo, uma camada de solo cimento revestida pela camada asfáltica.

O pavimento rígido possui um revestimento que tem uma elevada rigidez se comparado com as camadas de baixo, portanto, ela absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. O exemplo típico é aquele pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland. A figura a seguir exemplifica as características básicas de ambos.

Figura 4 - Diferenças básicas

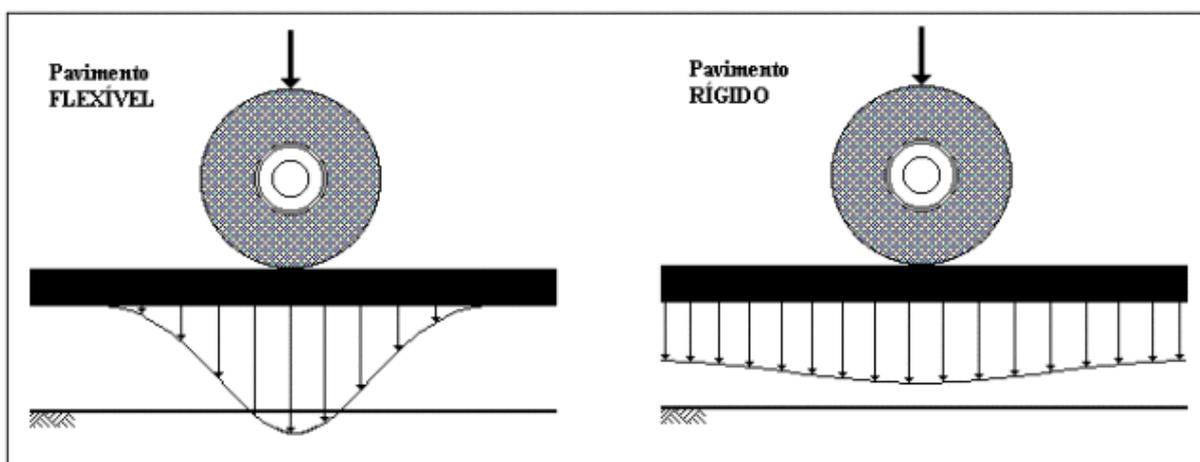


Fonte: www.mapadaobra.com.br, 2018, adaptado.

Cada um destes tipos de pavimento distribui a carga para o subleito de uma forma diferente. O pavimento rígido tende a distribuir a carga sobre uma área relativamente maior do subleito. O pavimento flexível utiliza mais camadas e distribui as cargas para uma área menor do subleito (ANDRADE, 2010).

A Figura 5 representa de maneira simplista a distribuição de forças provenientes do tráfego de veículos em dois tipos de pavimentos, no primeiro momento em um pavimento rígido e em seguida em um pavimento flexível.

Figura 5 – Ação das cargas.



Fonte: www.ideiasesquecidas.com, 2018, adaptado.

2.4 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Cunha (2010) afirma que os pavimentos flexíveis são estruturas com vários níveis de materiais diferentes, onde as camadas superiores são de misturas compostas com materiais betuminosos e as camadas abaixo são feitas com materiais granulares.

A determinação dos materiais é um fator importante a ser considerado no projeto e na execução, pois para as diferentes camadas, propriedades pré-determinadas devem ser alcançadas, garantindo assim que o conjunto como um todo possa oferecer uma superfície lisa, segura, econômica e confortável.

Os pavimentos asfálticos, são compostos por uma camada superficial asfáltica, estabelecida sobre camadas de base, de sub-base e às vezes pelo reforço do subleito. Podendo ter na sua composição materiais granulosos, solos ou misturas de solos, com ou sem adição de agentes como o cimento (BERNUCCI et al., 2008).

Os revestimentos das estruturas de um pavimento em geral são submetidos a esforços de compressão e de tração devidos à flexão, ficando as demais camadas submetidas principalmente à compressão. Em certos casos, uma camada subjacente ao revestimento pode ser composta por materiais estabilizados quimicamente de modo a proporcionar coesão e aumentar sua rigidez, podendo resistir a esforços de tração. Embora possuam coesão, as camadas de solos finos apresentam baixa resistência à tração, diferentemente dos materiais estabilizados quimicamente. A figura 6 apresenta a constituição de um pavimento asfáltico, detalhando alguns pontos importantes.

Figura 6 – Composição das camadas de um pavimento



Fonte: Mereghi & Fortes (2015), Adaptado.

Normalmente durante o projeto e a execução dessa classe de pavimento, a espessura de cada camada é definida com base no volume diário médio de veículos, do tipo de solo existente, da vida útil do projeto, dos tipos de veículos que irão circular e do custo investimento. É adotada uma espessura do pavimento média relevante, tendo em vista a possibilidade do uso de materiais de qualidade menor ao qual foi pensada e projetada. Assim, espessuras mais robustas garantem que a tensão no solo de fundação seja menor que a sua resistência (PINTO, 2003).

Devido baixa capacidade de conexão entre as camadas nos pavimentos flexíveis, estas se deformam, causando um recalque na superfície, podendo ser localizado ou distribuído em vários pontos do pavimento.

3 PATOLOGIAS NOS PAVIMENTOS

O conceito de uma rodovia com boa qualidade abrange não só o conforto e segurança, mas também, a eficiência econômica, que adquire cada vez mais importância no Brasil, tendo em vista a majoritária utilização do modo rodoviário no transporte de bens e pessoas. Assim os defeitos encontrados nos pavimentos comprometem a segurança e o conforto, podendo acarretar prejuízos de grande magnitude (MACHADO, 2013).

Visando garantir a segurança do tráfego nas rodovias, o pavimento deve aguentar os efeitos das mudanças de clima, permitir um deslocamento agradável, não causar desgaste excessivo dos pneus e nível alto de ruídos, ter uma estrutura forte resistindo ao fluxo de veículos, permitindo o escoamento da água na sua superfície, além de possuir sistemas de drenagem eficientes para dar vazão à água da chuva e ter boa resistência a derrapagens (CNT, 2017).

A ineficiência das vias, a falta de manutenção dos pavimentos e da drenagem e, principalmente, a realização de serviços com uso de recursos sem programação prévia são as principais causas da situação atual. Segundo Lima (2007), no Brasil os serviços de conservação de rodovias são realizados pelos órgãos públicos (DER) ou órgãos privados (concessionárias), e as secretarias de obras das prefeituras municipais cuidam da conservação das vias urbanas. Apesar de alguns estados e cidades do país já terem implementado algum tipo de sistema especialista em gerenciar as atividades de conservação em pavimentos urbanos e rodoviários, ainda há muito a ser feito.

A redução evolutiva da qualidade inicial do pavimento começa a ocorrer logo após a sua concepção, quando esta sofre a ação de agentes atmosféricos e mais tarde com as solicitações de tráfego. Lima (2007) aponta que são vários os fatores que contribuem e interferem diretamente na degradação de um pavimento, alguns deles estão listados a seguir:

- Fatores climáticos e relacionados ao meio ambiente: que incluem as chuvas, a temperatura, a evapotranspiração, etc. Todos estes aspectos tem uma estreita relação com a drenagem e o desgaste do pavimento;
- Fatores relacionados ao tráfego: que compreendem coisas como, a composição do tráfego, as velocidades de operação dos veículos, o número de repetições de veículos pesados;

- Fatores de projeto: que incluem os materiais e os métodos de dimensionamento de camadas que compõem os pavimentos são de grande importância no desempenho e compatibilização das mesmas;
- Fatores geotécnicos: que influenciam na condição dos pavimentos. O solo de fundação deve ser devidamente estudado e considerado, uma vez que as deficiências do subleito comprometerão o desempenho do pavimento.
- Fatores construtivos, tal como, o controle de qualidade é essencial para um pavimento desempenhar um bom nível de serviço durante seu tempo de vida útil.

O desempenho dos pavimentos é estudado atualmente como sendo uma componente estrutural através da vida residual. O componente funcional do desempenho é estudado a partir da observação dos parâmetros do estado como o de irregularidades, o longitudinal, o transversal, o atrito e as degradações superficiais. A vida residual de um pavimento é uma medida da sua capacidade de suportar cargas, definida pelo número de passagens de um eixo de referência que o conduzirá à ruína, num determinado momento da sua vida. Para calcular a vida residual, é fundamental caracterizar-se, através de metodologias adequadas, quer o estado superficial dos pavimentos, quer a sua deformabilidade, assim como definir os parâmetros de caracterização mecânica dos materiais constituintes das camadas (FREITAS & PEREIRA, 2011).

A CNT (2017) considera que os problemas mais encontrados no Brasil, é o não atendimento às exigências técnicas tanto da qualidade dos materiais como da manutenção inexistente ou precária.

3.1 DEGRADAÇÃO DO PAVIMENTO

A durabilidade de uma rodovia está diretamente relacionada com três fatores: a elaboração de um projeto construtivo, que dimensiona e especifica as diversas camadas da rodovia. A execução desse projeto, seguindo as especificações do projeto e a manutenção da rodovia, que serve para prevenir ou corrigir os possíveis defeitos que aparecem ao longo do tempo.

Segundo Gonçalves (1999) para identificar os fatores que controlam o comportamento de um pavimento, é preciso se levar em conta dois elementos fundamentais que agem diretamente no pavimento asfáltico: o clima e o tráfego. O clima age através das mudanças de temperaturas, das chuvas e da umidade. Já em relação ao tráfego ele se mostra através da degradação da estrutura por meio das forças aplicadas pelos veículos de carga. A passagem constante acaba produzindo um desgaste superficial. Juntamente com os mecanismos já citados, outros fatores interferem diretamente no processo da degradação. Como a estrutura do pavimento, as propriedades dos materiais que constituem as camadas, e as condições de drenagem, tanto superficiais quanto profundas.

Os defeitos surgem não somente pela acumulação da repetição das cargas do tráfego, mas também pode ser pelo envelhecimento natural do revestimento, onde os ligantes perdem a força e surgem as trincas causadas pela variação das temperaturas. Outro fator que pode dar origem a degradação é a ineficiência construtiva mostrada durante a concepção do mesmo, como uma compactação malfeita ou uma aplicação do revestimento com a temperatura diferente daquela desejada (GONÇALVES, 1999).

Interessam duas configurações básicas para as degradações de pavimentos, as estruturais e as funcionais. As estruturais estão relacionadas com a perda da capacidade de suportar as cargas perdendo a integridade estrutural do pavimento. Já os defeitos funcionais são aqueles relacionados com as condições de segurança e trafegabilidade da superfície de rolamento (DNIT, 2006).

Segundo Bernucci et al (2008) durante os cálculos do IGG (Índice de Gravidade Global) a norma brasileira apresenta pelos menos sete tipos de patologias mais comuns. Elas são: as fendas, os afundamentos, as corrugações/ondulações transversais, a exsudação, o desgaste ou desagregação, a panela ou buraco, e os remendos.

As fendas são aberturas na superfície asfáltica. Elas podem ser consideradas como fissuras, quando a abertura é evidente a olho nu tendo um tamanho menor que 1,5 m. Ou podem ser consideradas trincas quando a abertura tiver um tamanho maior que 1,5 metros.

Os afundamentos são depressões no pavimento. São deformações imutáveis ocasionadas pela densificação diferencial das camadas, onde em algumas partes ocorre um rebaixamento tanto do revestimento quando pelas camadas adjacentes, e em outras partes ocorre uma compensação volumétrica, com a elevação do asfalto nas bordas. Geralmente acontece devido a uma má compactação do solo acrescentando-se com a passagem de cargas pesadas no local. A figura a seguir apresenta um exemplo de afundamento.

Figura 7 – Trecho com afundamento

Fonte: www.der.pr.gov.br, 2018, adaptado.

As corrugações/ondulações transversais são um tipo de ondulação que ocorre quando a malha asfáltica sofre uma elevação nas bordas, praticamente se igualando ao nível do meio fio. Ela acontece principalmente quando o local passa por um recapeamento mal feito.

Na exsudação o pavimento apresenta uma superfície brilhante e negra, causada pela migração do asfalto para a superfície do pavimento. Tendo como resultado um pavimento escorregadio e perigoso. A figura 8 apresenta um exemplo prático de exsudação ocorrido em São Paulo.

Durante a desagregação ocorre o dano do pavimento causado pela umidade. O asfalto da mistura mantém a coesão e impermeabiliza o revestimento. Quando a umidade atinge a superfície do agregado, ela pode quebrar a ligação entre eles, e assim desprendendo-os.

A famosa panela/buraco é uma cavidade no revestimento asfáltico, geralmente com forma circular, podendo ou não chegar às camadas de base e sub-base.

Quanto aos remendos, eles não são necessariamente um defeito. O que pode acontecer é que ele seja muito mal executado, e apareçam ondulações no pavimento prejudicando ainda mais o fluxo de veículos.

Figura 8 - Exemplo de Exsudação



Fonte: www.researchgate.net, 2018, adaptado.

O DNIT faz uma avaliação sistemática de tempos em tempos da condição das rodovias no país. E através desses dados coletados é calculado o Índice de Gravidade Global (IGG) que classificará o estado do pavimento, em diferentes níveis: ótimo, bom, regular, ruim ou péssimo.

As degradações acontecem de forma progressiva, não atuando de forma separada, mas sim como um conjunto interligado entre si. Sendo assim sempre existe uma interferência entre elas, gerando um ciclo (PICADO SANTOS et al., 2008).

3.2 SITUAÇÃO NO BRASIL

A opção pela modalidade rodoviária como principal meio de transporte, tanto de cargas como de pessoas é um fenômeno que se observa desde a década de 1950, tendo como base a expansão da indústria automobilística no país e a mudança da capital para o Centro Oeste, onde foram implantados um vasto programa de construção de rodovias.

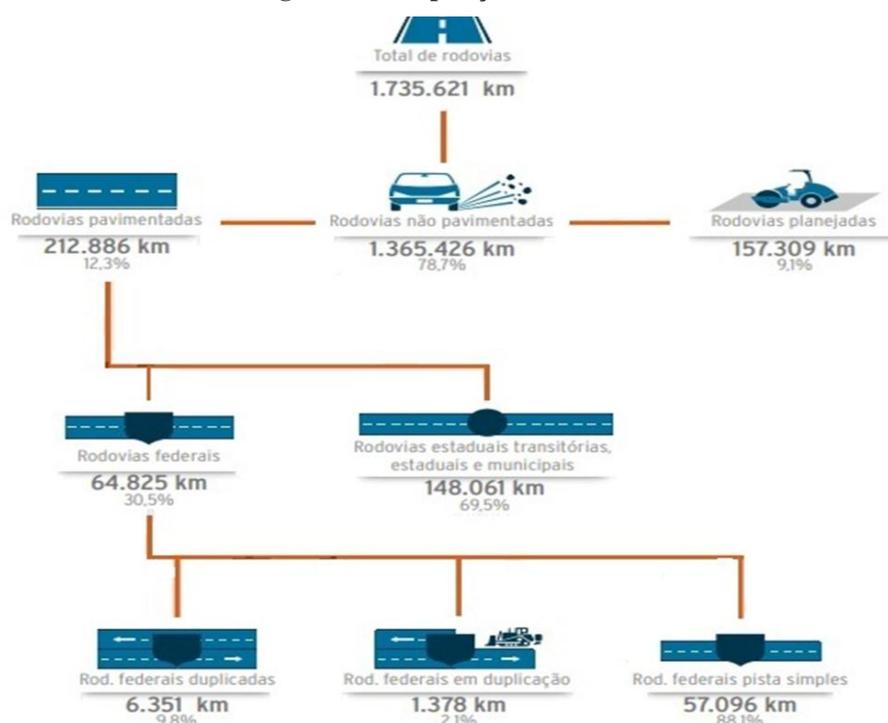
A malha rodoviária brasileira apresentou sua maior expansão nas décadas de 1960 e 1970 período em que cerca de 21 % do total dos gastos do setor público, conforme relatório do Banco Mundial, foram destinados à construção e manutenção de estradas no país (COSTA & FILHO, 2010).

O Brasil começou a investir em rodovias com o governo de Juscelino Kubitschek, durante o processo de industrialização do Brasil, pois, naquela época demandava-se uma maior integração territorial, o que incluía, sem dúvidas, uma rede de transporte articulada por todo o território nacional. Atualmente a política do rodoviaríssimo no Brasil é, no entanto, muito criticada, principalmente devido ao fato que a priorização desse modal contribuiu para que outros tipos de transportes fossem colocados em segundo plano, como as ferrovias e as hidrovias, que costumam apresentar uma melhor relação custo-benefício. (BERNUCCI et al., 2008)

De acordo com a Confederação Nacional de Trânsito (CNT) a malha rodoviária acaba sendo o principal meio de fluxo de pessoas e cargas no país, contribuindo significativamente para o desenvolvimento socioeconômico nacional. Com uma participação de mais de 61% na matriz de transporte de cargas e de 95% na de passageiros, a infraestrutura rodoviária é também a principal responsável pela integração de todo o sistema de transporte no país.

Segundo o Sistema Nacional de Viação - SNV, a malha rodoviária nacional compreende 212.866 km de rodovias pavimentadas, contrapondo-se a 1.365.426 km de rodovias não pavimentadas. A figura na sequência mostra a composição da malha rodoviária de acordo com o tipo de gestão e o tipo de rodovia.

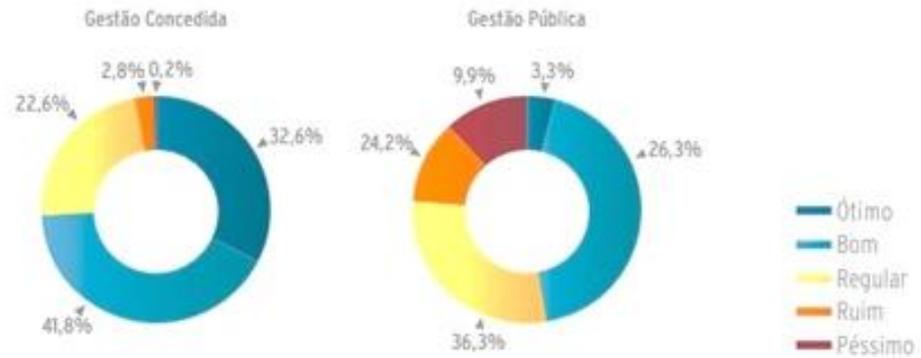
Figura 9 - Composição das rodovias no Brasil



Fonte: CNT (2017), adaptado.

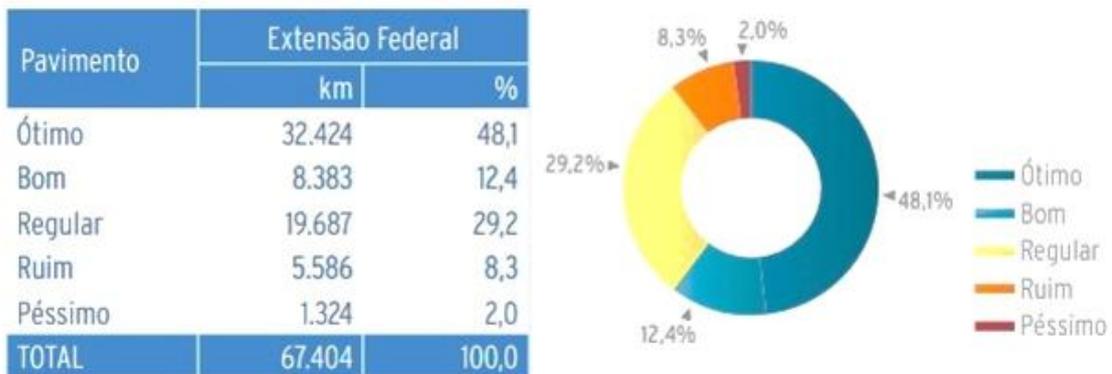
As figuras seguintes apresentam os dados estatísticos elaborados e publicados pela CNT no ano de 2017 contendo as informações mais recentes quando a situação das rodovias no Brasil.

Figura 10 - Situação das rodovias quanto aos tipos de administração.



Fonte: CNT (2017), adaptado.

Figura 11 - Rodovias Federais



Fonte: CNT (2017), adaptado.

Figura 12 - Rodovias Estaduais



Fonte: CNT (2017), adaptado.

Através desses dados é possível observar a necessidade de um grau de investimento constante e duradouro para a manutenção das malhas asfálticas. Sendo indispensável também uma maior ambição no âmbito de estudos e pesquisas tendo como objetivo a obtenção do conhecimento, para assim ser capaz de satisfazer as necessidades de infraestrutura básica.

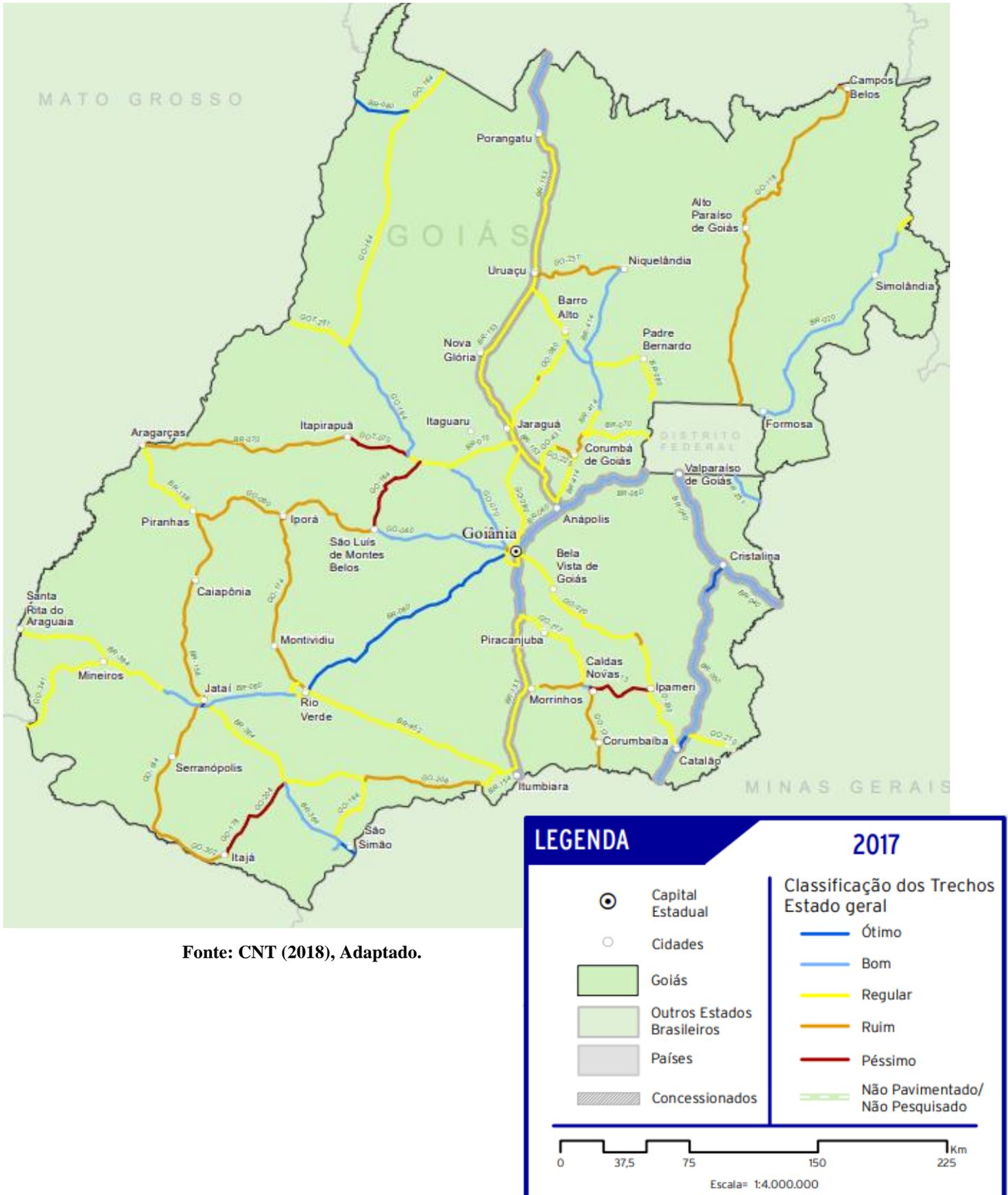
3.2.1 Situação em Goiás

Na região Centro Oeste do território brasileiro encontra-se o estado de Goiás. Segundo os dados do IBGE (2017) possuindo uma área de aproximadamente 340 mil Km² e tendo uma população de cerca de 6778772 habitantes, este possui uma economia onde o destaque principal é a forte presença da agropecuária que contribui com 10,4% no Produto Interno Bruto (PIB) do Estado. A participação de Goiás no PIB nacional é de 2,9%, de acordo com dados de 2014 do IBGE,

A agropecuária goiana tem grande importância no cenário econômico nacional, uma vez que sua produção de carnes e grãos impulsiona a exportação estadual. O Estado de Goiás é um dos maiores produtores de tomate, milho e soja do Brasil. Outros cultivos importantes são: algodão, cana-de-açúcar, café, arroz, feijão, trigo e alho. A pecuária, por sua vez, está em constante expansão. O estado possui, atualmente, o terceiro maior rebanho bovino do país.

A figura 13 mostra a situação mais atual da malha rodoviária no estado de Goiás. Percebe-se de grande parte de sua extensão encontra-se em situação regular ou ruim.

Figura 13 - Malha rodoviária de Goiás



Fonte: CNT (2018), Adaptado.

4 A TÉCNICA DE RECICLAGEM

O desenvolvimento sustentável é um ideal singular, que pode acontecer graças à integração entre o crescimento econômico e ao mesmo tempo a preservação do meio ambiente. Definidos esses objetivos o estudo sobre as técnicas de reciclagem de pavimentos como alternativa para as obras rodoviárias assume um campo de estudo importante.

A busca por uma melhor qualidade de vida levou a humanidade a explorar, de maneira descontrolada, o planeta por décadas. E como consequência enfrenta-se a redução dos recursos naturais ainda existentes, tendo por consequência inevitável a procura por novas alternativas mais sustentáveis.

A escolha brasileira pelo transporte rodoviário tem como resultados diversos impactos no meio ambiente. Além da poluição gerada pelos veículos, existe também o dano causado durante a construção das estradas, pois são feitas muitas alterações na natureza, como por exemplo, a movimentação de grandes volumes de terra, a alteração na forma de escoamento da água, o desmatamento, às vezes até o desvio de rios (COSTA & PINTO, 2011).

De acordo com Santos & Demuelenare (2018) a definição de reciclar é aproveitar o material existente para a criação de um novo com funcionalidades iguais ou diferentes de sua matriz, que é ao contrário do conceito de reutilizar, onde apenas consiste na utilização do produto existente sem sua modificação.

Quando comparada com os métodos de restauração mais tradicionais, a reciclagem é uma opção mais ecológica e até por vezes até mesmo mais econômica. O aproveitamento chega até 70% do CAP envelhecido (ASPHALT INSTITUTE, 1986).

As vantagens da reciclagem “*in situ*” são as seguintes: Torrão (2015) apud Martinho (2005):

- Aproveitam totalmente na íntegra todos os materiais existentes no pavimento;
- Economia no investimento dos equipamentos;
- Evita o transporte dos materiais fresados para outro local;
- Gasta menos dos recursos energéticos;
- Índice menor no ruído e na poluição atmosférica;
- Não precisa de depósitos provisórios;
- Reduz o impacto da degradação dos pavimentos das estradas utilizadas pela obra;

- Tempo de execução menor;

No entanto, apresentam-se algumas desvantagens no uso da reciclagem “in situ”, que de qualquer modo podem ser atenuadas e compensadas: as condições locais de execução e as diferenças das camadas existentes afetam a qualidade do trabalho e o rigor no tratamento ao longo da obra; alguns equipamentos mais complexos estão sujeitos a avarias no local da obra, onde o acesso às oficinas é mais lento.

O material que antes era considerado como escombros, passa a ser um ótimo produto, não havendo prejuízos na qualidade final, e permitindo que o pavimento antigo tenha a sua vida prolongada economizando recursos naturais.

De forma global, as formas mais comuns, é a reciclagem a quente ou a frio, tendo ainda subdivisões menores referentes ao modo de processamento do resíduo, que podem ser feitas em Usinas ou *In Situ*. Segundo Costa & Pinto (2011) a utilização da Reciclagem a Frio *In Situ* teve seu surgimento em 1990, com a aparição das máquinas recicladoras móveis, permitindo que toda a operação seja feita no local.

Os especialistas na área rodoviária indicam que o primeiro passo necessário para se ter um bom resultado é o estudo das características do pavimento por meio de amostragens. Tendo em mãos as informações vindas dos laboratórios, se prossegue para a fresagem do trecho em questão. Segundo Costa & Pinto (2011) o princípio básico da fresagem é bem simples, basta fragmentar, triturar e retirar a camada antiga do pavimento e para isso são empregadas grandes máquinas. Nas figuras a seguir (14 e 15) são mostradas ilustrações de dois modelos diferentes. O primeiro exemplo é uma fresadora do modelo Dynapac capaz de remover o material a uma profundidade de 320 mm sendo responsável somente pela fresagem. Já segundo exemplo é de uma Fresadora-Recicladora modelo RM500.

Figura 14 – Fresadora DYNAPAC



Fonte: www.emopyc.com, 2018, Adaptado.

Figura 15 - Fresadora/Recicladora RM500



Fonte: i1os.com, 2018, adaptado.

O fator econômico é sempre o mais considerado pelas pessoas na hora de escolher como lidar com os problemas das estradas, o que faz com que a reciclagem possa levada mais a sério, uma vez que ela é, quase sempre, mais barata do que um reforço tradicional. Outro ponto relevante a se considerar é sobre quais tipos de situações a técnica de reciclagem pode ser usada para resolver os problemas. A tabela a seguir baseada no manual do DNIT esclarece alguns dos critérios para a escolha da reciclagem:

Tabela 1 - Fatores importantes

Identificação das possíveis origens dos defeitos, tendo como apoio os de estudos laboratoriais e de campo;
Informações de projeto e histórico das intervenções de conservação;
Limitações devido a forma geométrica (horizontal e vertical);
Observação dos defeitos do pavimento;
Os fatores ambientais do local;
Preço estimado da reciclagem;
Relatos do comportamento do alfalto
Tráfego.

Fonte: Próprio autor, 2018.

4.1 FRESAGEM

A fresagem possibilita a reobtenção dos agregados em forma granular, mesmo que envolvidos por ligante envelhecido e em função do desbaste da camada, com sua granulometria alterada. A fresagem para restauração de pavimentos originou equipamentos e processos específicos, que efetua o desbaste da estrutura por meio simples abrasivo e rotação intensa.

Segundo ARRA (1997) a fresagem a frio é definida como um método de remoção de pavimentos automaticamente controlada de acordo com a profundidade desejada, com equipamentos especialmente projetados e desenvolvidos. Também pode ser alcançada uma restauração da superfície para um especificado grau de inclinação, livre de inchaços, trilhas de roda e outras imperfeições.

Concepa et al (2015) apud Bonfim (2011), afirma de maneira resumida que os processos de fresagem podem ser classificados quanto à espessura do corte e à rugosidade resultante na pista. Quanto a espessura de corte há três tipos de fresagem, são elas: fresagem superficial; fresagem rasa e fresagem profunda. E quanto à rugosidade pode ser: micro fresagem, fresagem fina e fresagem padrão.

4.1.1 Fresagem quanto à espessura

A fresagem superficial, também conhecida como fresagem de regularização, é destinada apenas a correção de defeitos existentes na superfície do pavimento. A fresagem rasa atinge normalmente as camadas superiores do pavimento, chegando a alguns casos na camada de ligação. Na maioria dos serviços é aplicada a uma profundidade média de corte em torno de 5 cm. E a fresagem profunda é aquela cujo corte atinge níveis consideráveis, podendo atingir as camadas de ligação, de base e até de sub-base do pavimento.

4.1.2 Fresagem quanto à rugosidade

A microfresagem é resultante de fresagem com cilindro dotado de dentes espaçados lateralmente em aproximadamente 2 a 3 mm. Na fresagem fina é possibilitada a existência de um menor espaçamento entre os dentes do tambor, aproximadamente 8 mm, resultando sulcos menores e menor rugosidade na pista. E por fim a fresagem padrão, tendo distância lateral entre os dentes do corte é de aproximadamente 15 mm. Onde é instruído que a fresagem padrão deve ser seguido da aplicação de uma nova camada de revestimento, devido à rugosidade elevada resultante (CONCEPA et al, 2015).

4.2 EQUIPAMENTOS

O equipamento é fundamental para o sucesso do processo de reciclagem. Para isso são usados dispositivos mecânicos com manutenção simples e rápida execução dos serviços. O desempenho das máquinas, segundo avaliação da Secretaria Municipal de Obras Públicas de Curitiba, é de uma hora de trabalho para cada 100 m de terreno com capacidade de até 50 km/ano.

Para as operações de fresagem e reciclagem, as máquinas são utilizadas de forma independente (na fresagem, dosagem, distribuição do ligante, mistura, e espalhamento da mistura), ou de forma a fazerem duas ou mais operações ao mesmo tempo.

As recicladoras são projetadas especificamente para reciclar camadas espessas de pavimento em uma única passada, tendem a ser máquinas potentes de grande porte, montadas sobre esteiras ou sobre pneus de alta flutuação (WIRTGEN, 2012).

De acordo com Azevedo (2009) antes do começo da reciclagem, é preciso que a superfície esteja limpa, sem materiais estranhos em toda a extensão do pavimento. O processo de reciclagem em si tem o seu início com a passagem da fresadora/recicladora. A área flexível

do pavimento e parte de sua base é totalmente retirada e triturada. As lâminas penetram profundamente no asfalto, retirando toda a camada danificada e possíveis rachaduras reflexivas ou outras más-formações.

A máquina recicladora procede de forma contínua com a adição de água e do ligante através de injetores existentes no rotor da máquina, misturando o material, e finalmente espalhamento. Se no projeto foi estabelecido que fosse necessário material corretivo, nomeadamente agregados, estes devem ser colocados sobre o pavimento antes da passagem da máquina recicladora, para que quando está passe se proceda às correções estabelecidas.

Para garantir a homogeneidade da camada reciclada, a máquina recicladora avança numa velocidade lenta e uniforme, evitando parar. E quando não tiver como continuar, deve-se interromper o fornecimento de ligante e água para evitar dosagens elevadas ou encharcamentos (AZEVEDO, 2009).

Depois de colocada a mistura, é preciso prosseguir com a compactação da camada reciclada e de acordo com Cunha (2010) apud Nunes et al. (2005), primeiro com um rolo compressor do tipo cilíndrico (figura 16) e em seguida com um cilindro de pneus (figura 17) logo após a passagem da recicladora.

Figura 16 - Rolo compactador



Fonte: www.satel.com.br, 2018.

Figura 17 - Rolo compactador de pneus



Fonte: www.sorolos.com.br, 2018.

Uma boa compactação é essencial para chegar à resistência necessária, ela deve acontecer de forma contínua e sistemática, até se atingir o grau de compactação pretendido. Usando a Motoniveladora, continua com o nivelamento das camadas uma vez que o volume de materiais tratados, após a reciclagem é superior ao inicial, tanto pela quantidade de água e ligante adicionados, bem como pela junção que resulta do processo de desagregação (CUNHA, 2010).

Os processos de reciclagem a frio podem ser utilizados os seguintes ligantes: cal, cimento, emulsão betuminosa e betume espuma. Porém estes processos são bastante sensíveis às condições meteorológicas, pelo que a sua escolha deve ponderar a temperatura e o local de execução.

4.3 RECICLAGEM DE PAVIMENTOS A FRIO IN SITU

Reciclagem a frio é o procedimento aplicado para recuperar e reutilizar o material de um pavimento existente, sem a utilização do calor como artifício para realização do trabalho. Ela é superior na relação custo/eficiência, principalmente no cenário nacional, onde se enquadra como uma maneira racional para resolver problemas de pavimentação de diversas naturezas com eficiência e gastos minimizados de energia. A reciclagem in situ a frio apresenta também menores níveis de emissão de gases tóxicos para a atmosfera quando comparada com uma solução tradicional de reabilitação de um pavimento.

A PCA (2013) aponta que os custos deste tipo de reciclagem são normalmente de 25 a 50% menores do que a alternativa convencional de restauração que contemplam serviços de fresagem e recomposição do revestimento existente e posterior aplicação de camadas de reforço em concreto asfáltico.

A tabela a seguir foi baseado na figura de Rogge et al. (1993 apud David 2006) e traz recomendações a respeito da utilização deste processo de reciclagem.

Tabela 2 - Critérios de seleção para reciclagem a fio *in situ*

Não se recomenda quando houver:	Recomenda-se quando houver:
Defeitos no subleito	Incompatibilidade ao volume de tráfego
Baixa aderência / excesso de ligante	Irregularidade superficial / trincamentos
Espessuras de revestimento inferiores a 4 cm	Necessidade de camada de binder ou base no caso de recapeamento
Condições de alta umidade	Necessidade de reabilitação seletiva por faixa de rolamento
Incompatibilidade ao volume de tráfego	Falta de agregados virgens na região

Fonte: (CONCEPA et al, 2015) apud (DAVID, 2006) Adaptado.

4.4 RECICLAGEM COM CIMENTO

A reciclagem com cimento é uma técnica há muito tempo utilizada por se tratar da mais econômica e especialmente indicada para pavimentos com grande espessura de camadas granulares e pequena espessura de camadas betuminosas, situação muito comum em pavimentos antigos.

Segundo a NORMA DNIT 167/2013-ES a reciclagem de pavimento com adição de cimento Portland é um processo de reconstrução parcial da estrutura do pavimento com emprego de equipamentos próprios para esta finalidade. Usando materiais existentes na estrutura do pavimento, cimento Portland, agregados adicionais (quando necessário) e água, em proporções previamente definidas no projeto de dosagem, e emulsão asfáltica para pintura de proteção. Os valores da dosagem de cimento utilizados normalmente de 4% a 6% e devem obedecer aos requisitos das Normas DNER 036/95, ABNT NBR 5732/91 e NBR 11579/91. De uma maneira geral, a taxa de aplicação do ligante asfáltico residual é de 0,4 a 0,6 litros/m².

Segundo Torrão (2015) o “comboio” deste processo pode ter a seguinte configuração, em função do tipo sistema de aplicação cimento, a seco ou em forma líquida, respectivamente:

- Espalhador de cimento, Caminhão Pipa, Recicladora, Compactadores do tipo rolo cilíndrico / pneus, Motoniveladora, Vassoura mecânica e compressora de ar comprimido. (Figura 18)

- Distribuidor líquido, Recicladora, Compactadores do tipo rolo cilíndrico / pneus, Motoniveladora, Vassoura mecânica e compressor de ar comprimido. (Figura 19)

Figura 18 - Comboio com cimento seco



Fonte: www.asfaltodequalidade.blogspot.com.br, 2017/, adaptado.

Figura 19 - Comboio com cimento líquido



Fonte: Cunha (2010) apud Costa-Baptista (2006), adaptado.

O processo construtivo inclui a operação simultânea da desagregação do pavimento e incorporação de materiais novos (espalhados previamente sobre a pista), mistura e homogeneização “in situ”, compactação e acabamento, resultando numa camada nova de pavimento (167/2013-ES DNIT, 2006).

A camada resultante da reciclagem com cimento não é apta a receber as ações do tráfego, pelo que será sempre necessária a construção de uma camada betuminosa de desgaste sobre a camada reciclada. A superfície da base é compactada até que se apresente lisa e isenta de partes soltas ou sulcadas.

Segundo a ET-DE-P00/035 logo após o termino da compactação, a superfície reciclada com cimento deve ser protegida contra a evaporação da água por meio de uma pintura com emulsão asfáltica tipo RR-2C. A película protetora deve ser aplicada em quantidade suficiente para construir uma membrana contínua. após o término da compactação. E não deverá circular qualquer tipo de trânsito sobre a camada durante um período de 7 dias.

4.5 RECICLAGEM COM EMULSÃO BETUMINOSA

A reciclagem de pavimento in situ a frio com adição de emulsão asfáltica de reciclagem é o processo de restauração de pavimento com reaproveitamento total ou parcial do revestimento existente, eventualmente incorporação parcial da base granular, adição de emulsão asfáltica, água, e quando necessário, de agregados e filler. A mistura final pode ser utilizada como camada de ligação, binder, ou como revestimento (DNIT E.-D.-P. , 2006).

Esse tipo de reciclagem tem como objetivo principal recuperar as camadas de desgaste envelhecidas em pavimentos com uma resistência estrutural adequada às condições de tráfego. O tipo de emulsão asfáltica de reciclagem a ser utilizada deve ser definida no projeto da mistura. Devem ser utilizadas emulsões tipo ARE-1; ARE-5; ARE-25, ARE-75, ARE-250 ou ARE-500.

Segundo a Concepa (2015) as emulsões asfálticas, são materiais constituídos de uma mistura de asfalto e água estabilizada por agentes emulsificantes. Essa estabilidade garante às emulsões a propriedade de se manterem em estado líquido em temperatura ambiente, o que lhes confere trabalhabilidade sem a necessidade de aquecimento. Devido a esta característica, as emulsões são o material ideal para o processo a frio de reciclagem.

Porém, quando são aplicadas na mistura asfáltica, ocorre a perda de estabilidade de mistura entre água e asfalto e conseqüente separação das fases constituintes, por simples evaporação da água ou por atração eletrostática que o agregado exerce sobre o asfalto. A esse fenômeno damos o nome de “ruptura”.

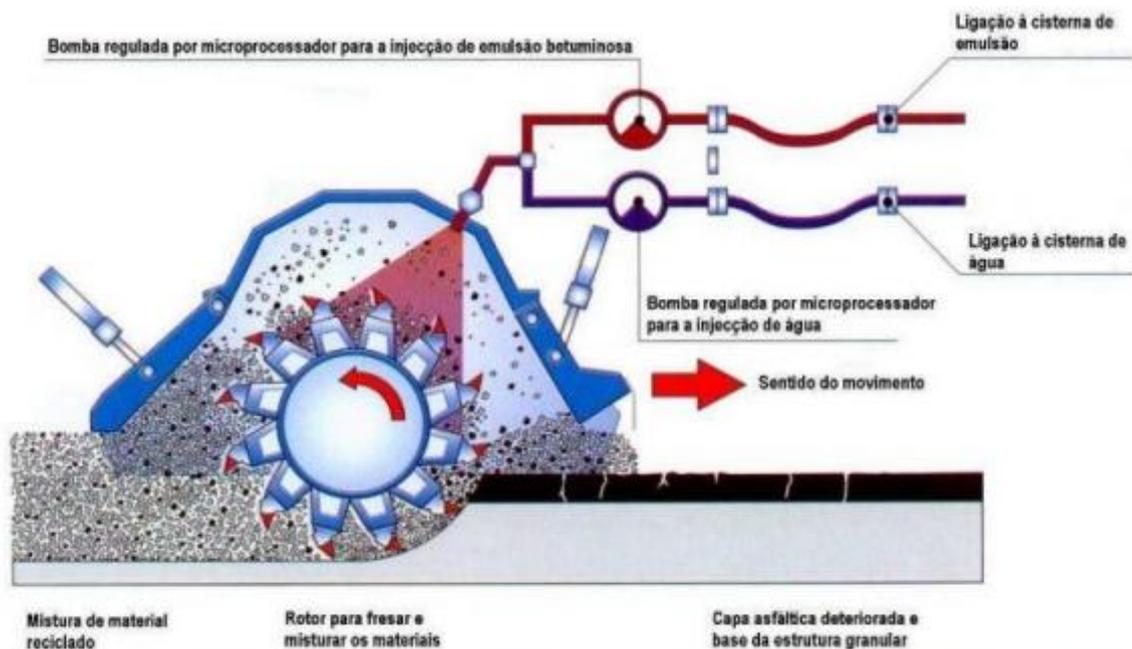
De acordo com ARRA (1997) as emulsões assumem um papel crucial no processo de reciclagem a frio, pois ajudam a aumentar a coesão e a capacidade de carga da mistura asfáltica reciclada. Ela também ajuda no rejuvenescimento e amolecimento do ligante asfáltico envelhecido presente no pavimento a ser reciclado. A vantagem em utilizar a emulsão é que, devido a sua baixa viscosidade, é perfeitamente adequada para aplicação através do sistema de adição presente nos equipamentos de reciclagem. Devido à ruptura, a

água será forçada a sair da mistura asfáltica durante a compactação ou durante o período de cura. O cimento asfáltico resultante terá alta viscosidade e, portanto, irá melhorar o desempenho do material de base.

Esta técnica, quando comparada com a reciclagem com cimento, apresenta a desvantagem de ter uma cura demorada, tem um maior custo do ligante e a limitação na espessura de reciclagem do pavimento. No entanto, apresenta maior flexibilidade e não exige a execução de uma nova camada betuminosa de reforço apesar de ser recomendada.

Segundo o DNIT antes do início dos serviços é obrigatória, a execução de trecho experimental, que deve possuir no mínimo 150 m e cobrir a largura da faixa ou a metade da largura da pista a reciclar. A figura 20 mostra como acontece dentro da recicladora, dando os detalhes de como funciona.

Figura 20 - Emulsão Betuminosa



Fonte: (TORRÃO, 2015) apud (BATISTA, 2009), adaptado.

A figura 21 cita o tipo de comboio usado para realizar a reciclagem a frio com Emulsão Betuminosa, assim como uma breve explicação da função de cada integrante.

Figura 21 - Comboio Emulsão



Fonte: (TORRÃO, 2015) apud (BATISTA, 2009), adaptado.

4.6 RECICLAGEM COM ESPUMA DE BETUME

A reciclagem a frio in situ com espuma de asfalto, gera uma mistura final utilizando-se dos agregados removidos do pavimento existente, agregados adicionais, cimento asfáltico de petróleo, cimento Portland e água, em proporções previamente determinadas por processo próprio de dosagem em laboratório, misturada, espalhada e compactada, de forma a compor a camada de base do pavimento (DNIT, 2013).

Segundo Castro (2013) define de forma simples, a espuma de asfalto como sendo o resultado da mistura do asfalto aquecido a uma temperatura de aproximadamente 1800° C e água à temperatura ambiente. Tal mistura proporciona ao asfalto uma expansão de seu volume original.

Onde a espuma é a mistura de cimento asfáltico de petróleo e água, realizada em condições específicas de temperatura e pressão, obtida em uma câmara de expansão. A espuma de asfalto é uma técnica que permite expandir o CAP e misturá-lo a diversos tipos de agregados para produzir uma estrutura de pavimento com melhor capacidade de suporte que a existente de maneira mais econômica. A espuma de asfalto pode ser usada como um agente estabilizador para uma variedade de materiais que vão desde a pedra britada de boa qualidade até solos com plasticidade relativamente alta e também para reciclar materiais asfálticos provenientes de fresagem.

A espuma de asfalto é um ligante que oferece múltiplas possibilidades de uso e que pode ser utilizada para misturas com agregados minerais dos mais diferentes tipos e procedências. Assim, por exemplo, é possível utilizar material proveniente de fresagem ou brita nova, com espuma de asfalto, na construção de rodovias novas ou para a reabilitação daquelas cujo pavimento necessita de reabilitação.

Conforme Torrão (2015) apud Mereghi (2003) as principais vantagens da reciclagem com espuma são:

- A facilidade com que ela pode ser aplicada;
- A baixa permeabilidade do pavimento final;
- A obtenção de uma camada flexível com elevada resistência à fadiga;
- Permite reciclar todas as camadas do pavimento, seja betuminosa ou granular;
- Permite reciclar camadas tipicamente granulares e torná-las em camada de sub-base.

Na execução dos serviços de reciclagem com espuma de asfalto geralmente se utiliza os seguintes equipamentos apenas com pequenos ajustes dependendo do projeto:

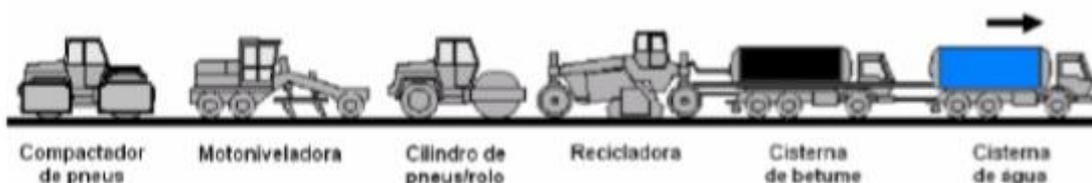
- Máquina fresadora recicladora;
- Caminhão pipa para umedecer o material reciclado de modo a facilitar a compactação da mistura e para alimentar a recicladora;
- Carreta de asfalto;
- Motoniveladora utilizada para horizontalizar a plataforma da pista;
- Um rolo liso para compactar o material reciclado;
- Rolo pneumático para compactar o material reciclado;

Castro (2003) apud Morilha et al. (2000) realçam que é importante padronizar os equipamentos que são utilizados no processo da reciclagem para evitar perdas desnecessárias e aumentar a produtividade. Toda vez que ocorrer uma pausa para troca de caminhões deve-se fazer duas verificações básicas, porem indispensáveis: uma verificação quanto a qualidade da espuma e outra verificação relativa à temperatura do asfalto.

Depois o espalhamento do material, entra em ação o trem de reciclagem (Figura 22) assim parte do pavimento (revestimento ou revestimento e base) somado com os materiais adicionais é misturada com a introdução simultânea da espuma de asfalto, gerando o material reciclado (MORILHA et al., 2000).

Durante a operação de reciclagem além da introdução da espuma, ocorre a adição de água. Depois da passagem da recicladora tem início a compactação e a pista é liberada para o tráfego. Ressalta-se que para grandes espessuras, principalmente quando a camada de base entra em maior proporção a experiência diz que o melhor é iniciar com passagens de rolo pé de carneiro. Antes da aplicação da camada de revestimento, a pista reciclada recebe uma imprimação com asfalto diluído (CM-30).

Figura 22 - Fases com espuma



Fonte: Cunha (2010) apud Costa-Baptista (2006) Adaptado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem a frio é o método universalmente preferido para a recuperação estrutural de pavimentos asfálticos. Esta técnica tem muitas aplicações possíveis, mas deve-se ficar atento na hora da escolha pois diversos fatores estão envolvidos. Existem três fatores que interferem diretamente nessa escolha, os quais são citados a seguir.

O primeiro fator a ser considerado é o estado do pavimento, levando-se em consideração o tipo de degradação que persiste e o seu grau de agressividade.

O segundo fator é a qualidade do material que existe nesse pavimento.

E o terceiro fator é o resultado esperado. Qual é o objetivo final da reciclagem, por vezes também sendo interpretado como a expectativa da sua nova vida útil.

Tabela 3 - Resultados da análise

Vantagens	Justificativas
Ambientais	Permite a reutilização do material que existia no antigo pavimento, assim não precisando da extração de fontes naturais. Ajuda também na redução da emissão de gases poluentes e contribui com a economia energética.
Vida útil	Melhora a qualidade do asfalto, permitindo um acréscimo da vida útil do pavimento.
Rolamento	O pavimento adquire uma homogeneidade, reduzindo os trechos com diferenças estruturais ou de rolamento.
Tempo de execução	Quando comparada com as técnicas de restauração convencionais, percebe-se que tempo gasto na reciclagem é relativamente curto, na maioria das vezes, permitindo uma intervenção pontual e evitando os congestionamentos.
Segurança e conforto	Fica mais seguro. Sem trechos com algum risco a integridade dos veículos e usuários.
Custo/eficiência	Uma das características mais observadas, é que a reciclagem a frio in situ, quando comparada com os outros métodos de restauração tem uma maior relação custo/eficiência. Tendo um custo razoável e sendo muito eficaz

Fonte: Próprio autor, 2018.

No entanto existem situações onde a reciclagem a frio in situ não é indicada. Por exemplo, quando o pavimento antigo apresenta problemas na fundação, em casos de pavimentos com propriedades muito variantes entre si, sendo necessário um estudo mais a fundo do caso e por isso não seria muito prático. As condições climáticas devem ser observadas também, não se pode realizar a reciclagem em épocas chuvosas ou com a umidade muito elevada, pela possibilidade de uma interferência nos materiais.

No caso dos pavimentos reciclados a frio in situ com cimento, as novas camadas tendem a ter uma maior rigidez e uma vida útil maior, tendo propriedades semelhantes a um pavimento semirrígido. No entanto também há uma diminuição da capacidade de resistência a fadiga, o que pode ser suprimido com a aplicação da camada de betume na superfície.

A reciclagem a frio in situ com emulsão de asfalto, é de fácil aplicação, sendo muito utilizada no mundo afora, e resulta em uma nova camada com boa capacidade de resistência ao fendilhamento sendo uma excelente base para o suporte das camadas de betume.

Apresenta um maior custo, devido a necessidade da obtenção da emulsão asfáltica. Na sua execução deve ter uma atenção especial quanto as condições do clima, sendo indicadas para regiões com o clima seco e com a umidade relativa do ar aceitáveis. A maior desvantagem desse processo é que o tempo de cura estimado é extenso, cerca de 3 semanas geralmente, o que dificulta na liberação do trânsito.

Agora a reciclagem de pavimentos a frio in situ com espumas, é sugerida para trechos de fluxo pesado de veículos, ou para situações de climas extremos. Como resultado o novo pavimento se apresenta com uma boa estrutura, sendo flexível, resistente a fadiga e a deformações.

A maior desvantagem é a necessidade, durante o processo, de equipamentos específicos, como a câmara de expansão, por exemplo, responsável pela obtenção da espuma. E contar também com profissionais bem treinados e capacitados, pois devido as altas temperaturas no processo de obtenção da espuma, cerca de 180° C, existe a possibilidade de acidentes trabalhistas.

Para os trabalhos futuros a indicação de possíveis temas é: estudos mais específicos para a escolha e aplicação de técnicas de reciclagem de pavimentos a frio in situ. Estudos sobre o comportamento do pavimento recém reciclado avaliando as suas propriedades.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

167/2013-ES DNIT. *Pavimentação – Reciclagem profunda de pavimentos “in situ” com adição de cimento Portland – Especificação de Serviço*. 2006.

ANDRADE, Mario Henrique Furtado. *Introdução a Pavimentação*. Departamento de Transportes, Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. 2010.

ARRA. *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments Participant's Reference Book*. ASPHALT RECYCLING AND RECLAIMING ASSOCIATION - ARRA. Washington, D.C.1997.

ASPHALT INSTITUTE. *The Asphalt Handbook. Manual series nº 4*. Lexington, Usa.1989.

AZEVEDO, M. *Construção e Reabilitação de Pavimentos – Reciclagem de Pavimentos*. Documento Base, Instituto de Infraestruturas Rodoviárias. Lisboa, Portugal. 2009.

BALBO, José Tadeu. *Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração*. Oficina de Textos. São Paulo. 2007.

BERNUCCI et al., L. B. *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*. Rio de Janeiro. 2008.

BONFIM, V. *Fresagem de Pavimentos Asfálticos*. Exceção Editorial. 3 Ed. 2011.

CASTRO, Luciana Nogueira de. *Reciclagem a frio “in situ” com espuma de asfalto*. Rio de Janeiro. 2003.

CNT, *Pesquisa de Rodovias*. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. 2017.

CONCEPA et al. *Reciclagem de pavimentos flexíveis: Estudo da estabilização química e granulométrica de material fresado para o uso como camada de pavimento*. Relatório Técnico ANTT. Porto Alegre, RS, Brasil. 2015.

COSTA, Clauber; FILHO, Wandemyr. *O uso de Reciclagem de Pavimentos, como alternativa para o desenvolvimento sustentável em obras rodoviárias no Brasil*. Belém. 2010.

COSTA, Clauber; PINTO, Salomão. *O uso de reciclagem de pavimentos como alternativa para o desenvolvimento sustentável em obras rodoviárias no Brasil*. Brasil Engenharia. 2011.

CUNHA, Célia Melo. 2010. *Reciclagem de Pavimentos Rodoviários Flexíveis: Diferentes Tipos de Reciclagem*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na área de especialização Via de comunicação e Transportes 110 páginas. Lisboa, Portugal: ISEL. Acesso em Fevereiro de 2018.

DNIT, ET-DE-P00/034. **RECICLAGEM DE PAVIMENTO ASFÁLTICO IN SITU COM EMULSÃO. DIRETORIA DE ENGENHARIA**. 2006.

DNIT. *Manual da Pavimentação*, 03 edição, Disponível em: https://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf. 2006.

DNIT. *Pavimentação: Reciclagem de pavimento a frio "in situ" com adição de espuma de asfalto - Especificação de Serviço*. NORMA DNIT 166/2013-ES.

FALEIROS, Luiz Márcio. *Notas de Aula. Estradas: Pavimentos*. Franca. São Paulo. USP. 39 páginas. 2005.

FREITAS, Elisabete F.; PEREIRA, Paulo A. A. *Estudo da evolução do desempenho dos pavimentos rodoviários flexíveis*. Universidade do Minho. Departamento de Engenharia Civil (DEC). 2011.

GONÇALVES, Prof. Fernando Pugliero. *O Diagnóstico e a Manutenção dos Pavimentos*. (Notas de aula) Universidade de Passo Fundo. 1999.

GUARÇONI, DILMA DOS S. *Petróleo - Refino e Fracionamento Químico do Asfalto*. Rio de Janeiro. 1994.

LIMA, Josiane Palma. *Modelo de decisão para a priorização de vias candidatas às atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação. Área de Concentração em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2007.

LIRA, Belarmino B. *Origem e Características do Asfalto*. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia. 2013.

MACHADO, Denise Maria Camargo. *Avaliação de normas de identificação de defeitos para fins de gerência de pavimentos flexíveis*. Dissertação como parte dos requisitos da obtenção do título de Mestre de Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2013.

MARTINHO et al. *Reciclagem de pavimentos rodoviários: selecção do processo construtivo*. Repositório da Universidade do Minho. 2004.

MEREGHI, João Virgílio; FORTES, Rita Moura. *Manual de Projetos de Estradas. Construção de Pavimentos - Lattersolo*. 2015.

MORILHA et al. *Reciclagem de Pavimento "in situ" com Adição de Espuma de Asfalto - Uma Experiência Pioneira no Paraná*. In: Encontro de Asfalto, 15º IBP. Rio de Janeiro. 2000.

MOURA, Edson de. *professoredmoura Fatec-SP*. Disponível em: <http://www.professoredmoura.com.br/?modulo=download&cat=1&subcat=1>. 2017.

PCA. *Portland Cement Association*. 2013. Disponível em: <http://www.cement.org/pavements/pv_sc_fdr.asp>.

PINTO, J. I. B. R. *Caracterização Superficial de Pavimentos Rodoviários*. Dissertação. Mestrado em vias de Comunicação. Universidade do Porto. 2003.

SOLANKI, Musharraf Zamanb Pranshoo *Design of semi-rigid type of flexible pavements*. Science Direct, International Journal of Pavement Research and Technology. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1996681416301110>. 2017.

TORRÃO, Helder Capela. *Reabilitação de Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Relatório Final de projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia e Gestão para obtenção do grau de Mestre em Engenharia da Construção. Portugal. 2015.

VEGGI, Edgar dos Santos; MAGALHÃES, Sérgio Luiz Moraes. *Análise comparativa de custos entre concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) e tratamento superficial duplo (TSD)*. Engineering and Science. 21 páginas. 2014.

WIRTGEN. *Tecnologia de Reciclagem a Frio*. 1 Ed. 2012.