



CENTRO UNIVERSITÁRIO FACVEST

ANA BEATRIZ MARTINS

PATOLOGIAS E TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS DE
PAVIMENTAÇÃO

LAGES
2021

ANA BEATRIZ MARTINS

PATOLOGIAS E TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS DE
PAVIMENTAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, área de Estradas, do Centro Universitário Facvest, como requisito parcial para a Obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Aldori Batista dos Anjos
Coorientador: Aldori Batista dos Anjos

LAGES
2021

ANA BEATRIZ MARTINS

PATOLOGIAS E TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS DE
PAVIMENTAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, área de Estradas, do Centro Universitário Facvest, como requisito parcial para a Obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Lages, 31 de julho de 2021.

Prof. Dr. Aldori Batista dos Anjos
Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Aldori Batista dos Anjos
Orientador
Centro Universitário Facvest

Prof. Pierre Wachsmann dos Anjos
Avaliador
Centro Universitário Facvest

Prof. Samuel Garcia Schmuller
Avaliador
Centro Universitário Facvest

Dedico este trabalho, com muito amor e gratidão a minha mãe e ao meu pai (in memoriam) por nunca medirem esforços para me proporcionar um ensino de qualidade, e ainda a mim por nunca abrir mão dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a mim, pelos meus esforços e perseverança, por nunca desistir em meio aos momentos difíceis.

A Deus pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

À minha família, em especial minha irmã por sempre acreditar em mim, me dar suporte e apoio durante todos esses anos de trajetória.

Aos meus pais, por me ensinarem os valores, como honestidade, honra e educação. E ainda compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava a concluir este curso em outra cidade.

Agradeço ao meu namorado, uma pessoa que não sei descrever com palavras, carinhoso, sempre ao meu lado, me apoiou e compreendeu muitas vezes a minha ausência durante a realização deste trabalho.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

Aos meus colegas de turma, por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

Às pessoas na qual convivi no decorrer desses anos de curso, que me incentivaram e que certamente tiveram um grande impacto na minha formação acadêmica.

Ao meu coordenador, professor e orientador Aldori Batista dos Anjos por me ajudar a desenvolver este trabalho, e por ter sido a pessoa a estar sempre disponível para me ouvir e aconselhar, dentro desta minha jornada na graduação de engenharia civil.

Meu mais sincero obrigado!

"Engenharia Civil não é sobre construir coisas, massim, executar sonhos." (Leonardo Alves).

RESUMO

O presente trabalho pretende contribuir para uma melhor compreensão das patologias em pavimentação asfáltica flexível e rígido. O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas, destinada a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais transmitidos pelo eixo dos veículos. Desde a década de 50, este modal rodoviário vem crescendo aceleradamente, devido à criação de normas técnicas que recomendam qualidade nas vias, tem melhorado bastante a mobilidade veicular social. Porém devido ao descaso, a falta de manutenção e sem uma política ou um planejamento eficiente dos órgãos competentes, é bastante comum encontrar estradas ou rodovias deterioradas seguidas de inúmeras patologias, por causa dessas patologias essas vias não garantem qualquer tipo de conforto, segurança ou uma superfície de rolamento durável. Consequentemente se encontrará maneiras plausíveis de recuperação e manutenção destes pavimentos. E ainda será estudado o funcionamento de técnicas sustentáveis de pavimentação na engenharia civil, que consiste na utilização de asfalto de borracha e na aplicação do whitetopping em pavimentos flexíveis.

Palavras-chaves: Patologias; Pavimento Flexível; Pavimento Rígido; Whitetopping; Asfalto-Borracha.

ABSTRACT

The present work intends to contribute to a better understanding of the pathologies in flexible and rigid asphalt paving. The pavement is a multi-layer structure, designed to resist and distribute to the subgrade the vertical efforts transmitted by the vehicle axle. Since the 50s, this road modal has been growing rapidly, due to the creation of technical standards that recommend quality on the roads, it has greatly improved social vehicle mobility. However, due to neglect, lack of maintenance and without a policy or efficient planning by the competent bodies, it is quite common to find deteriorated roads or highways followed by numerous pathologies. Durable bearing surface. Consequently, plausible ways to recover and maintain these pavements will be found. The operation of sustainable paving techniques in civil engineering will also be studied, which consists of the use of rubber asphalt and the application of whitetopping on flexible pavements.

Keywords: Pathologies; Flexible pavements; Rigid pavements; Whitetopping; Asphalt-Rubber.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1— Método dos Romanos utilizado na via Appia.....	23
Figura 2— Mapa das principais ligações estradais (sem escala).....	24
Figura 3— Pavimento defendido por Trésaguet (séc. XVIII).....	26
Figura 4— Técnica MacAdam em execução.....	27
Figura 5— Vista da Calçada do Lorena.....	27
Figura 6— Vista da Estrada Caminhos do Mar.....	29
Figura 7— Esquema da seção transversal do pavimento.....	37
Figura 8— Seção típica do pavimento Flexível.....	40
Figura 9— Seção transversal do pavimento rígido	42
Figura 10— Comparação de cargas distribuídas ao longo dos pavimentos.....	47
Figura 11— Conrrugações.....	49
Figura 12— Buraco ao longo da via.....	49
Figura 13— Remendos na via.....	50
Figura 14— Escorregamentos na via.....	51
Figura 15— Afundamentos do asfalto.....	51
Figura 16— Esquema (a) e fotografias de trinca transversal (b).....	53
Figura 17— Trincas longitudinais num determinado trecho.....	53
Figura 18— Trinca couro de jacaré.....	54
Figura 19— Trinca em malha tipo bloco no pavimento.....	55
Figura 20— Desgaste no pavimento.....	55
Figura 21— Alçamento.....	56
Figura 22— Fissura de canto.....	57
Figura 23— Placa dividida ao longo do pavimento de concreto.....	57
Figura 24— Fissuras de retração plástica.....	59
Figura 25— Assentamento.....	60
Figura 26— Buracos em pavimento rígido.....	60
Figura 27— Faixa de rolamento em processo de recapamento.....	64
Figura 28— Trabalhadores realizando limpeza ao longo das vias.....	68
Figura 29— Obra no Mato Grosso passando por processo de recuperação.....	72
Figura 30— Diretrizes para o preparo prévio do pavimento asfáltico.....	74
Figura 31— Ciclo de vida dos pneus.....	78
Figura 32— Asfalto modificado por Borracha (AMB) em execução.....	78

	10
Figura 33— Comparação entre asfalto-borracha e asfalto convencional.....	80
Figura 34— Produção de asfalto-borracha.....	81
Figura 35— Destino final dos pneus inservíveis.....	83
Figura 36— Processo de mistura estocável do asfalto borracha.....	84
Figura 37— Comparação do asfalto-borracha e pavimento drenante.....	85
Figura 38— Descarte incorreto de pneus inservíveis.....	86
Figura 39— Custo de manutenção do asfalto convencional e asfalto-borracha.....	87

GRÁFICOS

Gráfico 1- Avaliação de condições das vias no Brasil- CNT, 2019.....	31
--	----

TABELAS

Tabela 1- Categorias de condição da superfície do pavimento da Pesquisa CNT de Rodovias.....	34
Tabela 2- Vantagens e desvantagens de cada pavimento.....	45
Tabela 3- Exemplos de Whitetopping nos Estados Unidos.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C	Antes de Cristo
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACPA	American Concrete Pavement Association
AMB	Asfalto Modificado por Borracha
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
AC	Afundamento por Consolidação
AP	Afundamento Plástico
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado a Quente
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado à Quente
CBR	Índice de Suporte Califórnia
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CM	Centímetro(s)
CNT	Conselho Nacional de Transporte
D. PEDRO	DOM PEDRO
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FRN	Fundo Rodoviário Nacional
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGG	Índice de Gravidade Global
KM	Quilômetro(s)
KG/M ²	Quilogramas por Metros ao Quadrado
M	Metro(s)
M ²	Metro (s) ao Quadrado
MG	Minas Gerais
MM	Milímetro (s)
N°	Número (s)
NBR	Norma Brasileira
RJ	Rio de Janeiro
P.	Página
PCS	Pavimento de Concreto Simples
PR	Paraná
SC	Santa Catarina
SMA	Stone Matrix Asphalt
SNV	Sistema Nacional de Viação
SP	São Paulo
SÉC	Século
UTW	Whitetopping Ultrafino

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	9
LISTA ABREVIações E SIGLAS.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. JUSTIFICATIVA.....	18
3. OBJETIVOS.....	20
3.1 OBJETIVOS GERAIS.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
5. HISTÓRICO E CONCEITUAÇÃO.....	22
5.1 HISTÓRICO.....	22
5.1.1 ESTRADAS ROMANAS.....	23
5.1.2 ESTRADAS PAVIMENTADAS NO BRASIL.....	27
5.2 CONCEITUAÇÃO.....	32
5.1.1 CAMADAS.....	34
5.1.1.1 REVESTIMENTO.....	35
5.1.1.2 BASE.....	35
5.1.1.3 SUB-BASE.....	36
5.1.1.4 REFORÇO DO SUBLEITO.....	36
5.1.1.5 SUBLEITO.....	37
5.1.2 CLASSIFICAÇÃO.....	38
5.1.2.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	38
5.1.2.2 PAVIMENTORÍGIDO.....	40
6. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAVIMENTO FLEXÍVEL E RÍGIDO.....	45
7. PATOLOGIAS E CAUSAS.....	48
7.1 PATOLOGIAS.....	48
7.1.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	48
7.1.2 PAVIMENTO RÍGIDO.....	56
7.2 CAUSAS.....	61

8. FORMAS DE MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO DA VIA.....	63
8.1 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.....	66
8.2 PAVIMENTOS RIGÍDOS.....	67
9.TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS DE PAVIMENTAÇÃO.....	70
8.1 WHITETOPPING.....	70
9.1.1 HISTÓRICO.....	70
9.1.2 CONCEITUAÇÃO.....	73
9.1.3 PRINCIPAIS ETAPAS DE EXECUÇÃO.....	74
9.1.4 VANTAGENS.....	75
9.2 ASFALTOS BORRACHA.....	76
9.2.1 HISTÓRICO.....	79
9.2.2 CONCEITO.....	81
9.2.3 PROCESSO DE EXECUÇÃO.....	83
9.2.4 VANTAGENS.....	85
10 CONCLUSÃO.....	88
11 REFERÊNCIAS.....	89

1. INTRODUÇÃO

A construção civil se caracteriza pela modificação da paisagem, consumo de recursos naturais renováveis e não renováveis, levando à geração de resíduos sólidos e emissões de gases a atmosfera com impactos sobre o meio ambiente, à qualidade de vida da população e à infraestrutura existente. Os materiais utilizados na pavimentação asfáltica vêm sofrendo modificações ao longo dos tempos visando uma melhor adequação as atuais necessidades, tais como: maior durabilidade, resistência, qualidade e redução de custos (DI GIULIO, 2007).

A finalidade de uma rodovia é prover um meio seguro, confortável e econômico para o transporte de pessoas e mercadorias, sendo que a construção de uma estrada abre novos horizontes para o desenvolvimento de uma região e permite a consolidação da economia regional (CNT, 2007).

Num país rodoviarista como o Brasil, que transporta 62% de sua carga e 96% de seus passageiros por estradas, a melhoria do sistema viário é urgente não apenas para quem exerce a atividade do transporte, mas para todos os setores da economia e da sociedade em geral, que dela dependem para alcançar níveis satisfatórios de desenvolvimento. É o Brasil quem perde com a desatenção das autoridades e com a falta de técnicos especializados na área (CNT, 2007).

O objetivo de se asfaltar uma via é proporcionar segurança e conforto a quem nela trafega, pois, o solo natural não consegue sustentar as pressões de cargas sem deformar o solo e danificar os automóveis. Para isso torna-se fundamental a execução de um pavimento de qualidade sobre o solo, transferindo as tensões para resistir as deformações por um certo período (ROSSI, 2017).

O pavimento é a estrutura responsável por receber diretamente a carga vertical dos veículos que transitam e transmitir para a fundação (subleito). Subleito é o terreno natural, onde o solo deve estar preparado e bem compactado para suportar a estrutura ou sistema de pavimentação. A fundação pode, ainda, ser reforçada com uma camada corretiva adicional (reforço do subleito). Além da camada de reforço, o pavimento apresenta outras camadas: revestimento, base e sub-base. A base é a camada que

fornece suporte estrutural, a sub-base evita o fenômeno de bombeamento do subleito e o revestimento é a camada de rolamento do tráfego e desgaste.

Os pavimentos são normalmente separados em duas categorias: rígidos e flexíveis. A diferença estrutural se dá na forma como são distribuídas as tensões. O pavimento rígido oferece maior distribuição pressão na fundação, enquanto o flexível apresenta maior concentração de pressão na fundação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2010)

Os pavimentos rígidos utilizam placas de concreto de cimento Portland, enquanto os revestimentos de pavimentos flexíveis são compostos por misturas asfálticas.

Em 2019, uma pesquisa da CNT avaliou um total de 108.863 quilômetros de rodovias em todo o país, deste total 59,0% desses pavimentos apresentaram algum tipo de patologia, sendo classificados aproximadamente 19 mil quilômetros como ruim e quase 7 mil km, se referindo a péssimos. Em comparação ao ano de 2018, houve um aumento de quase 76% de pontos críticos. Essas situações atípicas ocorrem ao longo da via e podem trazer graves riscos à segurança dos usuários, além de custos adicionais de operação. Essas inadequações do pavimento resultaram em quase 38,5% o custo operacional do transporte de algumas regiões.

Os estados de conservação dos pavimentos afetam tanto na vida dos usuários quanto na economia, na hora de escolher qual pavimento será o melhor para as vias é recomendado que sejam analisados o volume de tráfego, as técnicas a ser adotada, viabilidade econômica, qualidade dos materiais, etc. Caso ocorra um erro de projeto, ou por qualquer hipótese não seja seguido esses critérios à cima, surgem às chamadas patologias.

Segundo o DNIT (2004) defeito é uma anomalia observada no pavimento, decorrente de problemas na fundação, de má execução ou do uso do pavimento.

Os defeitos ou irregularidades presentes na superfície afetam ainda o conforto e a segurança do usuário, diminuindo a durabilidade do seu veículo. Os principais erros podem ser: a incompatibilidade estrutural entre as camadas, gerando fadiga precoce dos revestimentos, falhas no sistema de drenagem, dificuldade em prever o tráfego a um longo período de tempo.

Bauer (1995), afirma que as vias urbanas e rodovias com tráfego intenso ou pesado e lento devem ser construídas de concreto, pois este tipo de pavimento não apresenta deformações após sofrer esforços originados pelos veículos.

Porém devido ao custo elevado de mão de obra e de implantação, a falta de empresas especializadas no Brasil e a exigência de certo período de tempo para a cura do concreto, o pavimento asfáltico é o mais utilizado por ter uma maior oferta de empresas e permitir métodos de recuperação ecológicos.

Para a definição de alternativas de restauração é necessário o estudo da condição do pavimento existente, onde é indispensável à avaliação da parte estrutural e funcional. Após conhecer os defeitos e suas prováveis causas, é possível então tomar medidas corretivas e efetuar os reparos em pavimentos de forma adequada, levando em conta tanto os defeitos localizados como os individualizados. A forma de manutenção deve passar por um objeto de planejamento e projeção para que não haja nenhum tipo de negligência durante o tempo de vida do pavimento.

Uma maneira de utilizar o concreto de cimento Portland na pavimentação é empregá-lo para recapeamento usando o concreto sobre a malha viária de pavimento flexível existente. Esse método e tecnologia usada primeiramente nos Estados Unidos desde a década de 1920 é chamado de Whitetopping (BALBO, 2009).

A pavimentação asfáltica, ao longo do tempo, ainda vem buscando melhorias por meio dos materiais utilizados para suprir as necessidades, tais como: maior durabilidade, resistência, qualidade e redução de custos. O uso do asfalto-borracha de pneus inservíveis tem sido uma das áreas mais estudadas e consideradas como alternativa em potencial para a solução de problemas ambientais.

A realização deste trabalho se dá pelo estudo de patologias e novas técnicas em pavimentação. Este tema é de grande importância para que se resolva a discussão sobre a falta de segurança e conforto que as estradas causam no dia a dia.

A estrutura do trabalho consiste no estudo do histórico e conceito dos pavimentos, para conhecimento de como surgiu e quais tipos pode se observar (Capítulo 1). Após esse embasamento, é realizada uma análise comparativa entre

pavimentos flexíveis e rígidos (Capítulo 2). Em seguida, é feito um estudo sobre os tipos de patologias de cada pavimento e suas causas (Capítulo 3). Posteriormente encontram-se processos de manutenção e recuperação para essas vias que sofreram patologias (Capítulo 4). E por último, um estudo de técnicas sustentáveis em pavimentação (Capítulo 5).

2. JUSTIFICATIVA

A importância deste trabalho justifica-se pelo objetivo de um estudo aprofundado sobre as patologias em pavimentação asfáltica flexível e rígido aonde desde a década de 50, o modal rodoviário vem crescendo aceleradamente, sendo o número um utilizado no Brasil. Segundo dados do IBGE, a malha rodoviária do país tem uma infraestrutura melhor distribuída que outros modais de transportes existentes.

O pavimento é uma estrutura oriunda de múltiplas camadas, tais como revestimento, base, sub-base, subleito e reforço do subleito, que tem a função de suportar o tráfego e prover um meio seguro e econômico para o transporte de pessoas e mercadorias (SAMPAIO, 2005).

Construir vias de transporte é uma preocupação e atividade de remotas civilizações, gerada por razões de ordem econômica, de integração regional e de cunho militar. Desde a antiguidade, pavimentar vias tornou-se atividade essencial para a adequação e preservação dos caminhos mais estratégicos (BALBO, 2007).

As estradas pavimentadas tem o objetivo de garantir o acesso barato e rápido de homens e mercadorias importantes para a economia dos países, aos pontos mais remotos de uma nação. A condição da superfície do pavimento é a mais importante no ponto de vista de quem utiliza, já que a falta de manutenção ou o despreparo destes pavimentos, causam defeitos ou irregularidades que afetam o conforto do usuário.

Trazendo consequências que acarretam custos maiores com peças de manutenção de veículos, aumento no consumo de combustível e ainda um gasto maior no pneu e no tempo de viagem, acidentes, entre outros. Consequentemente, atender a manutenção destas infraestruturas significa economia nos custos de transporte e ainda gera segurança para os usuários.

As durabilidades destes pavimentos estão ligadas a elaboração de um bom projeto, estruturas adequadas, materiais e serviços de qualidade, manutenção correta e preventiva dos mesmos, e entre outros. Caso não ocorram essas medidas citadas pode se causar inúmeros defeitos.

Levando em consideração os tipos de pavimentos abordados, tem se os mais diversos tipos de defeitos, pode-se observar que existem os defeitos do

pavimento rígido e flexível, onde conseqüentemente se encontrará maneiras plausíveis de recuperação e manutenção destes pavimentos. E ainda será estudado o funcionamento de técnicas sustentáveis de pavimentação na engenharia civil, que consiste na utilização de asfalto de borracha e na aplicação do whitetopping.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem por objetivo a verificação de patologias em pavimentação asfáltica flexível e rígido e suas consequências, encontrando maneiras de recuperação e manutenção junto de técnicas sustentáveis.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Histórico e conceituação de pavimentos.
- Análise comparativa entre pavimento flexível e rígido.
- Patologias e causas.
- Processos de manutenção e recuperação das vias.
- Técnicas sustentáveis de pavimentação.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada a revisão bibliográfica com as categorias norteadoras da pesquisa, de acordo com os objetivos propostos, existindo três tipos de pavimentos, que são pavimentos flexíveis, pavimentos semi-rígidos e pavimentos rígidos, porém esse estudo procura dar ênfase aos pavimentos flexíveis e rígidos.

5 HISTÓRICO E CONCEITUAÇÃO DE PAVIMENTO

5.1 HISTÓRICO

Através do avanço e da necessidade de locomoção de um determinado ponto para outro, pavimentar as vias ainda na antiguidade tornou-se algo essencial. No Egito as primeiras estradas foram destinadas a pesados trenós que carregavam cargas elevadas. Para construção das pirâmides (2600-2400 a.C.), vias com lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte, o atrito era amenizado com umedecimento constante (água, azeite, musgo molhado).

Na Ásia as mais antigas estradas eram a Estrada de Semíramis (600 a.C.) – que cruzava as cidades da Babilônia e Ecbatana, cruzava o Rio Tigre, a mesma hoje transformou-se em estrada asfaltada. A Estrada Real (500 a.C.), na Ásia Menor ligando Iônia (Éfeso) do Império Grego ao centro do Império Persa, Susa, foi concluída em 323 a.C (400 anos para concluir), com aproximadamente 2840 km de extensão, tendo 93 dias de percurso (30 km por dia).

Durante a época de Alexandre, o Grande (anos 300 a.C.), havia a estrada de Susa até Persépolis, passando por um posto de pedágio, as Portas Persas, possibilitando o tráfego de veículos com rodas desde o nível do mar até 1.800m de altitude.

A Estrada da Seda é considerada uma das rotas mais antigas de comércio, na China, não existia apenas com o propósito do comércio da seda, mas de diversos outros bens como ouro, marfim, animais, plantas exóticas e a religião.

Percorrer a história da pavimentação nos remete à própria história da humanidade, passando pelo povoamento dos continentes, conquistas territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, urbanização e desenvolvimento. As técnicas de pavimentação evoluirão juntamente dos meios de transportes existentes.

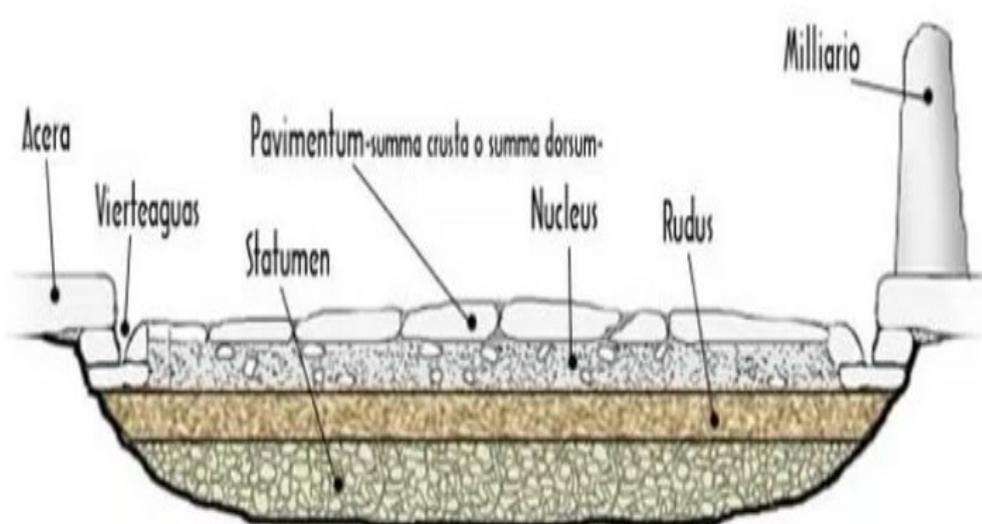
O sistema viário romano já existia anteriormente à instalação do Império, embora o mesmo tenha experimentado grande desenvolvimento com o decorrer dos anos.

5.1.1 ESTRADAS ROMANAS

Os romanos foram os primeiros a aperfeiçoar criando o que chamamos hoje de pavimentação, com objetivo de criar uma estrutura duradoura. Já naquela época, a pavimentação era considerada essencial para uma sociedade desenvolvida. Ligavam importantes cidades e portos, servindo, em especial, como meio de escoamento de bens agrícolas e como caminhos estáveis para a movimentação de legiões e suas investidas territoriais militares.

Há mais de 2000 anos os romanos já possuíam uma boa malha viária, contando ainda com um sistema de planejamento e manutenção. A mais extensa das estradas contínuas corria da Muralha de Antonino, na Escócia, à Jerusalém, cobrindo aproximadamente 5.000 km (Hagen, 1955).

Figura 1 — Método dos Romanos utilizado na Via Appia.



Fonte: Cava (2019)

Construída em 312 a.C, pelo político romano Áppius Claudius Caecus, temos a primeira via pavimentada pelos romanos a Via Appia Antica, que ligava Roma até Taranto, recebeu o nome em homenagem ao seu criador. O mesmo tinha o objetivo de mostrar a grandeza de Roma e estabelecer ligações entre a sede romana e as províncias orientais, e ainda permitindo ao exército romano chegar rapidamente, durante o período não-invernos, às áreas de Campania e Samnium, retornando a Roma no inverno.

Segundo BALBO (2007), durante o período republicano de Roma diversas estradas foram construídas com as técnicas construtivas dominadas pelos romanos, dentre elas a Via Aurélia, Via Flaminia e a Via Clodia.

No decorrer do período de Júlio Cesar, época de grande expansão de Roma, graças às vias pavimentadas construídas pode se ligar regiões longínquas como Gália e Dalmácia. Na Figura 2 é possível analisar as principais ligações dessas vias.

Figura 2 — Mapa das principais ligações estradais romanas (sem escala).

Fonte: Balbo (2015)



As técnicas de pavimentação da Roma foram se aprimorando conforme a necessidade de expandir o território. As estradas romanas ligavam cidades e portos, para operações agrícolas.

A técnica de construção dos romanos era seguida por:

- Preparação do terreno natural: o escavamento era realizado até o material consistente, em terrenos onde ofereciam se poucas resistências eram cravadas estacas de madeiras. Já o nivelamento e compactação do solo naquele período eram efetuados manualmente, com instrumentos rudimentares;
- Execução do lastro de pedras: Em seguida a compactação, feita no solo, os lastros de pedras conhecido por *stratmen*, muitas vezes empastado com cal hidráulica, eram utilizados para melhorar as condições de apoio

para as camadas superiores, tendo que ter uma espessura variando entre 30 a 60 cm, dependendo das condições do terreno ou da via.

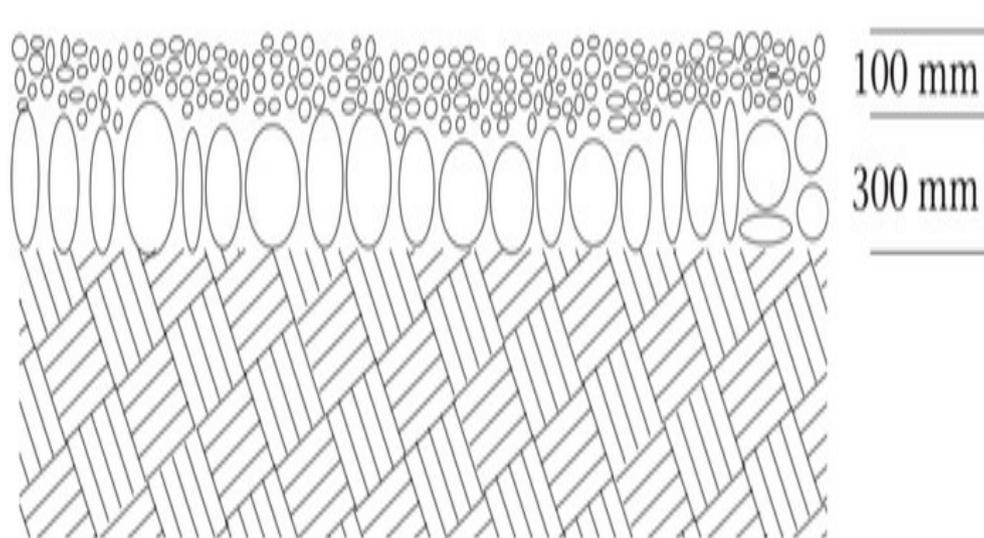
- Execução de camadas de misturas com aglomerantes hidráulicos: no *strautemen* eram efetuados uma camada de *indus* ou *rudratio*, elaborados por uma mistura de pedras fragmentadas de tijolo e ladrilhos, pedaços de ferro aglomerados por uma pasta composta por cal, areia, argila, e pozolana com espessura final de 25 a 30 cm;
- Logo após o procedimento do *indus*, era realizado a camada *nucleus* com uma mistura de pedras miúdas com pasta semelhante ao *indus* para impermeabilizar o pavimento, sendo compactados com pequenos bastões para atingir um corpo de 30 a 50 cm;
- Execução do revestimento: em vias urbanas e de interligação a camada de revestimento era basicamente de rochas básicas, geralmente usadas o calcário, sendo posicionadas justapostas, nomeadas de *summa crusta*. Porém em vias consulares as camadas de revestimentos recebiam saibros aglomerados com pasta de cal, recebendo o nome de *glarea stratae*.

Ao longo da Baixa Idade Média, devido à decadência econômica dos povos europeus, isolamento social e político das regiões continentais, as vias construídas no período romano foram abandonadas, causando deteriorização pelo intemperismo e por ausência de manutenção. Com o surgimento da indústria artesanal, foram retomadas as construções, mas de maneiras reduzidas.

O uso da técnica de pavimentação romana se estendeu até o séc. XVIII, quando em 1770 o engenheiro Pier-Maria Jerolame Trésaguet apresentou novos critérios de pavimentação na França:

- A fundação teria de apresentar 30 cm de pedras cravadas, com o objetivo de uniformizar o apoio;
- A camada superior tinha que ter de 8 a 10 cm de pedras trituradas e dispostas a mão com posterior compactação, para resultar em poucos vazios. Na execução da camada final, deveriam ser utilizadas pedras de resistência razoável que pudessem ser trituradas até atingir o diâmetro entre 7 a 8 cm. Conforme a figura 3.

Figura 3 — Pavimento defendido por Trésaguet (séc. XVIII).



Fonte: Balbo (2015)

Em 1820 o engenheiro escocês John Loudon Mac-Adam, baseado nas suas experiências práticas de construção e manutenção de estradas, publicou notas que estariam contrariando Trésaguet, que diziam:

- Uniformizar o terreno com pedras cravadas é dispensável;
- Camada granular não precisa de confinamento, para permitir escoamento da água;
- Pedras com dimensões máximas de 40 mm (cúbica) e 50 mm (esférica), com um rigoroso controle tecnológico, tendo ainda que peneirar para a eliminação de detritos da lapidação e de materiais terrosos.
- Pedras espalhadas em camadas sobrepostas, de espessura crescente, sem necessidade de aglomerantes, pois a água faria esse papel. Podendo ainda as camadas variar entre 15 a 25 cm.



Figura 4 — Técnica MacAdam em execução.

Fonte: Cava (2019)

5.1.2 ESTRADAS PAVIMENTADAS NO BRASIL

No Brasil, o modal rodoviário é o que possui a maior participação na matriz de transporte, concentrando, aproximadamente, 61% da movimentação de mercadorias e 95% da de passageiros. Sua primeira pavimentação foi realizada na “Calçada do Lorena”, construída em 1792, pelo engenheiro-militar João da Costa Ferreira, que ligava Riacho Grande à Cubatão no estado de São Paulo. O mesmo utilizou as mesmas técnicas propostas pelos romanos, pedras recortadas justapostas, com cerca de 200 mm.

Figura 5 — Vista da Calçada do Lorena.



Fonte: Balbo (2015)

No final do século XVIII, por iniciativa do governador da capitania de São Paulo, e sob a supervisão de engenheiros da Escola de Fortificação de Lisboa, foi construída a primeira estrada pavimentada no Brasil, tratada sob vários aspectos com base em preceitos de engenharia, que receberia a alcunha de seu idealizador: a calçada de Lorena ligava o Planalto paulista ao porto de Santos (BALBO, 2007).

Em 1839, D. Pedro II encarregou o engenheiro alemão Júlio Frederico Koeler de projetar um caminho de Porto da Estrela (RJ) a Petrópolis. Surgiu assim a Estrada Normal da Serra da Estrela. Pavimentada em 1841 pelo engenheiro Charles Philippe Garçon Rivière com pedras irregulares, posteriormente pavimentada com paralelos em novo traçado.

A primeira estrada macadamizada do continente pôde ser concluída em 23 de julho de 1861, nomeada de União Indústria, com 144 km de extensão, sendo 96 km no estado do Rio de Janeiro e 48 km em Minas Gerais. A mesma permitiu o desenvolvimento dessas duas regiões, proporcionando infra-estrutura adequada para o escoamento de produtos e mercadorias. Apesar disso o seu “embrião” ganhou início em 1674, quando Fernão Dias grande empreendedor, criou um caminho provisório para os bandeirantes, dando início ao povoamento do território mineiro.

Já no século XIX, entre 1836 e 1838, o fundador de Juiz de Fora, o engenheiro alemão Henrique Guilherme Fernando Halfed, melhorou e ampliou a rota, criando a Estrada Nova do Paraibuna, futura União Indústria.

A origem dessa primeira Estrada de Rodagem do Brasil, maior obra de engenharia na América Latina em seu tempo, deu-se a 7 de agosto de 1852, quando o visionário Mariano Procópio obteve, graças ao decreto do governo imperial n.º 1.301, a autorização para a construção, melhoramento e conservação de duas linhas de estradas. O empreendimento, considerado por muitos como impossível de ser realizado, foi iniciado em 12 de abril de 1856, com a presença e o incentivo de D. Pedro II. A obra exigia, entretanto, um esforço notável para os engenheiros e operários, já que a estrada era entrecortada por cursos d'água e pelas escarpas graníticas da serra do Taquaril. Mariano Procópio, então, contratou profissionais alemães.

Já no início do século XX, foi realizado o primeiro pavimento de concreto onde ligava São Paulo a Cubatão, onde foi nomeado de Caminhos do Mar, esta estrada de rodagem adquiriu amplamente misturas asfálticas em sua maior extensão (Figura 6), conduzida pela então Diretoria de Estradas de Rodagem da Secretaria de Viação e Obras Públicas do Estado de São Paulo.

Figura 6- Vista da estrada Caminhos do Mar.



Fonte: (BALBO, 2007, p. 29).

Em 1927, com a criação de um fundo especial para a construção e conservação de estradas de rodagem, sob a presidência de Washington Luís Pereira de Sousa, o governo federal passa a investir na construção da malha rodoviária federal (PENTEADO, 1929).

Em seguida foi realizada em 1932, em concreto, a pavimentação da travessia de São Miguel Paulista, da antiga estrada Rio - São Paulo.

Segundo Liedi Bariani Bernucci, o grande impulso na construção rodoviária brasileira ocorreu nas décadas de 1940 e 1950, graças à criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) em 1946, oriundo do imposto sobre combustíveis líquidos. Destaque-se ainda a criação da Petrobras em 1953.

Até o início da década de 1950 era intensa em nosso país a utilização do concreto de cimento Portland na pavimentação, tanto em vias urbanas quanto em rodovias, tais como a BR- 116/RJ subida da serra de Teresópolis e nas rodovias nos

estados de Pernambuco e Paraíba, a partir de então, essa prática teve retenção devido a fatores como, ambiental, política e viabilidade econômica (CARNEIRO; DA SILVA, 2014).

Segundo pesquisas da CNT de rodovias/2010, as redes implantadas na década de 60 e 70 no Brasil estão se deteriorando intensamente, maior parte da via encontra-se de regular a ruim tendendo a uma deterioração precoce. A restauração da rede exige recursos de até cinco vezes maior do que custaria a conservação no momento adequado.

No Brasil, os pavimentos de concreto são executados em construções como as rodovias, portos e aeroportos, mas também como corredores de ônibus e pisos industriais, tendo um impulso marcante em meados de 1990, quando passou a ser objeto crescente de interesse nos meios rodoviários brasileiros.

Segundo o Sistema Nacional de Viação (SNV) apenas 213.453 quilômetros de rodovias são pavimentados, o que corresponde a 12,4% da extensão total. Sendo assim, pode-se observar que a malha não pavimentada representa 78,5% do total da malha rodoviária nacional.

Esses dados demonstram que apesar da importância do modal rodoviário na matriz de transporte do país, existem, relativamente, poucos trechos pavimentados. Isso implica uma maior quantidade de viagens realizadas em trechos não pavimentados ou um aumento da extensão a ser percorrido em vias pavimentadas para se atingir o destino desejado (devido à falta de disponibilidade de rotas mais curtas) (CNT, 2019).

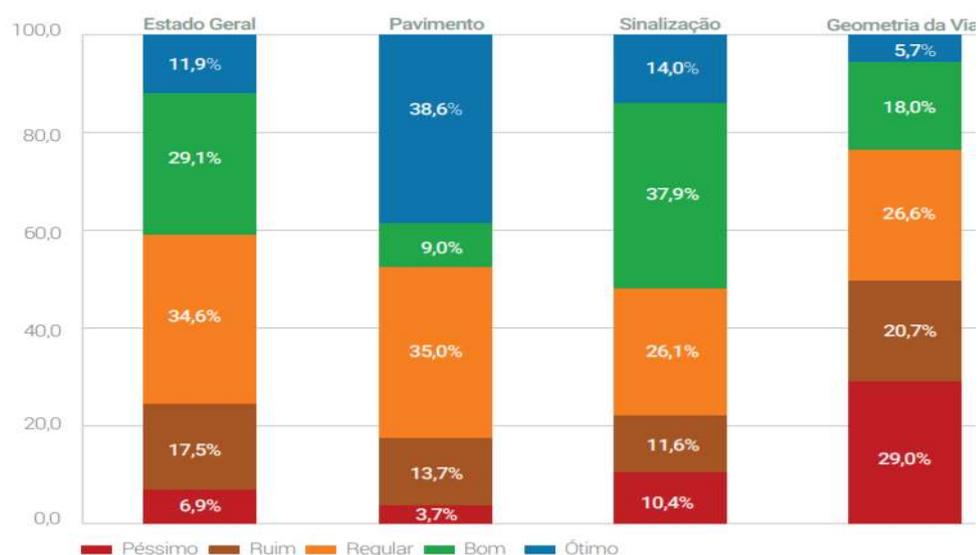
Em 2019, um total de 108.863 quilômetros de rodovias foi avaliado pela CNT em todo o país. Desse total, 59,0% destes pavimentos apresentaram algum tipo de problema no Estado Geral, sendo classificados aproximadamente 19 mil quilômetros como ruim e quase 7 mil km, se referindo a péssimos.

O número de pontos críticos identificados ao longo dos 108.863 quilômetros pesquisados teve um aumento de 75,6%. Passou de 454 em 2018 para 797 em 2019. São considerados pontos críticos: quedas de barreira, pontes caídas, erosões na pista, buracos grandes. Essas situações atípicas ocorrem ao longo da via e

podem trazer graves riscos à segurança dos usuários, além de custos adicionais de operação.

As condições das rodovias impactam diretamente nos custos do transporte, ocasionando em produtos mais caros. Neste ano, estima-se que, na média nacional, as inadequações do pavimento resultaram em uma elevação no custo operacional do transporte chegando a torno de 38,6% em algumas regiões.

Gráfico 1- Avaliação de condições das vias no Brasil.



Fonte: CNT,2019.

Pavimentos em situações inadequadas causam um maior desperdício de diesel, de acordo com a pesquisa feita pela CNT, em 2019 estima-se que houve um consumo desnecessário de aproximadamente 931,80 bilhões de litros de diesel.

Devido a essas patologias causadas nos pavimentos no ano de 2018, foram registrados nas rodovias federais brasileiras 69.206 acidentes. O prejuízo gerado é da ordem de R\$ 9,73 bilhões para o país, com a perda de 5.269 vidas e, ainda, com 76.525 pessoas feridas. O cálculo considera os prejuízos com veículos, cargas, despesas médico-hospitalares. Também considera a perda de produção das pessoas que morrem nas rodovias, parte delas ainda muito jovem. Já em 2019, segundo pesquisas houve uma queda de 2,6% nos acidentes rodoviários.

No século XIX, foram criadas diversas teorias, como a teoria da elasticidade, a resistência dos materiais, a geodésica e a geometria. O que acabou contribuindo para o avanço de novas técnicas e de teorias para dimensionamento de estruturas dos mais diversos pavimentos.

5.2 CONCEITUAÇÃO

Segundo Balbo 2007, o termo pavementum é de origem latina e foi absorvido em vários idiomas que receberam influencia da língua romana.

De acordo com DNIT (2006, p.95), “[...] pavimento é como uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assente sobre um semi-espaço considerado teoricamente infinito, a infraestrutura ou terreno de fundação, a qual é designada de subleito [...]”.

Com isso tem se a noção de que pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas, construída após a terraplanagem, destinada a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais transmitidos pelos eixos dos veículos, com intenção de melhorar as condições de rolamento, diretamente ligado ao conforto e segurança e a resistir aos esforços horizontais tornando mais durável a superfície e rolamento.

O objetivo básico da Pavimentação é fornecer aos usuários e seus veículos conforto, segurança, que devem ser obtidos sob o ponto de vista da engenharia civil,

através da máxima qualidade e do baixo custo , buscando sempre que o possível aproveitamento de materiais locais para as obras , para garantir um ótimo desempenho na otimização de custos operacionais e de manutenção ao longo do serviço desta infraestrutura social.

Segundo a NBR- 7207/82 da ABNT tem-se a seguinte definição:

O pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

- a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b) Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;c) Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

Visando prover segurança ao tráfego nas rodovias, o pavimento deve suportar os efeitos das mudanças de clima, permitir deslocamento suave, não causar desgaste excessivo dos pneus e nível alto de ruídos, ter estrutura forte, resistir ao fluxo de veículos, permitir o escoamento da água na sua superfície, possuir sistemas de drenagem eficientes para dar vazão à água da chuva e ter boa resistência a derrapagens. (CNT, 2019).

Há diversos tipos de materiais empregados na execução de um pavimento rodoviário, entre eles destacam-se: Asfalto - Borracha, Stone Matrix Asphalt (SMA), Lama Asfáltica, CBUQ, etc.

- O Asfalto – Borracha consiste na mistura de borracha de pneus triturada em misturas asfálticas. Este material foi utilizado experimentalmente em Salvador no trecho da Avenida Ogunjá (interligando a Avenida Bonocô a Avenida Vasco da Gama). É um método ecologicamente correto, pois reutiliza pneus velhos e inservíveis (SILVA, 2005).

- Segundo BERNUCCI (2008, p.168), o “[...] SMA é um revestimento asfáltico, usinado a quente, concebido para maximizar o contato entre os agregados graúdos, aumentando a interação grão/grão [...]”.

- Conforme BERNUCCI (2008, p.185), “[...] as lamas asfálticas consistem basicamente de uma associação, em consistência fluida, de agregados minerais, material de enchimento ou fíler, emulsão asfáltica e água [...]”.

• Segundo BERNUCCI (2008, p.158), “[...] o CBUQ é um produto da mistura de agregados de vários tamanhos e cimento asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas escolhidas, em função da característica viscosidade-temperatura do ligante [...]”.

Um pavimento é constituído por subleito, leito, sub-base, base e revestimento (no caso dos pavimentos flexíveis) ou placa de concreto (no caso de pavimentos rígidos), que apresentam materiais com diferentes características e propriedades, ou seja, que se comportam diferentemente quanto à deformação, quando submetidos a cargas dos veículos automotivos. Este comportamento estrutural está relacionado ao estado do pavimento.

Tabela 1 — Categorias de condição da superfície do pavimento da Pesquisa CNT de Rodovias

Fonte: Conselho Nacional de Transporte (2019)

Classificação do Pavimento	Definição
Perfeito	Apresenta ótima condição e perfeita regularidade na camada de revestimento
Desgastado	Apresenta sinais de desgaste, com aspereza superficial no revestimento, porém não há buracos. Também pode haver, isoladamente, fissuras e trincas transversais ou longitudinais
Trinca em malha/ remendos	Presença de trincas em malha e/ou remendos mal executados
Afundamento, ondulação ou buraco	Pode apresentar defeitos, como afundamentos, ondulações e buracos em conjunto ou isoladamente. Os buracos são classificados nesta categoria quando encontrados em pequenas quantidades, mas de maneira contínua e predominante
Destruído	Elevada quantidade de buracos ou ruína total da superfície, o que obriga os veículos a reduzirem a velocidade. Estão também incluídos os pavimentos em fase de restauração, que apresentam todo o revestimento removido, mas que estão abertos ao tráfego de veículos

Fonte: Elaborado pela CNT com dados da Pesquisa CNT de Rodovias.

5.2.1 CAMADAS

As camadas típicas de um pavimento são identificadas como:

- Revestimento;
- Base;
- Sub-base;
- Reforço de subleito.
- Subleito

5.2.1.1 REVESTIMENTO

Segundo Medina (1997), o revestimento é a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos, sendo destinada a melhorar as condições de tráfego quanto à comodidade e segurança, além de resistir aos esforços horizontais que nele atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento. No caso dos pavimentos rígidos, as placas de concreto preenchem as finalidades próprias de revestimento e base, simultaneamente.

Precisará receber tanto as cargas dinâmicas quanto as estáticas, sem sofrer qualquer tipo de deformação elástica ou plástica, entre outros. Necessita de materiais bem aglutinados ou dispostos de maneira a evitar que ocorra movimentação horizontal do pavimento.

Segundo Balbo, os revestimentos asfálticos são muitas vezes subdivididos em duas ou mais camadas por razões técnicas, construtivas e de custo. Assim é comum encontrar expressões como “camada de rolamento” e “camada de ligação”.

5.2.1.2 BASE

A Base logo abaixo do revestimento fornece um suporte estrutural, aliviando as tensões nas camadas inferiores distribuindo-as, além de permitir a drenagem da água que se infiltra (por meio de drenos) e resistir às deformações, sendo de grande importância nos pavimentos asfálticos.

- A base coesiva: dilui as tensões de compressão devido a sua rigidez, provocando uma tensão de tração em sua face inferior. Podendo ser de ligante ativo, constituído de concreto ralado ou ainda de ligante asfáltico que é possível ser com macadame asfáltico ou mistura asfáltica.
- A base granular: não apresenta coesão, não resiste a tração, devido a sua espessura tende a diluir as compressões. As que apresentarem aditivos, tende a ter o solo melhorado com cimento ou com cal, já se for uma base granular sem aditivo é utilizada brita graduada.

É de extrema importância que o material empregado seja de boa qualidade, caso contrário é bastante provável que aconteçam danos ao pavimento. A função da base é tão essencial, que o pavimento pode ser constituído apenas de base e revestimento.

5.2.1.3 SUB-BASE

A sub-base corresponde a uma camada delgada situada sob a base da placa de concreto, sendo necessária, em alguns casos, para melhorar as características de suporte do subleito. Tem a finalidade de aumentar a capacidade de suporte da fundação do pavimento, evitando o bombeamento dos finos do subleito, caracterizado por acentuada retração ou expansão dos solos da fundação, o que implica na perda da uniformidade do suporte. A sub-base pode ser constituída por solo, cimento ou materiais britados, estabilizados com cimento, asfalto ou cal, no caso de solos, ou ainda mediante mistura com outros materiais, sendo que todos esses materiais necessitam ter características superiores ao do reforço e inferiores ao material que compõe a base.

Sub-base como camada corretiva do subleito ou complementar a base somente quando por qualquer circunstancia não for aconselhável construir o pavimento diretamente sobre o leito obtido pela terraplanagem.

5.2.1.4 REFORÇO DO SUBLEITO

“Admita-se que um dado subleito composto de solo com pequena resistência aos esforços verticais (de cisalhamento) que ocorreriam sobre a sua superfície. Neste caso, é preciso pensar em se executar sobre o subleito uma camada de solo de melhor qualidade, que sirva como um reforço sobre a camada de superfície, de maneira que a fundação subjacente a esse esforço receba pressões de menor grandeza, compatíveis com sua resistência” (BALBO, 2016, p.37).

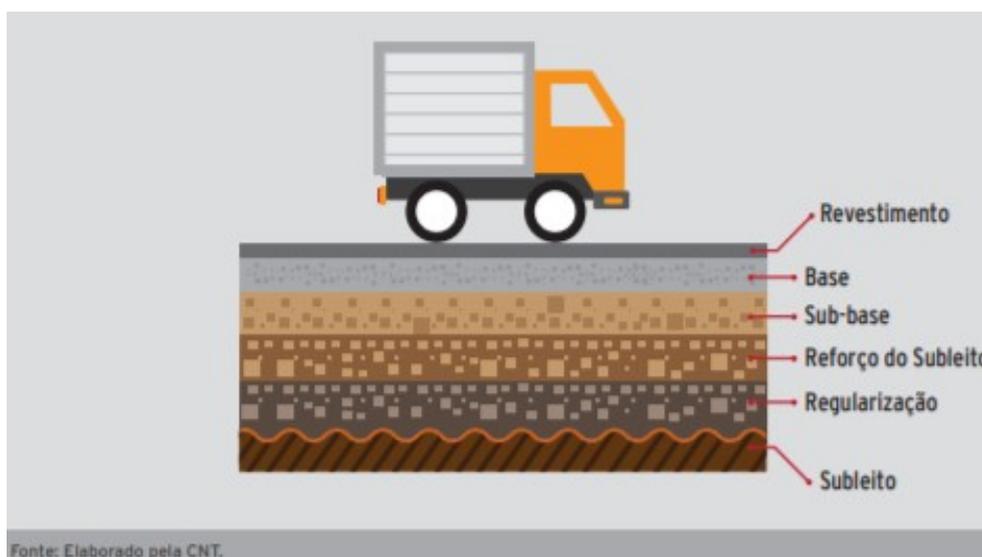
As camadas da estrutura repousam sobre o subleito, ou seja, a plataforma da estrada terminada após a conclusão dos serviços de cortes e aterros. Dependendo da intensidade e peso dos veículos no tráfego e dos materiais disponíveis na região onde será executado o pavimento rodoviário.

4.2.1.5 SUBLEITO

Os esforços exercidos sobre sua superfície serão aliviados na sua profundidade. É constituído de material natural, considerado o terreno de fundação do pavimento.

Se a terraplenagem é recente, o subleito deverá apresentar as características geométricas definitivas. No caso de uma estrada de terra já em uso há algum tempo e que se pretende pavimentar, o subleito apresenta superfície irregular devido ao próprio uso e aos serviços de conservação.

Figura 7 — Esquema de seção transversal do pavimento.



Fonte: Conselho Nacional de Transporte (2019)

Segundo a CNT/2019, os pavimentos ainda apontam as seguintes camadas constituintes:

- A **camada de regularização** possui espessura variável, podendo deixar de existir em alguns trechos, e possui a função de corrigir falhas da camada final de terraplenagem ou de um leito antigo de estrada de terra.
- O **leito** é a transição entre o terreno de fundação e o corpo do pavimento.

5.2.2 CLASSIFICAÇÃO

Entre as diversas nomenclaturas possíveis existentes, Balbo (1997) defende um padrão de termos usuais em pavimentos:

- Pavimento rígido (concreto/cimento)– é o pavimento cuja camada superior, resistindo grande parcela de esforços horizontais solicitantes, acaba por gerar pressões verticais aliviadas e bem distribuídas sobre as camadas inferiores;
- Pavimento flexível – é o pavimento no qual a absorção de esforços se dá de forma dividida entre várias camadas, encontrando-se as tensões verticais em camadas inferiores concentradas em região próxima da área de aplicação da carga.
- Semi-rígido - caracteriza se por uma base cimentada revestida por algum aglutinante com propriedade cimentícias, como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica (DNIT, 2006).

5.2.2.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL

Segundo (BALBO, 2017; SILVA, 2008) o pavimento flexível é aquele que comporta um revestimento betuminoso, dos quais os materiais utilizados são o asfalto que forma a camada de revestimento, um material granular que compõe a base e outro material granular ou o próprio solo que forma a sub-base.

O mesmo apresenta uma maior e mais expressiva deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado, recebendo o nome no meio rodoviário de deflexão, conseqüentemente, a carga se distribui em parcelas aproximadamente iguais entre as camadas (Manual do DNIT, 2006).

A estrutura do pavimento flexível é feita para receber e transmitir os esforços que nele são aplicados e dissipá-los as camadas inferiores do pavimento. Essas cargas aplicadas são transmitidas para a função, sendo aliviada através das camadas

impedindo deformações no pavimento, pois cada camada constituinte do pavimento é responsável por exercer funções específicas entre si (BALBO, 2007).

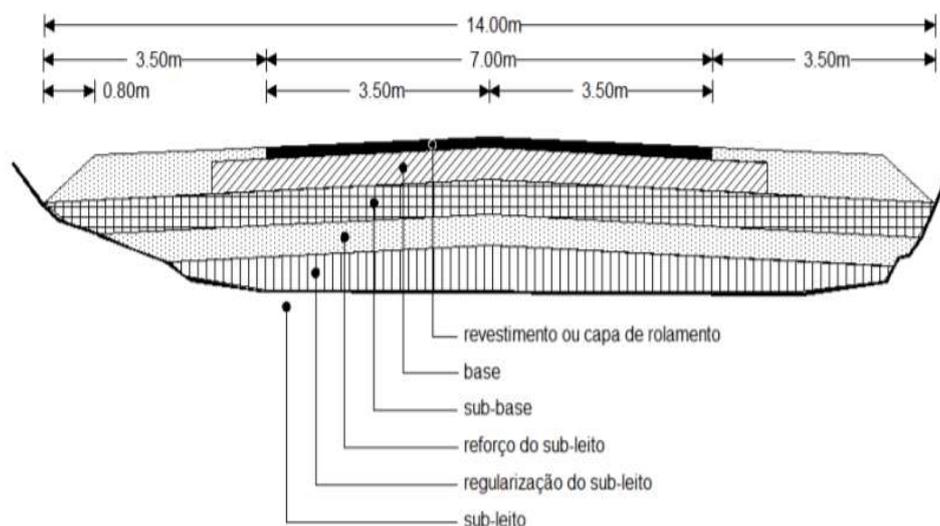
A nomenclatura de pavimento flexível é atualmente conhecida por pavimento asfáltico, onde é constituído por camadas que não trabalham a tração. Normalmente são constituídos de revestimento betuminoso delgado sobre camadas puramente granulares, utilizando mistura de agregados e ligantes asfálticos. A capacidade de suporte e função das características de distribuição de cargas por um sistema de camadas superpostas que devem trabalhar em conjunto, onde as de melhor qualidade encontram-se mais próximas da carga aplicada.

Com relação aos materiais utilizados nos pavimentos flexíveis, os agregados correspondem entre 90% e 95% do revestimento, sendo responsável por suportar e transmitir as cargas aplicadas pelos veículos e resistir ao desgaste sofrido pelas solicitações. Já o material betuminoso – asfalto, corresponde entre 5% e 10% do revestimento, tendo função aglutinante e ação impermeabilizante (BERNUCCI et al., 2010).

No dimensionamento tradicional são consideradas as características geotécnicas dos materiais a serem usados, e a definição da espessura das várias camadas depende do valor do CBR- Índice de Suporte Califórnia, e do mínimo de solicitação de um eixo padrão, que é o eixo utilizado para dimensionamento de um pavimento.

Consegue se observar através da Figura 8, um pavimento onde não se pode remover nenhuma das camadas da fundação.

Figura 8: Seção típica do pavimento Flexível.



Fonte: Ribeiro, Thiago, **Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 04. Ano 02, Vol. 01. pp 733-754, Julho de 2017. ISSN:2448-0959 (2017, p. 4)

É um pavimento do qual degrada facilmente com variações de temperatura e chuvas constantes, fazendo com que a sua superfície quando molhada fique mais escorregadia e tende a ter uma baixa durabilidade.

Um dos tipos de pavimentos mais utilizados no Brasil é o concreto asfáltico usinado a quente – CAUQ, pode ser empregado como revestimento, camada de ligação – binder, regularização ou reforço do pavimento. O concreto betuminoso somente deve ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10°C, não sendo permitida execução em dias de chuva.

Segundo Ribas (2017), os métodos de execução com técnicas de reciclagem com o uso dos materiais dos pavimentos já existentes ou a combinação com outros materiais, como asfalto borracha de pneus inservíveis, asfalto com polímero, permite a pavimentação flexível ser uma alternativa mais econômica e ecológica em comparação a pavimentação rígida, diminuindo a geração de impactos ambientais negativos, preservando os recursos naturais.

5.2.2.2 PAVIMENTO RIGIDO

O pavimento rígido, conforme a classificação do (DNIT, 2006) é aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland.

Onde a camada de rolamento funciona também como estrutura, redistribuindo os esforços e diminuindo a tensão imposta à fundação. Resistem aos esforços de flexão, com deformações mínimas.

O pavimento rígido requer uma fundação com suporte constante e uniforme, devido às camadas trabalharem para absorver grandes tensões de tração na flexão produzidas pelo carregamento. Este tipo de pavimento produz uma bacia de deformação, na fundação, menor que aquela produzida por pavimentos flexíveis. Devido a isto, as camadas subjacentes são mais protegidas quanto às deformações. Seu dimensionamento é baseado nas propriedades resistentes de placas de Concreto de Cimento Portland, as quais são apoiadas em uma camada de transição, a sub-base.

Os pavimentos rígidos são apoiados sobre uma camada de material granular ou de material estabilizado com cimento chamada sub-base, assentada sobre o subleito ou sobre o reforço do subleito se necessário.

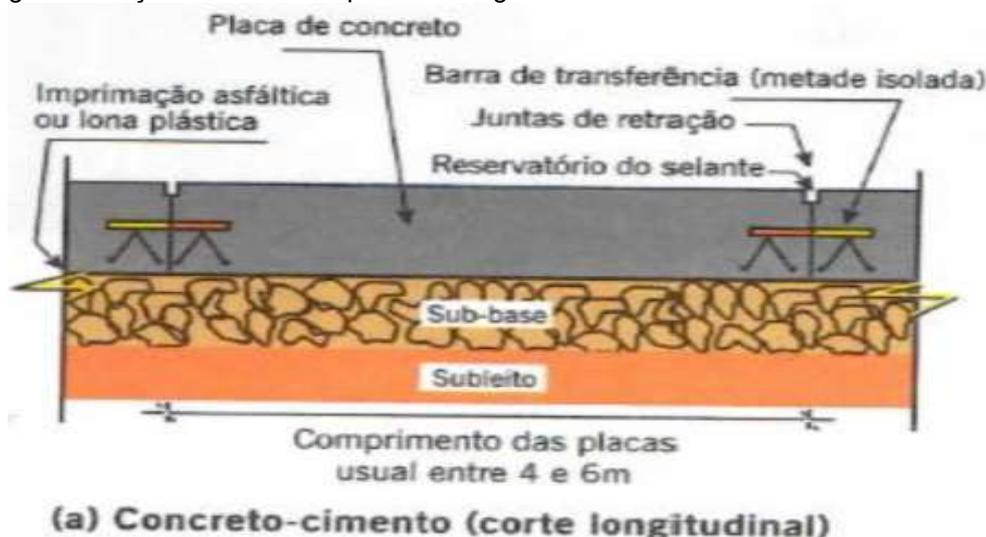
A determinação da espessura é conseguida a partir da resistência à tração do concreto e são feitas considerações em relação à fadiga, coeficiente de reação do subleito e cargas aplicadas.

De acordo com o Manual de Pavimentos Rígidos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o concreto aplicado na execução de pavimentos rígidos deve apresentar a resistência característica à tração na flexão definida em projeto, que geralmente é da ordem de 4,5 Mpa ou, como no caso dos pavimentos estruturalmente armados, uma resistência característica à compressão axial, que geralmente é de 30 Mpa.

Os pavimentos rígidos, segundo Horonjeff (1966), são constituídos basicamente por três camadas: “revestimento”, “base” e “subleito”. A existência da placa de concreto praticamente absorve toda a solicitação, distribuindo-a em uma

grande área. Ao chegar ao subleito, terreno em que se assenta o pavimento, seja ele resultante de corte ou aterro, a carga encontra-se suficientemente amortecida.

Figura 9- Seção transversal do pavimento rígido.



Fonte: RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS: Um estudo de caso comparativo entre Microrrevestimento Asfáltico a Frio MRAF e Tratamento Superficial Duplo TSD, 2018.

Devido à elevada rigidez do revestimento em relação às demais camadas, as cargas de superfície são distribuídas por uma grande área de contato pneu-pavimento, aliviando dessa forma as tensões transmitidas às camadas subjacentes, garantindo uma durabilidade em torno de 20 anos, exigindo uma manutenção nas juntas de dilatação a cada 10 anos.

O pavimento de concreto proporciona uma maior aderência dos pneus em relação ao asfalto, que diminui o índice de acidentes, além de ser impermeável, o que impede a infiltração de água o que impede a formação de buracos em sua estrutura.

O agregado miúdo mais indicado é a areia natural quartzosa, cuja dimensão máxima característica dos grãos é de 4,8 mm, não sendo admitidos grãos menores do que 0,075 mm. Já agregado graúdo mais utilizado é o pedregulho ou a pedra britada, ou ainda a mistura de ambos, cuja graduação granulométrica fique entre 50 mm e 4,8 mm. A água destinada ao amassamento do concreto deve atender aos limites máximos

determinados pela norma DNIT 036/2004-ME, deve ser isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas.

Pode-se destacar dentre os vários tipos de pavimentos de concreto de cimento Portland:

- Pavimento de concreto simples: placas de concreto simples separadas por juntas moldadas ou serradas.
- Pavimento de concreto com armadura descontínua: possui armadura destinada a combater as fissuras provenientes da retração do concreto, posicionando as barras de aço a cada 5 cm da superfície nas juntas transversais e longitudinais.
- Pavimento de concreto continuamente armado: Usualmente usando em aeroportos, armadura longitudinal continua sem juntas transversais.
- Pavimento de concreto estruturalmente armado: possui barras de transferência e telas de aço para combater as tensões, onde são distribuídas na parte superior e inferior da placa.
- Pavimento de Concreto Protendido: empregado principalmente em pavimentos de aeroportos e pisos industriais pesados. Há grande redução da espessura necessária de concreto.
- Pavimento de Concreto com Fibras: pavimento composto de placas de concreto com adição de fibras de aço ou nylon e polipropileno. Apresenta maior resistência à fissuração, ao impacto e ao desgaste, além de possuir maior ductilidade.
- Whitetopping: constitui na construção de pavimento de concreto apoiado sobre pavimento asfáltico. É uma solução para reabilitação de pavimentos asfálticos já existentes, muito utilizado no Brasil.

Entre estes citados a cima, encontra se ainda os mais utilizados no Brasil, em função da concepção estrutural e dos materiais empregados, são eles:

- a) Concreto Convencional ou Rolado;
- b) Com fibras de aço ou de polipropileno;
- c) Sobre-laje em tabuleiros de obras de arte especiais;
- d) Com armação simples de retração;
- e) Estruturalmente armado, com armação dupla;
- f) Com peças pré-moldadas.

6 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAVIMENTO FLEXÍVEL E RÍGIDO

Para que a população possa se locomover em vias pavimentadas de boa qualidade é necessário se ter uma estrutura adequada, a utilização de materiais de qualidade. A facilidade na locomoção, rapidez e segurança estão ligadas diretamente à qualidade dos pavimentos das ruas. Ainda é indispensável à elaboração do projeto com base em levantamentos criteriosos e que atenda as normas e especificações, o mesmo deve ser o mais detalhado possível. Elaborar estudos de viabilidade, estudar e definir técnicas apropriadas à execução da obra, determinar os materiais a serem empregados na construção, realizar orçamento e cronogramas.

Existem dois principais tipos de pavimentos, o rígido e o flexível uma diferenças entre eles está nas deformações admissíveis para o dimensionamento do pavimento: para os pavimentos rígidos, as deformações admitidas são muito inferiores que às aceitáveis nos pavimentos flexíveis.

Tabela 2- Vantagens e desvantagens de cada pavimento.

FLEXÍVEL	RÍGIDO
Apresenta índices de deformações elásticas ao longo das vias de tráfegos intensos.	Menor índice de deformação.
Altas temperaturas, excesso de chuvas ou os combustíveis e óleos dos veículos causam a deterioração da sua superfície.	Não oxida, e é resistente a ação de combustíveis, óleos veiculares e a ação das chuvas e do sol.
Revestimento asfáltico (CAUQ).	Composto por placas de concreto de Cimento Portland (PCS).
Absorve a umidade com rapidez e retém a água em sua superfície.	Impermeável.
Os esforços exercidos nos pavimentos tendem a ser transmitidos para as camadas inferiores.	Absorve os esforços, fazendo papel de base e revestimento.

Não necessita de juntas de dilatação.	Requerem juntas de dilatação, onde as mesmas precisam de manutenção aproximadamente a cada 10 anos.
Durabilidade entre 10 anos.	Vida útil superior a 20 anos.
Indispensável o material de melhor qualidade na camada base, pois as tensões transmitidas são elevadas.	Não sofrem tanta transmissão de tensões.
Devido asfalto ser um derivado de petróleo, misturado normalmente a quente, consome óleo combustível e divisas, acarretando em poluição ambiental.	Reduz a poluição ambiental, pois o concreto é feito com materiais locais, a mistura é feita a frio e a energia consumida é a elétrica.
Manifesta-se uma coloração escura, dificultando a visibilidade noturna, porém garantindo ao usuário uma excelente sinalização.	Por ter superfície clara, melhora consideravelmente à visibilidade horizontal e noturna dos motoristas, principalmente em dias de chuva.
É fortemente afetado por produtos químicos.	Resistem a agentes químicos.
Baixo custo, mas a manutenção rotineira deve ser feita a cada cinco anos de uso, resultando em um custo elevado.	Custo para implantação elevado, porém com maior custo-benefício ao decorrer dos anos.
Maior oferta de empresas para implantação no Brasil.	Há uma carência de empresas especializadas no Brasil.
Manutenções realizadas em curto período de tempo, sendo liberada após a conclusão.	Exige um tempo de cura do concreto para liberação da via.
Há um excesso de consumo de combustível devido às inúmeras patologias em rodovias e estradas.	Economia no consumo de combustível dos usuários.
Permite métodos de recuperação ecológicos.	Em casos de danos precisa se remover todo o pavimento para

	regularização.
--	----------------

Fonte: Autor (2021).

De acordo com a Figura 10, observa-se a comparação de cargas distribuídas ao longo dos pavimentos.



Fonte: Pavimentação com sustentabilidade, PREMISSAS DE PROJETO DO PAVIMENTO DE CONCRETO, Engenheiro Marcos Dutra de Carvalho.

Levando em consideração todos os detalhes levantados ao decorrer, é válido de que o pavimento rígido torna-se o mais vantajoso quando se trata de rodovias com tráfego intenso, pois tende a ter uma vida útil prolongada, os custos de manutenções em relação ao pavimento flexível é mais lucrativo, garante uma segurança mais apropriada, entre outros.

Bauer (1995), afirma que as vias urbanas e rodovias com tráfego intenso ou pesado e lento devem ser construídas de concreto, pois este tipo de pavimento não apresenta deformações após sofrer esforços originados pelos veículos.

Na hora de se escolher qual pavimento utilizar em estradas e rodovias é recomendado que se análise o volume de trafego daquele trecho, as técnicas a ser adotada, viabilidade econômica, qualidade dos materiais para a execução, geometria do local, e etc.

7 PATOLOGIAS E CAUSAS

7.1 PATOLOGIAS

DNIT (2004) define que defeito é uma anomalia observada no pavimento, decorrente de problemas na fundação, de má execução ou do uso do pavimento.

A diferença principal entre o pavimento flexível e o pavimento rígido está de fato nas cargas aplicadas, onde o flexível tende a criar um campo de tensão mais concentrado junto ao ponto de aplicação. E no pavimento rígido, seu campo de tensão é mais disperso, se distribui para toda a placa, distribuído por toda a extensão da placa, atenuando assim os esforços sobre o subleito.

O estado de conservação da superfície do pavimento é um dos elementos mais facilmente perceptíveis ao usuário da rodovia, pois os defeitos ou as irregularidades nessa superfície afetam o seu conforto e a segurança ao rolamento do tráfego, bem como diminuem a durabilidade de componentes veiculares. Os defeitos de superfície dos pavimentos asfálticos são os danos ou as deteriorações que podem ser identificados a olho nu.

7.1.1 PAVIMENTO FLEXIVEL

Segundo a norma do DNIT 005/2003 essas são as principais patologias do pavimento asfáltico flexível:

- **Ondulação ou corrugação:** Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento.

Figura 11- Corrugações.



Fonte: Os 15 defeitos em pavimentação flexível, Além da Inércia, 2018.

Principais causas: Falta de estabilidade e retenção de água da mistura asfáltica; excessiva umidade do solo subleito; contaminação da mistura asfáltica, pode ocorrer também onde os veículos aceleram e desaceleram gerando ondas transversais.

- **Panela ou buraco:** Cavidades que se formam no revestimento asfáltico.

Figura 12- Buraco ao longo da via.



Fonte: Autor (2021).

Prováveis causas: Trincas de fadiga é o processo que ocorre devido ao acúmulo das solicitações do tráfego ao longo do tempo, desintegração localizada na superfície do pavimento, deficiência na compactação, umidade excessiva em camadas de solo; falha na imprimação, deficiência de projeto e construtiva.

- **Remendos:** Está relacionado a um defeito em um local de fragilidade na superfície do pavimento. Caracteriza-se pelo preenchimento de buracos ou de qualquer outra cavidade ou depressão com massa asfáltica. Muitas vezes é feito de maneira errônea e ficam um desnível na pista gerando desconforto os usuários da via.

Figura 13- Remendos na via.



Fonte: Autor (2021).

Prováveis causas: Utilização de materiais de má qualidade e a má construção do pavimento, intemperismo, tráfego intenso e pesado.

- **Escorregamentos:** Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.

Para Silva (2008) os veículos são os responsáveis por sua formação quando causam deslizamento ou a deformação da massa asfáltica na área de frenagem.

Figura 14- Escorregamentos na via.



Fonte: Autor (2021).

Prováveis causas: falhas construtivas e de pintura de ligação; limitada inércia do revestimento asfáltico devido à pequena espessura; compactação deficiente das misturas asfálticas ou da porção superior da camada de base; altas temperaturas.

- **Afundamentos:** Derivado de deformações permanentes seja do revestimento asfáltico ou de suas camadas subjacentes, incluindo o subleito, caracterizada por depressão da superfície do pavimento ao longo da via, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação.

Figura 15- Afundamento do asfalto.



Fonte: Técnicas de recuperação de patologias em pavimentos de asfalto, 2017.

- a) Afundamento por consolidação (AC), quando as depressões ocorrem por densificação diferencial, podendo ser localizado quando a extensão não supera 6m, ou longitudinal nas trilhas de roda no caso que exceda 6m de extensão, falha de compactação na construção; problemas de drenagem.
 - b) Afundamentos plásticos (AP), quando as depressões são decorrentes principalmente da fluência do revestimento asfáltico, podendo ser localizado nas trilhas de roda, excesso de ligante asfáltico.
- **Fendas:** aberturas na superfície asfáltica que é perceptível a olho nu com menos de 1,5 m podem ser classificadas como fissuras, quando a abertura é superior à da fissura.

Segundo Paulo Fernando Silva (2008), os automóveis não causam problemas estruturais e sim a redução do atrito, podendo causar acidentes. De acordo com Joana Pinto (2003), os outros fatores para o fendilhamento são as camadas granulares não possuírem capacidade de suporte, a camada de superfície possuir uma rigidez elevada em relação às outras camadas ou os materiais utilizados serem de má qualidade. As fendas representam um dos defeitos mais significativos dos pavimentos asfálticos e são subdivididas entre:

a) - Fissuras:

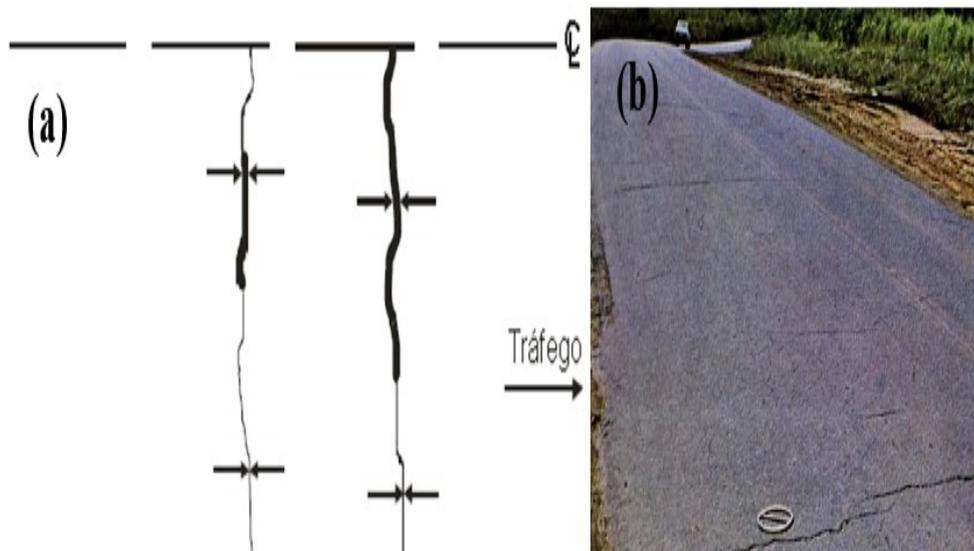
Possíveis causas: má dosagem do asfalto, excesso de finos (ou material de enchimento) no revestimento; compactação excessiva ou em momento inadequado.

DNIT (2006), diz que trincas são devido a defeitos e enfraquecimento da superfície do pavimento, deste modo, surgem as trincas, de modo a permitirem a entrada de água nas camadas inferiores, proporcionando um enfraquecimento estrutural no pavimento, podendo ainda assim gerar mais manifestações patológicas.

Prováveis causas: contração da capa asfáltica causada devido a baixas temperaturas ou ao endurecimento do asfalto; propagação de trincas nas camadas inferiores à do revestimento da estrada.

- b) Trinca transversal: é uma isolada perpendicular em direção ao eixo da via. É um defeito funcional, quando contiver grandes trincamentos causam irregularidade e estrutural se enfraquecer o revestimento do pavimento.

Figura 16- Esquema (a) e fotografias de trinca transversal (b).



Fonte: Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, RIBEIRO, Thiago Pinheiro, 2017.

Principais causas: contração da capa asfáltica causada devido a baixas temperaturas ou ao endurecimento do asfalto; propagação de trincas nas camadas inferiores à do revestimento da estrada.

- c) Trincas longitudinais: ocorrem de formas isoladas e aproximadamente paralelas ao eixo do pavimento.

Figura 17- Trincas longitudinais num determinado trecho.



Fonte: Autor (2021).

Prováveis causas: má execução da junta longitudinal de separação entre as duas faixas de tráfego; recalque diferencial; contração de capa asfáltica devido a baixas temperaturas ou ao endurecimento do asfalto; propagação de trincas nas camadas inferiores à do revestimento da estrada.

- d) Trinca couro de jacaré: elas são um conjunto de trincas interligadas que não apresentam direções predominantes.

Figura 18- Trinca couro de jacaré.



Fonte: Autor (2021).

Prováveis causas: colapso do revestimento asfáltico devido à repetição das ações do tráfego; subdimensionamento ou má qualidade da estrutura ou de uma das camadas do pavimento; baixa capacidade de suporte do solo; envelhecimento do pavimento (fim da vida); asfalto duro ou quebradiço, ação climática, deficiência no teor de ligante asfáltico. Podem aparecer em trilhas de roda, localizadamente, junto às bordas ou de forma generalizada.

- e) Trincas em malha tipo bloco: são formadas devido à retração do revestimento asfáltico. A sua formação é um indicativo de que o asfalto sofreu forte endurecimento devido a sua oxidação ou volatilização dos maltenos, tornando-os menos flexíveis.

Figura 19- Trinca em malha tipo bloco no pavimento.



Fonte: Autor (2021).

Principais causas: contração da capa asfáltica devido à alternância entre altas e baixas temperaturas; baixa resistência à tração da mistura asfáltica.

- **Exsudação:** Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento.

Principais causas: excessiva quantidade de ligante; baixo conteúdo de vazios.

- **Desgaste ou ainda desagregação:** É o desprendimento de agregados da superfície, ou ainda da perda de mástique junto aos agregados.

Figura 20- Desgaste no pavimento.



Fonte: Autor (2021).

Possíveis causas: falhas de adesividade ligante-agregado, água aprisionada e sobreposição em vazios da camada de revestimento, gerando deslocamento de ligante, deficiência no teor do ligante, e ainda os problemas executivos ou de projeto de misturas.

7.1.2 PAVIMENTO RÍGIDO

Os defeitos mais comuns encontrados nos pavimentos rígidos estão normalmente associados ao emprego de técnicas executivas e materiais inadequados, aliados à ausência de uma manutenção rotineira necessitada por esse tipo de estrutura. De acordo com o DNIT (2004):

Alguns tipos de defeitos observados no pavimento rígido são:

- Alçamento de placas: desnivelamento das placas nas juntas ou nas fissuras transversais e eventualmente, na proximidade de canaletas de drenagens ou de intervenções feitas no pavimento.

Figura 21- Alçamento de placas no pavimento de concreto.



Fonte: Técnicas de Restauração de Pavimentos Rígidos (2016).

- Fissura de canto: intercepta as juntas a uma distância menor ou igual à metade do comprimento das bordas ou juntas do pavimento (longitudinal e transversal), medindo-se a partir do seu canto. Esta fissura geralmente atinge toda a espessura da placa;

Figura 22- Fissura de canto.



Fonte: Técnicas de Restauração de Pavimentos Rígidos (2016).

Principais causas: Está associada ao vencimento da resistência por fadiga do concreto na região ou à espessura insuficiente de placa em relação ao tráfego real.

- Placa dividida: é a placa que apresenta fissuras dividindo-a em quatro ou mais partes.

Figura 23- Placa dividida ao longo do pavimento de concreto.



Fonte: Técnicas de Restauração de Pavimentos Rígidos (2016).

- Escalonamento ou degrau nas juntas: caracteriza-se pela ocorrência de deslocamentos verticais diferenciados e permanentes entre uma placa e outra adjacente, na região da junta;
- Falha na selagem das juntas: é qualquer avaria no material selante que possibilite o acúmulo de material incompressível na junta ou que permita a infiltração de água;
- Desnível pavimento – acostamento: é o degrau formado entre o acostamento e a borda do pavimento, geralmente acompanhado de uma separação dessas bordas;
- Fissuras lineares: são fissuras que atingem toda a espessura da placa de concreto, dividindo-a em duas ou três partes. Quando as fissuras dividem a placa em quatro ou mais partes, o defeito é denominado de “placa dividida”;
- Grandes reparos: entende-se como “grande reparo” uma área do pavimento original maior que $0,45\text{m}^2$, que foi removida e posteriormente preenchida com um material de enchimento;
- Pequenos reparos: entende-se como “pequeno reparo” uma área do pavimento original menor ou igual a $0,45\text{m}^2$, que foi removida e posteriormente preenchida com um material de enchimento;
- Desgaste superficial: caracteriza-se pelo deslocamento da argamassa superficial, fazendo com que os agregados aflorem na superfície do pavimento, e com o tempo fiquem com a sua superfície polida;
- Bombeamento: consiste na expulsão de finos plásticos existentes no solo de fundação do pavimento, através das juntas, bordas ou trincas, quando da passagem das cargas solicitantes;
- Quebras localizadas: são áreas das placas que se mostram trincadas e partidas em pequenos pedaços, tendo formas variadas, situando-se geralmente entre uma trinca e uma junta ou entre duas trincas próximas entre si (em torno de 1,5m);

- Passagem de nível: são defeitos que ocorrem em passagens de nível, consistindo de depressões ou elevações próximas aos trilhos;

- Fissuras superficiais (rendilhado) e escamação: são fissuras capilares que ocorrem apenas na superfície da placa, tendo profundidade entre 6 mm e 13mm, que apresentam a tendência de se interceptarem, formando ângulos de 120°. A escamação caracteriza-se pelo deslocamento da camada superficial fissurada, podendo, no entanto, ser proveniente de outros defeitos, tal como o desgaste superficial;

- Fissuras de retração plástica: são fissuras superficiais, com uma abertura inferior a 0,5 mm.

Figura 24- Fissuras de retração plástica.



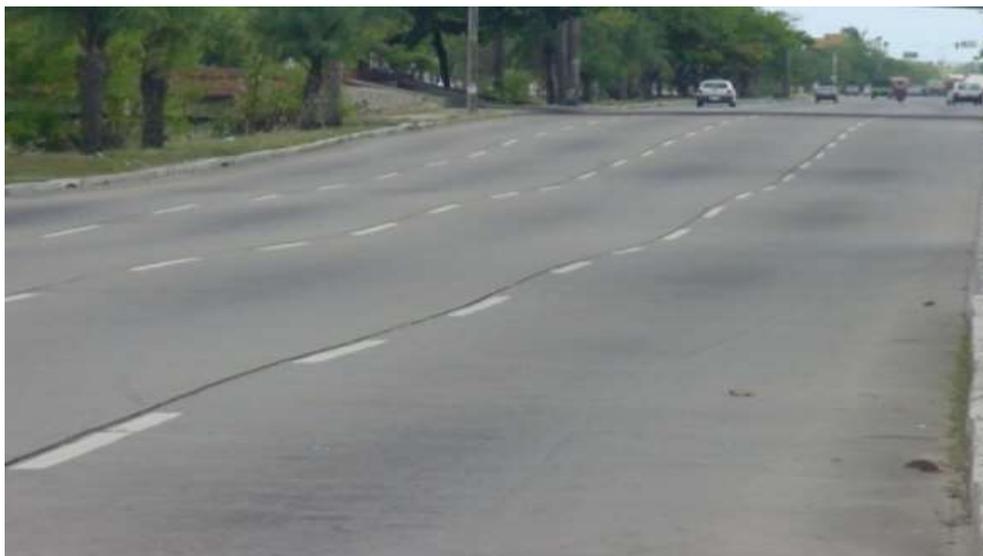
Fonte: Técnicas de Restauração de Pavimentos Rígidos (2016).

- Esborcinamento ou quebra de canto: são quebras que aparecem nos cantos das placas, tendo forma de cunha, que ocorrem em uma distância não superior a 60cm de canto. Este defeito difere da fissura de canto, pelo fato de interceptar a junta num determinado ângulo (quebra em cunha), ao passo que a fissura de canto ocorre verticalmente em toda a espessura da placa;

- Esborcinamento de juntas: o esborcinamento das juntas se caracteriza pela quebra das bordas da placa de concreto (quebra em cunha) nas juntas, com o comprimento máximo de 60cm, não atingindo toda a espessura da placa;

- Placa bailarina: é a placa cuja movimentação vertical é visível sob a ação do tráfego, principalmente na região das juntas;
- Assentamento: caracteriza-se pelo afundamento do pavimento, criando ondulações superficiais de grande extensão, podendo ocorrer que o pavimento permaneça íntegro.

Figura 25 – Assentamento da via.



Fonte: Técnicas de Restauração de Pavimentos Rígidos (2016).

- Buracos: são observadas na superfície da placa, provocadas pela perda de concreto no local, apresentando área e profundidade bem definidas.

Figura 26- Buracos em pavimento rígido.



Fonte: Técnicas de Restauração de Pavimentos Rígidos (2016).

7.2 CAUSAS

Um pavimento, durante seu ciclo de vida, pode manifestar precocemente defeitos (devido a erros ou inadequações) ou a médio ou longo prazo (devido à utilização pelo tráfego e efeitos das intempéries). Estas falhas ou inadequações que levam à redução da vida de projeto, agindo separada ou conjuntamente: erros de projeto; erros ou inadequações na seleção, na dosagem ou na produção de materiais; erros ou inadequações construtivas; erros ou inadequações nas alternativas de conservação e manutenção. Deve-se incluir nessas falhas de prognóstico a dificuldade de prever o excesso de carga, comumente praticado em muitas rodovias brasileiras não controladas por balança ou ainda por não ter uma base completa de quantos veículos irá passar na via ao longo prazo.

Os erros de projeto acontecem por inúmeros motivos, tanto à dificuldade de prever o tráfego real que atuará no período de projeto ou problemas no dimensionamento estrutural, tais como: a incompatibilidade estrutural entre as camadas, gerando fadiga precoce dos revestimentos, falhas no sistema de drenagem, e etc.

A execução de uma pavimentação requer a constante supervisão e orientação do engenheiro civil responsável, além de mão de obra qualificada. Ainda tem se a manutenção, já que quando aproxima se do tempo de vida útil, os defeitos tende, a aparecer.

As causas indicam os motivos típicos que geram a ocorrência do defeito, sem considerar o efeito do tráfego ao longo do tempo. Cada patologia apresenta um tipo de causa por determinado problema podendo ser estrutural, construtivo ou ainda por seleção de materiais.

De acordo com Liedt Bariani Bernucci et al (2006) outros defeitos, apesar de não acarretarem prejuízo nos indicadores do tipo IGG (Índice de Gravidade Global), são também importantes e devem ser considerados para uma análise da solução de restauração: escorregamento do revestimento asfáltico, polimento de agregados, bombeamento de finos, trincas distintas das anteriores como trincas de borda próximas aos acostamentos e parabólicas, falhas do bico espargidor, desnível entre pista e

acostamento, marcas impressas na superfície – marcas de pneus, empolamento ou elevações por expansão ou raízes de árvores, entre outros.

8 FORMAS DE MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO DE VIA

Para a definição de alternativas de restauração é necessário o estudo da condição do pavimento existente. Após conhecer os defeitos e suas prováveis causas, é possível então tomar medidas corretivas e efetuar os reparos em pavimentos de forma adequada, levando em conta tanto os defeitos localizados como os individualizados.

Porém antes de se definir quais técnicas devem ser aplicadas na manutenção ou recuperação, é indispensável à avaliação da parte estrutural e funcional em busca de dados objetivos da superfície do pavimento.

A forma de manutenção deve passar por um objeto de planejamento e projeção para que não haja nenhum tipo de negligência durante o tempo de vida do pavimento.

No caso de patologias já existentes, a reabilitação do pavimento ou restauração do pavimento para ampliar a sua vida útil pode ser feita por fresagem e/ou sobreposição do pavimento existente. Para isso, é recomendável prever o desempenho do pavimento antes da reabilitação para evitar custos e esforços de manutenção.

Para Bernucci et al., (2008) a restauração só é necessária quando existirem problemas estruturais, entretanto, para solucionar patologias funcionais superficiais, são utilizados a execução dos revestimentos a seguir:

- Lama asfáltica (selagem de trincas e rejuvenescimento): É uma associação, de consistência fluida, de agregados miúdos - (areia, que confere boa trabalhabilidade e o pó de pedra que contribui para o aumento da resistência à tração) -, de filler e de emulsão asfáltica. Taxa: 4 kg/m² a 6 kg/m². O filler normalmente empregado é o cimento Portland ou calcário. Antiderrapante, impermeabilizante, rejuvenescedor que ajuda a fixar partículas soltas. Espessura final: 2 mm a 3 mm.
- Tratamento superficial simples ou duplo (selagem de trincas e restauração da aderência superficial);
- Microrrevestimento asfáltico a frio ou a quente (selagem de trincas e restauração da aderência superficial quando existe condição de ação abrasiva acentuada do tráfego);

- Concreto asfáltico (quando o defeito funcional principal é a irregularidade elevada);
- Mistura do tipo camada porosa de atrito, SMA ou misturas descontínuas (para melhorar a condição de atrito e o escoamento de água superficial).

Tanto as manutenções preventivas e corretivas, quanto às técnicas de reparo da superfície utilizam as mesmas estratégias, simplificando, necessitam de selagem das trincas, manutenção da drenagem, camadas de selamento, remendos, tratamentos superficiais, lama asfáltica e etc. Ainda é necessário que se leve em consideração a estação do ano para a realização das mesmas, já que “o asfalto e as misturas asfálticas não aderem bem às superfícies úmidas”.

Caso exista uma patologia estrutural do pavimento ou perspectiva de aumento de tráfego, as alternativas de restauração ou reforço compreendem aquelas que restabelecem ou incrementam sua capacidade estrutural por meio da incorporação de novas camadas (recapeamento), etc.

Figura 27- Faixa de rolamento em processo de recapeamento.



Fonte: Técnicas de recuperação de patologias em pavimentos de asfalto, 2017.

Os tipos de revestimentos geralmente utilizados como recapeamento são o concreto asfáltico, o SMA (como camada de rolamento para resistir a deformações permanentes em vias de tráfego pesado), misturas descontínuas e o pré-misturado a quente. Nestes são empregados cimentos asfálticos convencionais, modificados por polímeros ou modificados por borracha moída de pneus.

Esses tipos de revestimentos são utilizados isoladamente ou combinados:

- concreto asfáltico;
- pré-misturado a quente + concreto asfáltico;
- concreto asfáltico + SMA;
- SMA e outras misturas asfálticas de granulometria descontínua;
- tratamento superficial duplo ou microrrevestimento + concreto asfáltico.

Possíveis soluções e oportunidades de melhoria apontadas pela CNT:

- a) Planejamento de manutenções preventivas com periodicidade adequada para manter as condições mínimas de qualidade e funcionalidade do pavimento.
- b) Adoção de critérios de contratação de obras de execução do pavimento, que considerem a qualidade técnica como fator preponderante sobre o preço.
- c) Atualização do método de dimensionamento utilizado pelo Brasil com adoção de novas técnicas e softwares capazes de dar maior confiabilidade e precisão aos projetos.
- d) Realização da análise do custo do ciclo de vida do pavimento e de ensaios de materiais para seleção dos melhores insumos e alternativas tecnológicas para se empregar nas obras.
- e) Uso de materiais alternativos mais eficientes para pavimentação e maior emprego de técnicas de reciclagem do pavimento.
- f) Maior conscientização sobre a importância do cumprimento das normas técnicas na avaliação dos materiais e na execução das obras.
- g) Implantação de um sistema efetivo de gerenciamento de pavimentos.
- h) Padronização dos critérios adotados para avaliação dos pavimentos e do tipo de manutenção a ser executada.
- i) Integração entre áreas responsáveis pela manutenção e gestão dos pavimentos para otimizar os recursos aplicados.
- j) Adequação da capacidade de fiscalização das obras contratadas pelo Dnit.
- k) Retomada e ampliação da fiscalização de pesagem nas rodovias brasileiras, com a conscientização dos usuários quanto aos impactos do excesso de peso e dos prejuízos decorrentes.

8.1 PAVIMENTO FLEXÍVEL

O DNIT (2006) com o objetivo específico de unificar a terminologia de manutenção rodoviária apresenta a seguir:

Principais atividades (ou tarefas) e problemas típicos de conservação:

Para a realização da conservação periódica é fundamental a limpeza de sarjetas e meio-fios, ainda é recomendado a limpeza manual de valetas para retirada de entulhos e sedimentos acumulados. Limpeza de bueiros, bocas e drenos profundos e superficiais. O corte de vegetação ao longo da via para garantir uma fácil visualização da sinalização vertical.

Conservação rotineira consiste basicamente na selagem de trincas para impedir a penetração da água para as camadas inferiores, e ainda na recomposição de obras de drenagem superficiais, profundas e correntes. As recomposições das sinalizações horizontais e verticais também são de suma importância, etc.

Segundo Rocha e Costa (2009) as trincas longitudinais podem ser reparadas com a aplicação de capa selante, microrrevestimento asfáltico, lama asfáltica e tratamento superficial, possibilitando o rejuvenescimento do pavimento, garantindo uma maior vida útil, impedindo o progresso de deterioração e garantido melhor trafegabilidade.

Conforme Alvarez; Rodgher (2018), para problemas referentes às painéis/buracos, é considerado solução o remendo, afirma ainda, que remendos superficiais são aqueles que necessitam somente de correção na superfície, entretanto, remendos profundos, são em caso que a manifestação patológica atinja camadas inferiores ao do pavimento. No caso do trecho analisado, as manifestações patológicas deste gênero, não necessitam de recuperação profunda, pois as mesmas estão apenas na superfície do pavimento.

De acordo com DNIT (2006) a restauração dos problemas de desgaste pode ser realizada com tratamento asfáltico ou incorporação das camadas, proporcionando rejuvenescimento do pavimento em desgaste.

A recuperação das panelas ou buracos pode ser feita por meio de remendos, desde que bem executados. Ele será superficial se o defeito ainda não atingiu a base, sub-base ou subleito, e será profundo em caso contrário. Será executado após o cumprimento de um corte em retângulo normalmente o no revestimento, formando um ângulo de 90° com a superfície, mas evitando o desmoronamento do revestimento. Em seguida será imprimado todo o local, inclusive nas bordas do corte para selar trincas e depois será aplicado novo pavimento asfáltico, para a recuperação superficial, ou, no caso de recuperação profunda, todas as camadas do pavimento.

Os Remendos são as operações corretivas, com o objetivo de corrigir manifestações de ruínas específicas bem definida e de pequenas dimensões. Tal manutenção tem sido considerada de importância secundária ou relativa.

Segundo o DNIT (2006) deveria se posto em pratica as seguintes manutenções rodoviárias:

- Conservação preventiva periódica;
- Conservação corretiva rotineira;
- Remendos;
- Recuperações superficiais (recargas);
- Reforço estrutural;
- Reconstrução;
- Melhoramentos;
- Ações emergenciais;
- Serviços eventuais;

8.2 PAVIMENTO RÍGIDO

De acordo o DNIT (2010) a manutenção de um pavimento rígido pode ser preventiva, através de procedimentos que preservem a sua condição estrutural, retardando o processo de deterioração (a selagem de juntas e fissuras situa-se nesta categoria), ou pode consistir de reparações localizadas, capazes de restaurar a condição estrutural do pavimento.

A manutenção periódica ou rotineira é aquela que tem o intuito de preservar o pavimento existente, de modo com que ele possa suportar as cargas previstas no

projeto, fazendo limpeza de pistas, resselagem das juntas, realizar pequenos reparos localizados ao longo da via, garantindo uma melhor segurança aos motoristas.

Figura 28 – Trabalhadores realizando limpeza ao longo das vias.



Fonte: Engeplus, 2012.

São considerados reparos localizados a reparação de juntas ou cantos esborcinados, os reparos parciais (abrangendo ou não toda a espessura da placa) e a substituição total da placa.

Ainda, segundo o DNIT (2010):

As relações dos defeitos para fins de recuperação existentes em uma placa de concreto de pavimentação podem ser classificadas das seguintes formas:

- Defeitos que não requerem a remoção da placa:
 - a) Recuperação de juntas: resselagem, esborcinamento.
 - b) Tratamento das fissuras: Fissuras lineares que não atravessarem toda a espessura da placa e as que não atravessarem, ainda tem as fissuras do tipo rendilhamento e de retração plástica.

- Defeitos existentes na superfície da placa: desgaste superficial e escamação acentuada, o esborcinamento ou quabra de canto e buracos de pequena extensão.

Ainda para o processo de reparação, o tempo de execução deve ser o mais breve possível para que não ocorra qualquer tipo de riscos para os usuários, os trechos a serem reparados devem ser curtos para que não aconteçam transtornos. Deve ser evitada mudança na coloração do pavimento, para um conforto visual. E a superfície remanescente necessita de um reparo nivelado, para que não decorra de superfícies irregulares.

Tanto para o pavimento flexível quanto para o rígido, a escolha da técnica adequada deverá ser acompanhada e orientada por um engenheiro responsável, a fim de diagnosticar a real situação e a melhor técnica. Aplicando essas medidas corretamente, espera-se que não apareçam novos defeitos.

9 TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS DE PAVIMENTAÇÃO

Segundo Pinto et al. (2001), todo investimento aplicado à construção de melhores pavimentos obtém como retorno e recompensa índices menores de acidentes, redução de manutenção e conservação de veículos e vias, diminuição do consumo de combustível, redução no tempo de viagem e uma melhoria no conforto dos usuários frequentes da determinada via.

Com isso, a sustentabilidade na pavimentação vem ganhando força nesses últimos tempos, pois quando o pavimento se aproxima do fim da sua vida útil, se vê como uma alternativa a manutenção e reparo, gerando uma inovação tecnológica com um custo benéfico melhor, diante dos pavimentos já utilizados.

Antes de se definir as técnicas que serão empregadas na recuperação ou restauração, é necessária a realização de um estudo que avalie a parte estrutural e a funcional do pavimento, o que fornecerá dados para que se possa avaliar a sua condição de superfície e estrutura. Esses dados servirão para a definição das técnicas apropriadas.

O Whitetopping e o asfalto borracha são métodos utilizados como forma de reparo para os pavimentos flexíveis, sendo alternativas viáveis para a economia.

9.1 WHITETOPPING

9.1.1 HISTÓRICO

Uma maneira de utilizar o concreto de cimento Portland na pavimentação é empregá-lo para recapeamento usando o concreto sobre a malha viária de pavimento flexível existente. Esse método e tecnologia usada primeiramente nos Estados Unidos desde a década de 1920 é chamado de Whitetopping (BALBO, 2009).

O pavimento rígido proporciona maior segurança, conforto e economia, tornando seu emprego ainda mais relevante e vantajoso, não há necessidade de grandes trechos fechados para manutenção, com o tráfego dos veículos fluindo normalmente os índices de acidentes de trânsito não seriam tão elevados e haveria a construção de pistas com maior durabilidade e qualidade.

Esta técnica foi usada pela primeira vez devido ao inverno rigoroso em uma pequena localidade do estado de Indiana, em USA, no ano de 1918, o asfalto estava a ficar completamente deteriorado, por não apresentar uma tecnologia que resisti se a baixíssimas temperaturas sem se degradar. A solução, na época, foi espalhar concreto sobre o revestimento existente. A origem do termo *whitetopping* (“cobertura branca”) vem da execução da camada de pavimento de concreto, de cor cinza clara, com a função de base e revestimento, colocada sobre um revestimento asfáltico existente, que tem cor escura.

A ideia prosperou e revestiu outras ruas e também estradas norte-americanas. Mas não havia um procedimento padrão para o preparo e a aplicação do concreto. Até os anos 1960, a técnica era usada como paliativo para a degradação do asfalto. No começo de 1970, depois de ensaios e pesquisas desenvolvidas em ambiente acadêmico, o estado da Califórnia passou a empregar o pavimento de concreto com o dimensionamento de 175 mm a 225 mm de espessura, criando um padrão para revestimento urbano, estradas rurais e rodovias.

Entre 1977 e 1981, organismos de governo dos Estados Unidos avalizaram o emprego de whitetopping. A confiabilidade fez com que o número de trechos rodoviários pavimentados com concreto sobre asfalto saltasse de 81 estradas em 1982 para 189 estradas em 1993, principalmente nas rodovias norte-americanas conhecidas como farm-to-market (estradas rurais). No Brasil, o melhor exemplo está na BR-290, entre Osório e Porto Alegre, no Rio Grande do Sul. São mais de 100 quilômetros em que o pavimento de concreto foi sobreposto ao asfalto. A substituição do revestimento teve a assessoria técnica da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). Em São Paulo, no trecho SP-103/79, e também em Cuiabá/Mato Grosso na BR-163/364 são empregadas essa técnica.

Figura 29 - Obra no Mato Grosso passando por processo de recuperação.



Fonte: Whitetopping: recuperação em pavimentos flexíveis, Mapa da obra, 2018.

A BR 282 em Santa Catarina possuía um trecho de 36 km para reconstrução e estava avaliada em R\$ 78 milhões. De acordo com Paulo Niebel, coordenador de Desenvolvimento Técnico Infra-Brasil da Votorantim Cimentos, houve uma economia, pois o custo seria mais alto caso a recuperação fosse realizada com pavimento flexível. “Eles conseguiram, nessa proposta, ofertar uma tecnologia mais barata do que a proposta original”. Já no caso da obra da BR 163 no Mato Grosso, a construtora Sanches Tripolini, responsável pela obra por 10 anos, optou pela tecnologia pensando também na questão da manutenção.

Segundo o especialista em Infra-Brasil da Votorantim Cimentos, todas essas duas rodovias constam um tráfego pesado, a BR 163 no Mato Grosso tem um fluxo muito grande de veículos, pois recebe toda a carga do agronegócio. Já a rodovia ligada a Santa Catarina, a BR 282, tem conexões com as fábricas de celulose.

Nos Estados Unidos, o pavimento em concreto tem o estímulo da American Concrete Pavement Association (ACPA). Desde 1998, o organismo passou a incentivar pesquisas com o whitetopping ultrafino (UTW). O material é reforçado com fibras, o que permite aumentar sua resistência e reduzir a espessura para até 50 mm.

Tabela 3- Exemplos de Whitetopping nos Estados Unidos.

Exemplos - WT							
Estado	Cidade	Via	Construção	Tipo de WT	Espessura (cm)	PSR	Desempenho (1989 / 1990)
CA	Los Angeles	US-101	1966	simples	17,8	4,1	excelente
CA	Orange Co.	CA-11	1966	simples	20,3	3,8	bom
OR	Salem a Portland	I-5	1970	PCCA	20,3	3,8	Bom
			1972	PCCA	20,3	4,1	excelente
			1973	PCCA	20,3	4,3	excelente
			1975	PCCA	20,3	4,1	excelente
IA	Correctionville	Co.L-36	1971	simples	15,2	3,0	regular
IL	Lasalle	Plank Rd.	1974	simples	12,7	3,7	bom
IA	Stuart	I-80	1981	simples	25,4	3,9	bom
MN	Ohlmsted Co.	Co.10	1982	simples	15,2	4,0	excelente
NE	Stromsburg	US-81	1982	simples	22,9	4,0	excelente
TX	RoyceCity	I-30	1986	Simples com BT	27,9	4,3	excelente
NV	Las Vegas	I-15	1990	simples	26,7	4,8	excelente

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland, Restauração de pavimentos com soluções a base de cimento, 2007.

9.1.2 CONCEITUAÇÃO

Whitetopping é um pavimento de concreto de cimento Portland superposto a um pavimento flexível existente, tendo este último à função de Sub-Base. Como nos pavimentos de concreto simples usuais, as tensões solicitantes são combatidas tão somente pelo próprio concreto, não havendo nenhum tipo de armadura distribuída. Não se considera como armadura, neste caso, eventuais sistemas de ligação ou de transmissão de carga entre as placas limitadas pelas juntas longitudinais e transversais e as armaduras destinadas a combater a fissuração por retração (DNIT, 2004).

É o método de reabilitação de pavimentos asfálticos com o uso do concreto de cimento portland, que é aplicado diretamente sobre os revestimentos deteriorados, com ou sem camadas de nivelamento, servindo como uma espécie de sub-base para a aplicação. De modo geral, exige poucos serviços de reparação prévia do pavimento asfáltico existente. Geralmente, contém 10 cm de espessura que é para garantir a qualidade e durabilidade da via, pode ser executado sobre pavimentos flexíveis com qualquer estado de degradação, ainda permite a realização da restauração de 1 km de rodovia por dia.

De acordo com Santos (2015), Whitetopping é uma tecnologia que permite agregar pavimento rígido ao asfalto. Trata-se da técnica de reabilitação de pavimentos com revestimento asfáltico (flexíveis, invertidos ou semirrígidos) em que o pavimento de concreto é aplicado diretamente sobre eles, com ou sem camadas de nivelamento, conforme os procedimentos clássicos de projeto e construção dos pavimentos rígidos.

9.1.3 PRINCIPAIS ETAPAS DE EXECUÇÃO

- É feita uma avaliação das condições do pavimento flexível, ensaios para a avaliação da condição de suporte de carga do pavimento a ser recuperado.
- Preparação da superfície, se necessário, tapando buracos (“panelas”) existentes e fresando as regiões que apresentem grandes deformações, como trilhas de rodas excessivas.

Figura 30- Diretrizes para o preparo prévio do pavimento asfáltico.

Tipo de defeito	Preparo prévio requerido
Trilha de roda > 50mm	Fresagem ou nivelamento
Trilha de roda < 50mm	Nenhum
Deformação plástica excessiva	Fresagem
“Panelas”	Enchimento

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland, Restauração de pavimentos com soluções a base de cimento, 2007.

- Escolha e definição dos equipamentos que serão utilizados, em função das peculiaridades da obra e das especificações contidas no Projeto Executivo de Engenharia.
- Definição dos materiais que serão utilizados, incluindo aí os estudos de tecnologia do concreto. No caso de execução com equipamento de pequeno ou médio porte, o concreto é fornecido pré-misturado, em caminhões betoneiras, devendo atender às especificações do projeto. No caso da execução com vibroacabadoras de formas deslizantes, o concreto é produzido em usinas dosadoras e misturadoras, de grande porte, e fornecido em caminhões basculantes.
- Preparo da fundação (subleito e sub-base), para o caso de pavimento encaixado (*inlay*), ou do pavimento asfáltico existente (*whit topping* tradicional), se for o caso; Assentamento das linhas guias,

para o caso das vibroacabadoras de formas deslizantes, ou das formas metálicas fixas, para o caso da execução com acabadoras de cilindro giratório ou de réguas vibratórias;

- O concreto deve ser aplicado sobre a superfície pré-lavada com água limpa e depois adensado.
- Colocação das barras de transferência e de ligação;
- Lançamento, espalhamento, adensamento e acabamento do concreto;
- Texturização superficial;
- Cura e proteção do pavimento acabado;
- Serragem e selagem das juntas.
- Vale ressaltar ainda que, havendo necessidade de liberação rápida ao tráfego, pode-se utilizar o concreto de alta resistência inicial, configurando a tecnologia *fast track* de liberação rápida do concreto, já empregada em obras de pavimentação urbana de concreto no Brasil.

9.1.4 VANTAGENS

Tem uma maior durabilidade, conseqüentemente gera mais economia, pois os custos de manutenção são mínimos, já que dispensa reforços estruturais periódicos. Os pavimentos de concreto também podem gerar economia de combustível e de material rodante, em razão da menor resistência à rolagem e de a temperatura do pavimento de concreto ser mais branda do que a temperatura de outros tipos de pavimento.

Além de reaproveitar toda a infraestrutura do pavimento existente, é o comportamento do pavimento restaurado quanto à sua durabilidade, que é idêntica a um pavimento de concreto novo, com expectativa de vida de serviço de 30 anos no mínimo, sendo totalmente reciclável após sua vida útil, com mínimas necessidades de manutenção.

Existe um amplo domínio brasileiro sobre a tecnologia de concreto, o que é disseminado nas empresas construtoras. Os equipamentos de formas deslizantes de última geração, disponíveis no país, têm alto rendimento e produtividade, possibilitando a produção diária de grandes extensões de pista, com largura total, caracterizando grande rapidez de execução.

A preparação da superfície deteriorada é mínima, reparando-se principalmente “panelas” existentes ou fresando a superfície (no caso de existência de trilhas de roda consideráveis), usando concreto comum. Sendo colocado diretamente sobre o pavimento asfáltico existente, requerendo a preparação da superfície somente em estágios avançados de degradação, esta técnica é ideal para tráfego pesado, intenso e repetitivo. Elimina a reflexão de trincas.

A aderência dos pneumáticos à superfície do pavimento de concreto é favorecida pela existência das ranhuras artificiais, evitando aquaplanagem e proporcionando menor distância de frenagem, garantindo uma sensação maior de segurança aos usuários. O pavimento de concreto também tem excelente capacidade de reflexão da luz, requerendo até 60% menos iluminação em trechos urbanos, o que propicia melhores condições de visibilidade ao motorista e aumentando o conforto ao longo do tráfego, principalmente à noite ou em condições climáticas adversas. O conforto de rolamento, por sua vez, deriva do fato de os pavimentos de concreto não sofrerem deformação plástica e, portanto, não formarem trilhas de roda, além da excelente terminação superficial.

O pavimento de concreto é um aliado efetivo da proteção ambiental, pois: impede a contaminação ao lençol freático, permite economia de combustível e reduz a emissão de gases geradores do efeito estufa, é totalmente sustentável. Além disso, na fabricação do cimento portland, seu principal componente, é possível substituir parcialmente combustíveis fósseis por combustíveis alternativos.

O emprego do *whitetopping* é técnica consagrada de reabilitação de pavimentos asfálticos, dados os excelentes resultados obtidos com as obras já executadas, sendo a sua construção regida por procedimentos normatizados, conforme detalhado na norma DNIT 068/2004 – ES – Pavimento Rígido – Execução de camada superposta de concreto do tipo *whitetopping* por meio mecânico – Especificação de Serviço.

9.2 ASFALTO DE BORRACHA

Como pode ser visto as possibilidades de reutilizar e reciclar os pneus inservíveis assegura um desenvolvimento de novas tecnologias, para prevenir a

contaminação do meio ambiente, segurança e conforto, este conjunto de ações devem motivar as administrações públicas. A utilização de pneumáticos triturados na construção de estradas e outras obras públicas podem empregar em massa todos os resíduos de pneus inservíveis disponíveis, sem necessidade de recorrer a processos de incineração.

A construção civil é definida pela modificação da paisagem e pelo consumo de recursos naturais renováveis e não renováveis. Esses processos acabam desencadeando a geração de resíduos sólidos e emissões de gases à atmosfera, causando, assim, impactos sobre o meio ambiente, à qualidade de vida da população e à infraestrutura existente. A pavimentação asfáltica, ao longo do tempo, vem buscando melhorias por meio dos materiais utilizados para suprir as necessidades, tais como: maior durabilidade, resistência, qualidade e redução de custos (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 1998).

As avenidas se encontram em estados precários por conta dessa má pavimentação junto com a falta de uma manutenção adequada. As chuvas junto a falta de um planejamento de manutenção adequada para este determinado local, colaboram para a deterioração dos pavimentos. Outro motivo desse desgaste é por conta do crescimento acelerado da população. Esse fenômeno, conseqüentemente, aumentou a necessidade dos meios de transportes sobre os pavimentos de pouca qualidade.

A pavimentação asfáltica precisa ser reforçada, pois a utilização convencional não está suprimindo as necessidades das estradas e rodovias, então uma das formas de reforçá-la seria a utilização do asfalto-borracha, por meio da reciclagem dos pneus descartados para adicioná-los no processo de pavimentação (SOUZA, 2018).

Figura 31- Ciclo de vida dos pneus.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente, Zilda Maria Faria Veloso.

A pavimentação asfáltica empregando asfalto-borracha de pneus inservíveis tem sido uma das áreas mais estudadas e consideradas como alternativa em potencial para a solução do passivo ambiental, causado por pneus inservíveis descartados de forma inadequada. Tal fato é devido basicamente a dois fatores: a possibilidade de utilização em larga escala de um grande volume de pneus inservíveis e a melhoria nas características técnicas da mistura asfáltica produzida com adição da borracha de pneu moída (SPECHT, 2004).

Figura 32- Asfalto modificado por Borracha (AMB) .



Fonte: ASFALTO BORRACHA NA PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS, Romanelli.

9.2.1 HISTÓRICO

Mesmo que os resíduos reciclados não possam ser totalmente usados na construção civil, o tratamento adequado gera diferentes benefícios. A reciclagem permite que eles sejam convertidos em produtos parecidos com os originais, que é o caso do uso do asfalto-borracha ou asfalto-ecológico. Este processo foi criado nos Estados Unidos em 1960, por Charles MacDonald, mas só chegou ao Brasil em 2001, desde então vem sendo muito utilizado pela engenharia no Brasil e nos demais países da América Latina.

O engenheiro de materiais Charles McDonald em seu trailer utilizou uma mistura de pó de pneu com asfalto para selar trincas no teto do seu veículo. Ele observou que, com o passar do tempo, a mistura emborrachada não oxidava, ao contrário daquelas com asfalto convencional. O engenheiro, então, experimentou a mistura de pó de pneu e asfalto quente para os usuais serviços de tapa-buracos, que ficou conhecido como Overflex.

Conforme Martins, (2004), uma das características e vantagens do asfalto como material de construção, engenharia e manutenção é a sua grande versatilidade. Apesar de ser um material semi-sólido a temperaturas normais, o asfalto pode ser liquefeito pela aplicação de calor.

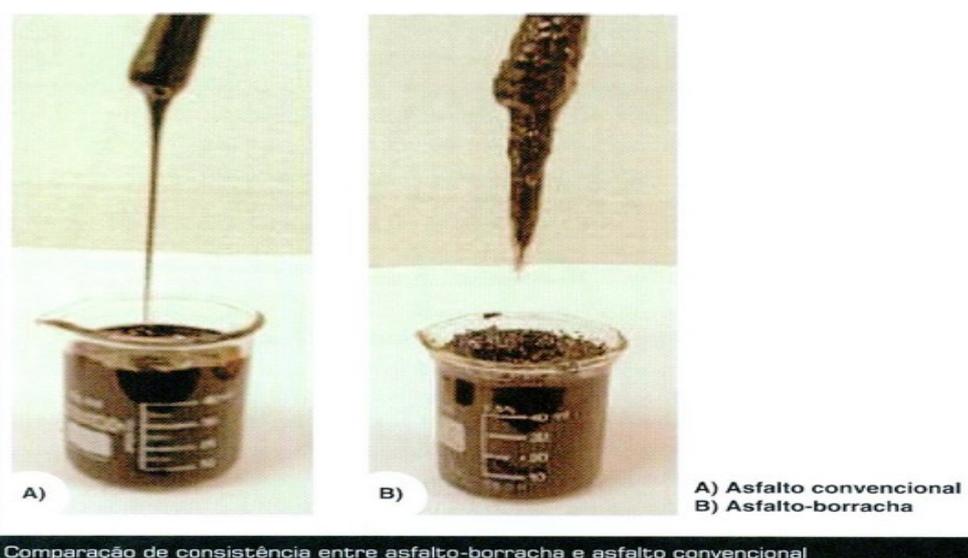
Conforme Pivoto (2007), a borracha utilizada no ligante asfalto-borracha pode ser derivada de pneus de automóveis ou caminhões. Normalmente, pneus de automóveis tem em sua composição algo entre 16 a 20% de borracha natural e de 26 a 31% composto de borracha sintética, ao mesmo tempo os pneus de caminhões tem em sua composição algo em torno 31 a 33% de borracha natural e de 16 a 21% de borracha sintética.

Hoje, as misturas asfálticas com borracha, também é conhecido como AMB – asfalto modificado por borracha são, normalmente, produzidas com restos ou resíduos de borracha e são obtidas por meio de várias técnicas, incluindo o processo seco e úmido. Essas misturas podem conter aditivos ou modificadores como diluentes e óleos, entre outros.

O pó do pneu pode ser incorporado por via úmida onde à modificação da pasta de asfalto de cimento com 5% de modificador a uma temperatura elevada, ou ainda por via seca que inclui a mistura de partículas de borracha com agregados antes da adição ao asfalto com uma massa do ligante de mais ou menos 1,5%.

Essa mistura é classificada como uma reação e forma um composto chamado asfalto-borracha (asphalt-rubber), com propriedades reológicas diferentes do ligante original, podendo ainda ser incorporados aditivos para ajustar a viscosidade da mistura (diluentes). O grau de modificação do ligante depende de vários fatores, incluindo o tamanho e a textura da borracha, a proporção de cimento asfáltico e borracha, o tempo e a temperatura de reação, a compatibilidade do ligante com a borracha (polaridades), a energia mecânica durante a mistura e reação e o uso de aditivos.

Figura 33- Comparação entre asfalto-borracha e asfalto convencional.



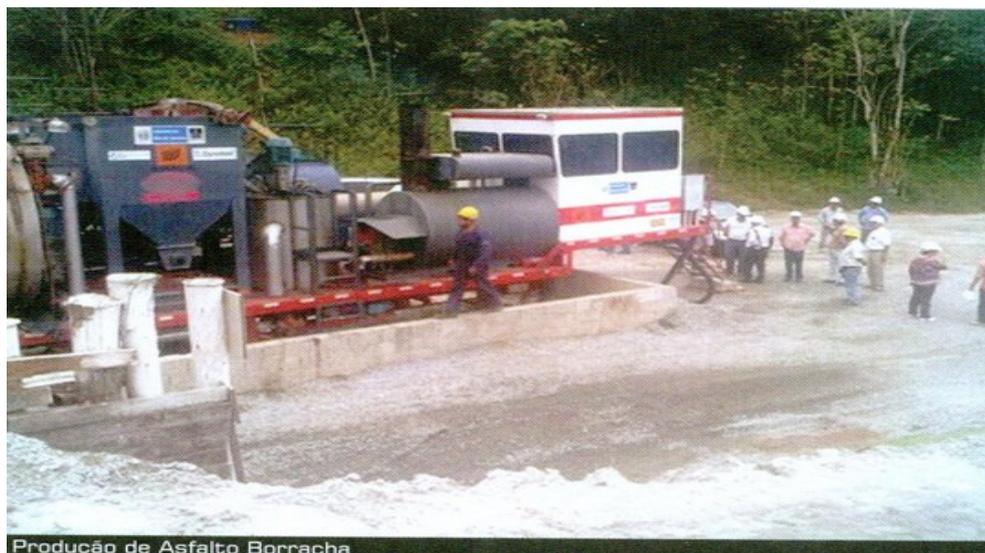
Fonte: Do Pneu à Industria. Benefícios da utilização de borracha Granulada em obras públicas. Sinicesp, 2013.

A borracha triturada foi utilizada em grande escala no Japão para elaborar colchões de ferrovia, a borracha na estrada modifica as características do pavimento suprimindo as vibrações e a contaminação de ruídos. Esses colchões são colocados entre o concreto e os dormentes. Entre 1975 e 1981, empregaram-se em torno de 70.000 toneladas de borracha triturada para colocar uma tira de colchoamento de 131 km nas vias de ferrovia.

A primeira obra feita de asfalto de borracha projetada no Brasil foi em Minas Gerais, na linha que liga Belo Horizonte ao aeroporto de Confins.

Somente no início da década de 2000, que o material começou a ser adotado em vias muito conhecidas do Brasil, como no Rodoanel (SP), na Avenida Atlântica (RJ), nas vias internas da Usina de Itaipu (PR), na Boulevard Arruda (MG) e na Avenida Beira-Mar Norte (SC).

Figura 34- Produção de asfalto-borracha.



Fonte: Do Pneu à Indústria. Benefícios da utilização de borracha Granulada em obras públicas. Sinicesp, 2013.

9.2.2 CONCEITO

O uso do asfalto com borracha começou como um meio de resolver o problema da eliminação de estocagem de pneus de borracha, onde no Brasil é proibida a disposição em aterros desde 1999. Para evitar os possíveis danos gerados pelo acúmulo de materiais descartados de maneiras errôneas o principal intuito é a utilização de pavimentos sustentáveis, material esse constituído basicamente por mistura do ligante com borracha triturada de pneus e compactada a quente.

Os cientistas têm buscado maneiras de usar resíduos com a finalidade de obter asfaltos mais resistentes, investindo em matérias-primas retiradas do lixo. Este tipo de asfalto é indicado para revestir pavimentos de rodovias e vias de cidades com volumes de tráfegos altíssimos, também permite aplicações especiais, e como elemento redutor

de ruídos sobre pavimentos de concreto. Estima-se que há cerca de 8 (oito) mil quilômetros de asfalto ecológico.

O benefício da pavimentação asfáltica com a borracha retirada dos pneus é superior quando comparado à pavimentação convencional retirada do petróleo e isso têm motivado empresas nacionais e concessionárias de rodovias privadas a utilizar os asfaltos a partir da reciclagem dos pneus descartados. A manutenção do pavimento asfáltico feita com a borracha dos pneus é menor, pois a sua durabilidade e qualidade é superior ao convencional (FACCIO, 2017).

Os pneus descartados precisam ser coletados de forma correta, pois a falta de informação e de conscientização influencia no descarte impróprio de um material que possui um tempo indefinido para se decompor na natureza (SILVA, 2013).

Existem experiências em diversos países, relativas à mistura de borracha granulada com os betumes asfálticos ou com os preenchimentos, modificando, portanto, as características do pavimento normal.

Durante o processo de fabricação modificam-se as características do material, onde o pneu é triturado e transformado em pó, após a separação do aço, o mesmo é misturado com o cimento asfáltico de petróleo (CAP), e utilizado na preparação do asfalto. Segundo Di Giulio (2007), é empregado cerca de mil pneus por quilômetro, o que diminui o depósito dos pneus em aterros ou fora deles.

A ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos) apoia o uso do asfalto-borracha para as vias, ruas e estradas do país, por:

- Oferecerem maior durabilidade, sendo 40% mais resistente que o pavimento comum, reduz o custo de manutenção.
- Evita derrapagens e reduz o spray em dias de chuvas, garantindo estradas mais seguras.
- Diminuição da emissão dos poluentes, etc.

9.2.3 PROCESSO DE EXECUÇÃO

A falta de informação leve com que o descarte de pneus seja feito da maneira incorreta, conforme pode se observar na imagem. Existem possíveis maneiras de realizar este descarte, porém a maneira mais consciente é para a reutilização em pavimentos.

Figura 35- Destino final dos pneus inservíveis.

REUTILIZAÇÃO DOS PNEUS



Fonte: PINTO, Deborah Ewely Batista, MATUTI, Bruna Barbosa, 2019.

Os pneus são coletados num ponto seletivo para que possa atuar no ligante asfáltico. Os mesmos são cortados e colocados em sacos de borrachas soltas e trituradas para que possam ser adicionadas ao asfalto enquanto os silos são aquecidos a cerca de 400 °C. Após isso, são misturados os agregados junto da borracha modificada à mistura asfáltica, e carregadas para os caminhões que irá transportar até a obra que será executada.

Figura 36- Processo de mistura estocável do Asfalto Borracha. Fonte: Do Pneu à Industria.



Fonte: Do Pneu à Industria. Benefícios da utilização de borracha Granulada em obras públicas. Sinicesp, 2013.

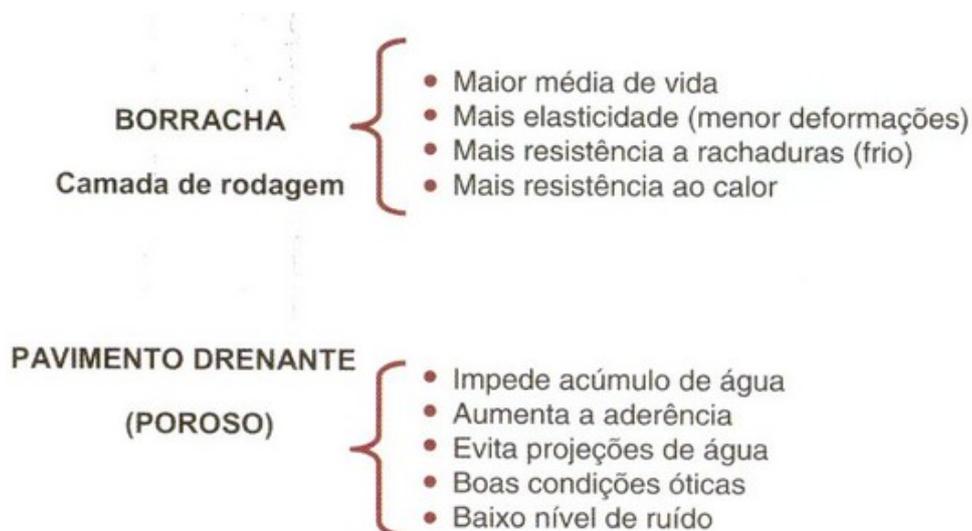
O processo de pavimentação convencional se inicia com a terraplenagem da área do terreno onde será recebido o asfalto, para tanto, é necessário que ele seja compactado e adaptado para suportar as camadas que virão. A primeira camada é o subleito, um solo natural que é endurecido e misturado com outros solos até que se crie estabilidade. A segunda camada é chamada de sub-base. Possui cerca de 20 cm e é composta por pedregulhos e cascalhos. Logo após, há a terceira camada que também composta de cascalho e pedregulhos, mas de forma compactada, pois apenas depois é implantada a capa de asfalto que transmitirá maciez na finalização e também impermeabilizará o asfalto, impossibilitando que a água das chuvas provoque erosão na pavimentação (CONTESINI, 2017).

O asfalto borracha deve tardar a ser utilizada no Brasil, a causa é o custo, pois em vista do asfalto tradicional, este é 30% mais caro. Ainda que a sua fabricação seja mais cara, o asfalto feito com a mistura da borracha é mais durável do que o tradicional, fazendo, assim, com que o custo da sua manutenção e recuperação seja mais demorado, dessa forma, precisa ser compensado com o custo da sua produção. O asfalto-borracha custa R\$ 1,4 mil por tonelada, enquanto o asfalto tradicional custa R\$ 1,1 mil.

9.2.4 VANTAGENS

O processo seco apresenta algumas vantagens em relação ao processo úmido, principalmente em relação aos custos envolvidos e à maior quantidade de borracha que se utilizara.

Figura 37- Comparação do asfalto-borracha e pavimento drenante.



Fonte: Do Pneu à Indústria. Benefícios da utilização de borracha Granulada em obras públicas. Sinicesp, 2013.

A redução do envelhecimento, pois existem antioxidantes que aumentam a flexibilidade, aumentando o ponto de amolecimento por ser uma junção de mistura asfáltica com ligante asfáltico. Dado o exposto a reciclagem é a maneira mais econômica e vantajosa, sendo possível pavimentar de forma sustentável, basta a construção civil juntamente com a sociedade, contribuírem com a redução de resíduos e/ou para o reaproveitamento dos mesmos. Além de reduzir a quantidade de lixo acumulado, algo positivo para o meio ambiente, o objetivo também é aumentar a durabilidade das estradas e o conforto delas.

Testes científicos comprovam que o pavimento realizado por meio da reciclagem de pneus tem duração de três a cinco anos. É retirada da natureza uma média de 21 mil pneus por ano, contribuindo, ainda mais, para com o meio ambiente, pois diminui o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado desses objetos.

Traz, também, saúde para a população, pois pneu acaba acumulando água de chuva, e podem ainda ser queimados a céu abertos causando emissão de poluentes.

Figura 38- Descarte incorreto de pneus inservíveis.



Fonte: Pneus são descartados próximo ao canal Santa Bárbara, Mengue, Angélica, Prefeitura municipal de Pelotas, 2018.

Além de o asfalto borracha ser ecologicamente correto para o meio ambiente, possui maior resistência à deformação, afundamentos e trincamentos, tem a maior aderência, o maior tempo da vida, a melhor drenagem, e, ainda, possui o menor custo final de manutenção, diferente do asfalto convencional que possui problemas referentes à trincamentos, afundamentos, deformações, assim como possui um valor muito alto de manutenção. Avaliando isso, nota-se que a melhor alternativa seria a adesão ao asfalto-borracha (VELOSO, 2015).

Figura 39- Custo de manutenção do asfalto convencional e asfalto borracha.



Fonte: PINTO, Deborah Ewely Batista. MATUTI, Bruna Barbosa. **Utilização da borracha no pavimento asfáltico como melhoria nas pistas de rolamento**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 05, Vol. 03, pp. 72-81 Maio de 2019. ISSN: 2448-0959

10 CONCLUSÃO

Um dos principais intuitos deste trabalho foi para adquirir um conhecimento sobre os tipos de patologias, que são defeitos de uma anomalia encontradas nos pavimentos flexíveis e rígidos, foi proposto um comparativo entre os mesmos para observar qual seria o ideal para a via, levando em conta as vantagens técnicas e econômicas para a implantação.

O pavimento é como uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas. Pavimentar é uma obra civil que necessita antes de tudo, analisar as condições operacionais para o tráfego, para fornecer aos usuários e seus veículos conforto e segurança, através da máxima qualidade e do baixo custo. Buscando sempre que o possível aproveitamento de materiais locais para as obras, para garantir um ótimo desempenho na otimização de custos operacionais e de manutenção ao longo do serviço desta infraestrutura social.

No Brasil, ainda percebe-se diversos fatores que influenciam no surgimento de patologias nos pavimentos flexíveis. Um deles, talvez o mais significativo, é o fato de ser o maior modal rodoviário, o que faz com que as rodovias fiquem sobrecarregadas. Outro fator é a baixa fiscalização do peso das cargas transportadas, materiais de má qualidade, etc. A pavimentação rígida tem se mostrado ser de grande importância ao longo desses anos para as vias, pois permite métodos de recuperação ecologicamente correto para o meio ambiente, são mais viáveis e duráveis em vista do pavimento flexível.

Através desses dados percebe-se que é necessária para a execução de um pavimento a constante supervisão de um engenheiro civil responsável, mão de obra qualificada, materiais de qualidade, manutenção antes do fim da vida útil fazendo um estudo da condição do pavimento e suas prováveis causas para se tomar medidas corretivas. Não cumprir com estas necessidades causam inúmeros defeitos ou irregularidades decorrentes de problemas na fundação, entre outros afetam o conforto do usuário, acarretando em custos maiores na manutenção de veículos, aumento no consumo de combustível e no tempo de viagem, acidentes, entre outros. As técnicas sustentáveis de pavimentação estão ganhando cada vez mais força por assegurarem economia, conforto e por diminuir os impactos ambientais, com isso estão conquistando cada vez mais espaço na área da construção civil.

11 REFERÊNCIA

ABNT- NBR/7207/1982- Terminologia e Classificação de pavimentação.

ANDRADE, Prof. Mário Henrique Furtado. **INTRODUÇÃO À PAVIMENTAÇÃO. TT 051- PAVIMENTAÇÃO.** UFPR- UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Pavimento de Concreto.** 4º Encontro técnico de 2007 DER/PR. 9 de agosto de 2007. Curitiba- Paraná.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **WHITETOPPING EM CINCO PASSOS.** São Paulo. 2015.

AZAMBUJA, Andrey Reichelt. **Pavimentos asfálticos: análise de patologias na repavimentação de trechos devido a obras de rede de esgoto sanitário.** Universidade federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia Departamento de Engenharia Civil. Porto Alegre. Dezembro de 2019.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica:** materiais, projeto, e restauração. Oficina de Textos, v. 3, 2015.

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

BRASIL, Departamento Nacional de Infra-Estrutura De Transportes. **Pavimento rígido - Água para amassamento do concreto de cimento Portland - Ensaio químicos - Método de ensaio.** NORMA DNIT 036/2004 - ME DNIT.

BRASIL, Departamento Nacional de Infra-Estrutura De Transportes. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Terminologia.** DNIT 005/2003– TER. Rio de Janeiro: DNIT, 2003.

BRASIL, Departamento Nacional de Infra-Estrutura De Transportes. **Pavimento Rígido - Execução de camada superposta de concreto do tipo whitetopping por meio mecânico - Especificação de serviço.** DNIT 068/2004-ES.

BRASIL, Departamento Nacional de Infra-Estrutura De Transportes. **Pavimentos flexíveis – Recuperação de defeitos em pavimentos - Especificação de serviço /2009 NORMA DNIT_____ - ES**

Bonafé, Gabriel. **Asfalto-borracha garante vias mais seguras e duráveis.** AECWEB. [s.d.] Disponível: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/asfaltoborracha-garante-vias-mais-seguras-e-duraveis/15935>> Acesso em: 30 de abril de 2021.

CARVALHO, Marcos Dutra. **Técnicas de Restauração de Pavimentos Rígidos.** Disponível em:<<https://www.slideshare.net/GabriellaRibeiro7/tcnicas-de-restaurao-de-pavimentos-rgidos>>Acesso em: 29 de abril de 2021.

CARVALHO, Marcos Dutra. **Pavimentação com Sustentabilidade. PREMISSAS DE PROJETO DO PAVIMENTO DE CONCRETO.** Vias concretas. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/10221886-Pavimentacao-com-sustentabilidade-premissas-de-projeto-do-pavimento-de-concreto.html>> Acesso em: 30 de abril de 2021.

CAVA, Felipe. **Da Rocha ao Asfalto: A História da Pavimentação. Além da Inércia.** 2019. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2019/03/13/da-rocha-ao-asfalto-a-historia-da-pavimentacao/>. Acesso em: 19 abr. 2021.

CONSELHO NACIONAL DE TRANSPORTE . **Pesquisa CNT de rodovias 2019.CNT**. 2019. Disponível em: Acesso em: 29 abr. 2021.

CONSELHO NACIONAL DE TRANSPORTE, CNT. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** – Brasília, 2017. 160 p.: il. color. ; gráficos.

DIAS, Elias Guilherme Câmara. **ESTUDO DO SISTEMA DE PAVIMENTAÇÃO WHITETOPPING NA RECUPERAÇÃO DE RODOVIAS**. P.98. Palmas - TO 2016. Centro Universitário Luterano de Palmas.

Figueiredo Neto, Norton de. **Projeto estrutural de pavimento flexível para Porto do Açú**. 2019. xii, 73 p.:il.; 29,7 cm. Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Civil.

FILHO, José Moacir de Mendonça; ROCHA, Eider Gomes de Azevedo. **Estudo Comparativo entre Pavimentos Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 06, Vol. 02, pp. 146-163, Junho de 2018. ISSN:2448-0959.

HISTÓRIA do rodoviarismo. DNIT. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/historico/#A%20Primeira%20Estrada%20de%20Rodagem%20do%20Brasil> . Acesso em: 27 abr. 2021.

IVA, B.G; Mattos, I.C; Reynoso, W.R. **COMPARATIVO: PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA E FLEXÍVEL PARA APLICAÇÃO EM UMA VIA**. Semana acadêmica. Universidade Anhanguera Uniderp.

José Eudes Marinho da Silva, Luiz Antonio Vieira Carneiro*. **Pavimentos de concreto: Histórico, tipos e modelos de fadiga**. Seção de Engenharia de Fortificação e Construção, Instituto Militar de Engenharia, Rio de

Janeiro/RJ, Praça General Tibúrcio, no 80, 3o andar, SE/2, Bairro Praia Vermelha/Urca, CEP 22290-270, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

LEÃO, Luiz Felipe Carneiro. **Do Pneu à Estrada. Benefícios da utilização de borracha granulada em obras públicas.** Edição nº8. São Paulo. Sinicesp. 24 de julho de 2013.

LUDWING, Amanda Garcia. **BR-101 receberá trabalhos de limpeza e conservação de pistas.** Engeplus. 30/12/2012. Disponível em: <<http://www.engeplus.com.br/noticia/geral/2012/br-101-recebera-trabalhos-de-limpeza-e-conservacao-de-pistas>>. Acesso: 01/07/2021.

MOTA, Gabriel Luan Paixão. **Técnicas de recuperação de patologias em pavimentos de asfalto.** LinkedIn. 23 de janeiro de 2017. Disponível em: <[OLIVEIRA, André Borin de. **RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS: Um estudo de caso comparativo entre Microrrevestimento Asfáltico a Frio MRAF e Tratamento Superficial Duplo TSD.** UNIVERSIDADE PARANAENSE- UNIPAR.2018.](https://pt.linkedin.com/pulse/t%C3%A9cnicas-de-recupera%C3%A7%C3%A3o-patologias-em-pavimentos-paix%C3%A3o-mota#:~:text=Segundo%20Rocha%20(2010)%20as%20t%C3%A9cnicas,j%C3%A1%20descritos%20no%20item%20anterior.&text=A%20recupera%C3%A7%C3%A3o%20das%20panelas%20ou,remendos%2C%20desde%20que%20b em%20executados.> Acesso: 29 de maio de 2021.</p></div><div data-bbox=)

PINTO, Deborah Ewely Batista. MATUTI, Bruna Barbosa. **Utilização da borracha no pavimento asfáltico como melhoria nas pistas de rolamento.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 05, Vol. 03, pp. 72-81 Maio de 2019. ISSN: 2448-0959.

PINHEIRO, Igor. **AS PATOLOGIAS MAIS COMUNS NAS ESTRADAS.** InovaCivil. 2019. Disponível em: <

<https://www.inovacivil.com.br/as-patologias-mais-comuns-nas-estradas/>. Acesso: 27 de novembro de 2020.

RIBEIRO, Thiago Pinheiro. **Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 1, p. 27, 2017.

ROCHA, Carla. **Tipos de pavimentos para vias públicas . Mapa da obra**. 2020. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/tipos-de-pavimentos/>. Acesso em: 29 abr. 2021.

ROCHA, J.P.; Ferreira, L.G.C. M.; Borba, F.V. **Diagnóstico de Patologias encontradas em pavimentos rodoviários flexíveis e semirrígidos**. Enciclopédia Biosfera. Dezembro de 2019.

SANCHES, F. G.; GRANDINI, F. H. B.; JUNIOR, O. B. **Avaliação da Viabilidade Financeira de Projetos com Utilização do Asfalto-borracha em Relação ao Asfalto Convencional** 2012. 73p. Trabalho de Conclusão de Curso – (Curso Superior em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Curitiba.

Senço, Wlastermiler -- 2. ed. ampl. **Manual de técnicas de pavimentação: volume 1** /.— São Paulo : Pini, 2007.

SILVA, Fabiano de Almeida. Et al. **Patologia: Estradas e Pavimentação**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 12, Vol. 02, pp. 108-119 Novembro de 2018. ISSN:2448-0959.

SILVA, Paulo Fernando A. **Manual de Patologia e manutenção de pavimentos** / Paulo Fernando A. Silva -- 2. ed. -- São Paulo : Pini, 2008

SOUSA, Luis Augusto Neto de. **ESTUDO DE PATOLOGIAS EM PAVIMENTO RÍGIDO**. Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá.

Disponível em: < https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_-_estudo_de_patologias_em_pavimento_rigido_1.pdf> . Acesso: 02 de abril de 2021.

SOUTO, Emanuel Vilela; MORESCO, Bruno Henrique; GOUTZ, Claudir José. **PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS: ESTUDO DE CASO NA RUA DR. RENATO FIGUEIRO VARELLA EM NOVA XAVANTINA – MT.** Revista Interação Interdisciplinar v. 03, nº. 02, p.117-130, Jul - Dez., 2019 UNIFIMES – Centro Universitário de Mineiros. Acesso: 30 de abril de 2021.

TIPOS DE PATOLOGIA DO ASFALTO EM RODOVIAS. Dynatest. 2017. Disponível em: <<http://dynatest.com.br/tipos-de-patologia-do-asfalto-em-rodovias/#:~:text=Falhas%20em%20cada%20uma%20dessas,as%20patologias%20dos%20pavimentos%20asf%C3%A1lticos.&text=Os%20principais%20tipos%20de%20patologia,%2C%20deforma%C3%A7%C3%B5es%2C%20panelas%20e%20remendos>>. Acesso: 26 de novembro de 2020.

VALLERY, Prof. Francisco. **Aula 2 - historia e introdução ao pavimento.** Acesso: 30 de abril de 2021.

VELOSO, Z. M. **Ciclo de vida dos Pneus. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental.** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/Zilda-Maria-Faria-Veloso-Ciclo-Vida-Pneus.pdf>> . Acesso em: 05 de abril de 2021.

Whitetopping: saiba o que é e conheça as principais vantagens. TECNOMOR ADITIVOS E DESMOLDANTES. [s.d.] Disponível em < <https://tecnomor.com.br/blog/whitetopping-saiba-o-que-e-e-conheca-as-principais-vantagens-desta-pratica/>> Acesso: 15 de abril de 2021.