



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
DIRETORIA DE ENSINO
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
LEANDRO DE ASSIS FERREIRA

RECUPERAÇÃO DO PAVIMENTO ASFÁLTICO: ESTUDO DE CASO DA BR 101
EM SERGIPE

MONOGRAFIA

ARACAJU/SE
2023

LEANDRO DE ASSIS FERREIRA

**RECUPERAÇÃO DO PAVIMENTO ASFÁLTICO: ESTUDO DE CASO DA BR 101
EM SERGIPE**

Monografia apresentada como requisito parcial do título de Bacharel, da Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientadora: Professora M.Sc. Emiliana Souza Rezende Guedes.

ARACAJU/SE

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Ferreira, Leandro de Assis.

F383r Recuperação do pavimento asfáltico: estudo de caso da BR 101 em Sergipe. / Leandro de Assis Ferreira. – Aracaju, 2023.

54 f. : il.

Orientadora: Prof^ª. Ma. Emiliana Souza Rezende Guedes.
Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Sergipe, 2023.

1. Pavimentação asfáltica. 2. Rolamento. 3. Qualidade do tráfego. 4. Segurança. I. Guedes, Emiliana Souza Rezende. II. Título.

CDU 625.8

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 264

**RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO - ESTUDO DE CASO DA BR 101
EM SERGIPE**

LEANDRO DE ASSIS FERREIRA

Esta monografia foi apresentada às 08 h 00 do dia 21 de Julho de 2023 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados.

Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Carla Cristina Nascimento Santos Pereira
Prof.^a. Dr.^a Carla Cristina Nascimento Santos
Pereira

(IFS – Campus Aracaju)

Sérgio Bispo Guimarães
Prof. M.Sc. Sérgio Bispo Guimarães

(IFS – Campus Aracaju)

Emiliana de Souza R. Guedes
Prof.^a. M.Sc. Emiliana de Souza Rezende
Guedes

(IFS – Campus Aracaju)
Orientadora

Pablo Gleydson de Sousa
Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

RESUMO

FERREIRA, Leandro de Assis. **RECUPERAÇÃO DO PAVIMENTO ASFÁLTICO: ESTUDO DE CASO DA BR 101 EM SERGIPE**. 54 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2023.

O Brasil por ser um país de dimensões continentais, tem em suas rodovias a responsabilidade de ser o principal meio de circulação e mobilidade de mercadorias e veículos, e dos usuários em geral; por ser o principal modal de transporte utilizado, possui alto investimento para o provimento da qualidade e manutenção das suas malhas viárias. As condições da maioria das rodovias são precárias com relação a qualidade da pista de tráfego, conforto e segurança. A má conservação das estradas pode ocasionar acidentes, retardar o fluxo de transporte da cadeia produtiva de diversos produtos que movimentam a economia, e por ocasião de impossibilidade de uso pode converter-se em obstáculo ao direito de ir e vir do cidadão. Este trabalho tem como objetivo verificar a qualidade do serviço de recomposição asfáltica com utilização de fresagem do pavimento nos trechos da rodovia BR – 101, no KM 91,5 e no KM 81,5 localizados na grande Aracaju, estado de Sergipe, afim de avaliar a curto e médio prazo as condições do rolamento do pavimento asfáltico e verificar a recorrência de problemas de patologia nos trechos analisados. A verificação foi realizada in loco com observação e registro fotográfico com o acompanhamento da equipe de manutenção de rodovia do DNIT. Decorrido o período de 90 dias observou-se a manutenção do rolamento da pista, porém com indícios de desgaste da camada asfáltica dos trechos restaurados. Em conclusão, é necessário que se utilizem novas abordagens na análise dos problemas de patologia e novos métodos para resolver a recorrência dessas patologias superficiais, que torna dificultosa a fluidez nas pistas e comprometem a segurança de todos os usuários.

Palavras-chave: Pavimentação asfáltica, Rolamento, qualidade do tráfego, Segurança

ABSTRACT

Brazil, being a country of continental dimensions, has in its highways the responsibility of being the main means of circulation and mobility of goods and vehicles, and of users in general; as it is the main mode of transport used, it has high investment to provide the quality and maintenance of its road networks. The conditions of most highways are precarious in relation to the quality of the traffic lane, comfort and safety. The poor maintenance of roads can cause accidents, delay the transport flow of the production chain of various products that move the economy, and when it is impossible to use it, it can become an obstacle to the citizen's right to come and go. This work aims to verify the quality of the asphalt restoration service using pavement milling in the stretches of the BR - 101 highway, at KM 91.5 and KM 81.5 located in greater Aracaju, Sergipe state, in order to evaluate in the short and medium term the rolling conditions of the asphalt pavement and verify the recurrence of pathological problems in the analyzed stretches. The verification was carried out in loco with observation and photographic record with the follow-up of the DNIT road maintenance team. After a period of 90 days, the maintenance of the runway was observed, but with signs of wear of the asphalt layer of the restored sections. In conclusion, it is necessary to use new approaches in the analysis of pathology problems and new methods to solve the recurrence of these superficial pathologies, which makes fluidity on the slopes difficult and compromises the safety of all users.

Keywords: Asphalt paving, Rolling, traffic quality, Safety

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 01. Agrupamento dos revestimentos flexíveis e rígidos.....	25
Ilustração 02. Elementos de uma pista simples	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Estrutura do pavimento asfáltico	16
Figura 02. Afundamento do pavimento asfáltico	32
Figura 03. Corrugação do pavimento asfáltico	33
Figura 04. Exsudação do pavimento asfáltico	34
Figura 05. Desgaste do pavimento asfáltico.....	34
Figura 06. Escorregamento do pavimento asfáltico	35
Figura 07. Fendas diversas no pavimento asfáltico	36
Figura 08. Trecho rodovia BR 101 KM 91,5	40
Figura 09. Trecho rodovia BR 101 KM 81,5	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Faixa granulométricas dos materiais para base granular	32
--	----

LISTA DE FOTOS

Foto 01. Máquina de espalhamento e acabamento pavimento asfáltico	22
Foto 02. Máquina compactadora.....	22
Foto 03. Panela (buraco) no pavimento asfáltico	35
Foto 04. Execução de fresagem no pavimento asfáltico	37
Foto 05. Máquina fresadora de asfalto.....	37
Foto 06. Execução de recomposição asfáltica com máquina pavimentadora	38
Foto 07. Detalhe da espessura do recapeamento asfáltico	39
Foto 08. Máquina fresadora executando serviço.....	43
Foto 09. Caçamba recolhendo resíduo de pavimento asfáltico.....	44
Foto 10. Vassoura hidráulica.....	44
Foto 11. Máquina pavimentadora de asfalto	45
Foto 12. Trecho KM 91,5.....	46
Foto 13. Trecho KM 91,5 mostrando fluxo de veículos pesados.....	47
Foto 14. Trecho KM 91,5 com leve exposição de agregados e ondulações	47
Foto 15. Trecho KM 81,5 com recomposição executada em meia pista	48
Foto 16. Trecho KM 81,5 com recomposição executada em meia pista	49
Foto 17. Trecho KM 81,5 com recomposição executada em meia pista	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
BR	Estradas brasileiras administradas pelo âmbito federal
KM	Quilômetro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ES	Especificação de Serviço
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CA	Cimento Asfáltico
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagens
ME	Método de Ensaio
EM	Especificação de Material
RTFOT	Rolling Thin- Film Oven Test
ASTM	American Society for Testing and Materials
ECA	Ensaio Clínicos Aleatórios
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
CBR	California Bearing Ratio
VGeo	Visualizador de Informações Geográficas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivos gerais	15
2.2. Objetivos específicos	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1. Revestimentos asfálticos.....	16
3.2. Materiais e Estruturas de Pavimentos Asfálticos	17
3.2.1. Cimento Asfáltico	18
3.2.2. Agregados.....	18
3.2.2.1. Agregado graúdo.....	18
3.2.2.2. Agregado miúdo.....	19
3.2.2.3. Material de enchimento (filer)	19
3.2.2.4. Melhorador de adesividade	19
3.3. Equipamentos	20
3.4. Classificação dos Pavimentos.....	23
3.4.1. Bases e sub-bases.....	23
3.4.1.1. Bases e sub-bases rígidas	23
3.4.1.2. Bases e sub-bases flexíveis.....	24
3.4.2. Revestimentos.....	25
3.4.2.1. Revestimentos flexíveis betuminosos	25
3.4.2.2. Revestimentos flexíveis por calçamento	27
3.4.2.3. Revestimentos rígidos.....	28
3.5. Técnicas Executivas de Revestimentos Asfálticos.....	28
3.5.1. Elementos geométricos.....	29
3.5.2. Seção transversal do pavimento	29
3.5.3. Dimensionamento do pavimento	30
3.5.3.1. Pavimento flexível – método do DNIT	30
3.6. Diagnósticos de defeitos em pavimentos asfálticos	32
3.7. Técnicas de Restauração de Pavimentos asfálticos	36
3.7.1. Técnicas de Restauração de Pavimentos com problemas estruturais	36
3.7.1.1. Consideração sobre trincamento por reflexão.....	37
4. METODOLOGIA.....	40

4.1. Trecho da BR- 101 KM 91,5 (Nossa Senhora do Socorro)	40
4.2. Trecho da BR- 101 KM 81,5 (Nossa Senhora do Socorro)	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1. Trecho da BR- 101 KM 91,5 (Nossa Senhora do Socorro)	46
5.2. Trecho da BR- 101 KM 81,5 (Nossa Senhora do Socorro)	48
6. CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

1. INTRODUÇÃO

Pavimento é o caminho natural construído pelo homem para que possamos nos deslocar de um lugar para o outro, desde os primórdios da humanidade. As grandes sociedades da história observaram que pavimentar as rotas simples de terra batida se trata de um avanço em todos os sentidos e especificamente econômico. Uma combinação de materiais resistentes e duráveis nos permitem pavimentos que apresentam longa vida para bons serviços a toda a sociedade.

Com vários registros históricos de grandes civilizações, as sociedades atuais exigem um grau de qualidade de pavimentação de tipos de estradas, ruas, rodovias, pátios e afins são muito superiores do que os primórdios da civilização. Hoje, possuímos pavimentos rígidos e flexíveis quem devem ter durabilidade, alta resistência sem perder conforto e, acima de tudo, ser economicamente viável e garantir a total segurança dos usuários.

É denominado pavimento toda estrutura executada em um terreno de subleito (fundação), cujo este deve oferecer resistência proveniente de cargas de roda dos veículos bem como a ação das intempéries (SILVA, 2005).

Pode-se observar também que se trata de uma estrutura composta por múltiplas camadas de espessuras específicas, cuja finalidade técnica e econômica seria de resistir aos esforços de fluxo contínuo do tráfego de veículos juntamente com o clima, afim de proporcionar aos usuários condições de rolamento de qualidade, de modo que associe conforto, economia e segurança.

Com o passar dos anos, em que a rede rodoviária passou a agregar valor e progresso econômico, representando assim um altíssimo patrimônio, também cresceram variados métodos de conservação e outros novos foram criados, aperfeiçoados e racionalizados, considerando que os veículos trafegam por rodovias concluídas, e não por trechos em pleno andamento de obra (SENÇO, 2007).

E quando estas rodovias são utilizadas, levando em conta apenas a conservação, o desgaste natural em algum momento levará a uma ocasião que já não permitirá boas condições de tráfego, aumentando assim os custos de recuperação ou restauração das rodovias, no sentido de que estes serviços sejam realizados antes de que a estrutura se deteriore ao fim de que seja necessário não mais uma manutenção, e sim um novo pavimento, o que acarretará em elevadas despesas para se recuperar a capacidade de tráfego de veículos desta rodovia.

Existem alguns tipos de pavimentos rodoviários conforme Bernucci *et al.* (2006), sendo os principais: os pavimentos de concreto-cimento e os pavimentos asfálticos.

Senço (2007) nos relata um grande número de métodos de dimensionamento de pavimentos, muitos deles provenientes do empirismo e da intuição, e outros procurando corrigir e somar aspectos positivos de outros métodos, criando um novo método.

Com o método DNIT, consegue-se acompanhar continuamente o comportamento das estruturas do pavimento de vias urbanas, proporcionando adaptações para correlacionar, com mais efetividade, resultados satisfatórios com o desempenho dos pavimentos (DNIT, 2006).

Sem sombra de dúvidas, para um bom projeto de pavimento de grandes vias urbanas, os projetos e estudos geralmente levam em consideração diversos métodos de dimensionamento, permitindo-se comparações que podem, como esperado, levar a soluções compatíveis com as necessidades demandadas.

Estes pavimentos devem atender ao grande fluxo de veículos anualmente, levando em consideração fatores climáticos diversos e adversos, inclusive nos períodos de chuva. Atendendo a estas condições, o pavimento permite condição de tráfego para atender perfeitamente as exigências (SENÇO, 2007)

No Brasil, as rodovias têm uma grande importância, no que tange ao nível social, que garante o direito de todos os cidadãos de ir e vir do ponto mais extremo do país ao outro, quanto ao econômico, que garante o escoamento de diversos produtos e mercadorias que movimentam toda a cadeia econômica da nação; e então da necessidade continua de recuperação das rodovias de suma importância.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Avaliar o serviço de manutenção do pavimento asfáltico por fresagem e recomposição asfáltica em 02 trechos da rodovia BR – 101, KM 91,5 e KM 81,5, nas imediações da Grande Aracaju, entre os municípios de Aracaju e Nossa Senhora do Socorro, estado de Sergipe.

2.2 Objetivos específicos

Identificar se após a execução dos serviços de recuperação do pavimento asfáltico existe recorrência dos problemas que levaram a recuperar o trecho danificado.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Revestimentos Asfálticos

De acordo com Bernucci *et al.* (2006), pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplanagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

Sendo um dos materiais de construção mais antigos e versáteis utilizados pelo homem, o asfalto utilizado em pavimentação é um dos mais importantes e na maioria dos países do mundo, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento. No Brasil, a maior parte das estradas e ruas são de revestimento asfáltico (BERNUCCI *et al.*, 2006).

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

Figura 01 - Estrutura do pavimento asfáltico.



Fonte: Manual de Pavimentação DNIT (DNIT, 2006).

O revestimento asfáltico pode ser composto por camada de rolamento – em contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias ou de ligação, por vezes denominadas de Binder, embora essa designação possa levar a uma certa confusão, uma vez que esse termo é utilizado na língua inglesa para designar o ligante asfáltico. Dependendo do tráfego e dos materiais disponíveis, pode-se ter ausência de algumas camadas. As camadas da estrutura repousam sobre o subleito, ou seja, a plataforma da estrada terminada após a conclusão dos cortes e aterros (BERNUCCI *et al.*, 2007).

3.2 Materiais e Estruturas de Pavimentos Asfálticos

Conforme especificado na norma DNIT 031/2016 – ES, os materiais constituintes do concreto asfáltico são agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento filer e ligante asfáltico, os quais devem satisfazer às normas pertinentes, e às especificações aprovadas pelo DNIT.

Definições dos constituintes do concreto asfáltico segundo Ambrozewicz (2012):

- 1- Agregado graúdo: pedregulho ou brita que derivam de rochas estabilizadas ou ainda da mistura de ambos, os quais passam por peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm (85%).
- 2- Agregado miúdo: areia que tem sua origem natural ou proveniente do britamento de rochas estabilizadas, ou ainda da mistura de ambas, nos quais os grãos de maior tamanho passam no mínimo 85% das malhas da peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidas na peneira ABNT 0,075µm.
- 3- Material de enchimento filer: pó muito fino proveniente de rocha calcárea que é muito utilizado como material de enchimento em concretos e argamassas, aumentando a compactidade através da melhor distribuição granulométrica das partículas (MARANGON, 2006).
- 4- Ligante Asfáltico: os materiais que possuem alta quantidade de betume (hidrocarbonetos não voláteis pesados), por isso também sendo nomeados como betumes, que possuem como característica principal a cor preta ou

marrom muito escura, sendo muito viscosos e agindo como ligantes, de consistência sólida a semissólida à temperatura ambiente.

3.2.1 Cimento Asfáltico

Os cimentos asfálticos são obtidos a partir de processos de refinamento do petróleo cru, para as finalidades específicas de pavimentação, além de outras aplicações. Estes produzidos com as mais variadas características conforme sua utilidade para a engenharia onde também dão origem a vários tipos de materiais comumente empregados em pavimentação (emulsões e asfaltos diluídos), podendo ser modificados por outros materiais (polímeros) para se obter alterações desejáveis em suas características para determinadas aplicações (BALBO, 2007).

Podem ser empregados os seguintes tipos de cimento asfáltico de petróleo, definidos quanto à penetração, segundo Balbo (2007):

- **CAP-30/45**: considerado um cimento asfáltico duro.
- **CAP-50/70**: considerado um cimento asfáltico médio.
- **CAP-85/100**: considerado um cimento asfáltico médio.

Esta classificação é definida por ensaio de penetração e fornece uma medida em décimos de milímetros da penetração no CA (cimento asfáltico) de uma agulha padronizada, sob determinadas condições; valores baixos são característicos de asfaltos muito consistentes e valores altos, de asfaltos mais moles (BALBO, 2007).

3.2.2 Agregados

3.2.2.1 Agregado graúdo

O agregado graúdo pode ser pedra britada, escória, seixo rolado preferencialmente britado ou outro material indicado nas Especificações Complementares:

a) desgaste Los Angeles igual ou inferior a 50% (DNER-ME 035); admitindo-se excepcionalmente agregados com valores maiores, no caso de terem apresentado comprovadamente desempenho satisfatório em utilização anterior;

b) índice de forma superior a 0,5 (DNER-ME 086);

c) durabilidade, perda inferior a 12% (DNER-ME 089).

3.2.2.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo pode ser areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos ou outro material indicado nas Especificações Complementares. Suas partículas individuais devem ser resistentes, estando livres de torrões de argila e de substâncias nocivas. Deve apresentar equivalente de areia igual ou superior a 55% (DNER-ME 054).

3.2.2.3 Material de enchimento (filer)

Quando da aplicação deve estar seco e isento de grumos, e deve ser constituído por materiais minerais finamente divididos, tais como cimento Portland, cal extinta, pós-calcários, cinza volante, etc; de acordo com a Norma DNER-EM 367.

3.2.2.4 Melhorador de adesividade

Não havendo boa adesividade entre o ligante asfáltico e os agregados graúdos ou miúdos (DNER-ME 078 e DNER-ME 079), pode ser empregado melhorador de adesividade na quantidade fixada no projeto.

A determinação da adesividade do ligante com o melhorador de adesividade é definida pelos seguintes ensaios:

a) Métodos DNER-ME 078 e DNER 079, após submeter o ligante asfáltico contendo o dope ao ensaio RTFOT (ASTM – D 2872) ou ao ensaio ECA (ASTM D-1754);

b) Método de ensaio para determinar a resistência de misturas asfálticas compactadas à degradação produzida pela umidade (AASHTO 283). Neste caso a razão da resistência à tração por compressão diametral estática antes e após a imersão deve ser superior a 0,7 (DNER-ME 138).

3.3 Equipamentos

Os equipamentos necessários à execução dos serviços serão adequados aos locais de instalação das obras, atendendo ao que dispõem as especificações para os serviços (DNIT, 2006).

Devem ser utilizados, segundo Silva (2005), no mínimo, os seguintes equipamentos:

a) Depósito para ligante asfáltico

Os depósitos para o ligante asfáltico devem possuir dispositivos capazes de aquecer o ligante nas temperaturas fixadas nesta Norma. Estes dispositivos também devem evitar qualquer superaquecimento localizado. Deve ser instalado um sistema de recirculação para o ligante asfáltico, de modo a garantir a circulação, desembaraçada e contínua, do depósito ao misturador, durante todo o período de operação. A capacidade dos depósitos deve ser suficiente para, no mínimo, três dias de serviço.

b) Silos para agregados

Os silos devem ter capacidade total de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador e ser divididos em compartimentos, dispostos de modo a separar e estocar, adequadamente, as frações apropriadas do agregado. Cada compartimento deve possuir dispositivos adequados de descarga. Deve haver um silo adequado para o filler, conjugado com dispositivos para a sua dosagem.

c) Usina para misturas asfálticas

A usina deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, dispor de misturador capaz de produzir uma mistura uniforme. Um termômetro, com proteção metálica e escala de 90° a 210 °C (precisão ± 1 °C), deve ser fixado no dosador de ligante ou na linha de alimentação do asfalto, em local adequado, próximo à descarga do misturador. A usina deve ser equipada além disto, com pirômetro elétrico, ou outros instrumentos termométricos aprovados, colocados

na descarga do secador, com dispositivos para registrar a temperatura dos agregados, com precisão de ± 5 °C. A usina deve possuir termômetros nos silos quentes.

Pode, também, ser utilizada uma usina do tipo tambor/secador/misturador, de duas zonas (convecção e radiação), provida de: coletor de pó, alimentador de filer, sistema de descarga da mistura asfáltica, por intermédio de transportador de correia com comporta do tipo “clam-shell” ou alternativamente, em silos de estocagem.

A usina deve possuir silos de agregados múltiplos, com pesagem dinâmica e deve ser assegurada a homogeneidade das granulometrias dos diferentes agregados.

A usina deve possuir ainda uma cabine de comando e quadros de força. Tais partes devem estar instaladas em recinto fechado, com os cabos de força e comandos ligados em tomadas externas especiais para esta aplicação. A operação de pesagem de agregados e do ligante asfáltico deve ser semi-automática com leitura instantânea e acumuladora, por meio de registros digitais em “display” de cristal líquido. Devem existir potenciômetros para compensação das massas específicas dos diferentes tipos de ligantes asfálticos e para seleção de velocidade dos alimentadores dos agregados frios.

d) Caminhões basculantes para transporte da mistura

Os caminhões, tipo basculante, para o transporte do concreto asfáltico usinado a quente, devem ter caçambas metálicas robustas, limpas e lisas, ligeiramente lubrificadas com água e sabão, óleo cru fino, óleo parafínico, ou solução de cal, de modo a evitar a aderência da mistura à chapa. A utilização de produtos susceptíveis de dissolver o ligante asfáltico (óleo diesel, gasolina etc.) não é permitida.

e) Equipamento para espalhamento e acabamento

O equipamento para espalhamento e acabamento deve ser constituído de pavimentadoras automotrizes, capazes de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento definidos no projeto. As acabadoras devem ser equipadas com parafusos sem fim, para colocar a mistura exatamente nas faixas, e possuir dispositivos rápidos e eficientes de direção, além de marchas para a frente e para trás. As acabadoras devem ser equipadas com alisadores e dispositivos para

aquecimento, à temperatura requerida, para a colocação da mistura sem irregularidade.

Foto 01 – Máquina de espalhamento e acabamento pavimento asfáltico.



Fonte: Acervo próprio (2023).

f) Equipamento para compactação

O equipamento para a compactação deve ser constituído por rolo pneumático e rolo metálico liso, tipo tandem ou rolo vibratório. Os rolos pneumáticos, autopropulsionados, devem ser dotados de dispositivos que permitam a calibragem de variação da pressão dos pneus de 2,5 kgf/cm² a 8,4 kgf/cm².

O equipamento em operação deve ser suficiente para compactar a mistura na densidade de projeto, enquanto esta se encontrar em condições de trabalhabilidade.

Foto 02 – Máquina compactadora.



Fonte: Acervo próprio (2023).

Todo equipamento a ser utilizado deve ser vistoriado antes do início da execução do serviço de modo a garantir condições apropriadas de operação, sem o que, não será autorizada a sua utilização.

3.4 Classificação dos Pavimentos

Como aborda Senço (2007), de uma forma geral, os pavimentos podem ser classificados em:

- 1- Pavimentos rígidos;
- 2- Pavimentos flexíveis.

Pavimentos rígidos são aqueles pouco deformáveis, constituídos principalmente de concreto de cimento. Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformação.

Pavimentos flexíveis são aqueles em que as deformações, até um certo limite, não levam ao rompimento. São dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estruturas a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga (SENÇO, 2007).

3.4.1 Bases e sub-bases

Ainda de acordo com Senço (2007), temos as Bases e sub-bases rígidas e flexíveis.

3.4.1.1 Bases e sub-bases rígidas

Concreto de cimento: mistura convenientemente dosada e uniformizada de agregados, areia, cimento e água nas dimensões previstas em projeto. É a base que mais se caracteriza como rígida, e seu dimensionamento obedece a estudos baseados na teoria de Westergaard, podendo ou não ser armada com barras metálicas.

Uma placa de concreto de cimento exerce conjuntamente as funções de base e revestimento.

Macadame de cimento: base construída com agregado graúdo – diâmetro máximo entre 50 mm e 90 mm – cujos vazios são preenchidos por um material de granulometria mais fina, o material de enchimento, misturado com cimento, para garantir, além do travamento das pedras, uma razoável ligação entre elas.

Solo cimento: mistura de solo escolhido, cimento e água, em proporções convenientes e previamente determinadas, mistura essa que, convenientemente uniformizada e compactada, satisfaz as condições exigidas para funcionar como base de pavimento.

3.4.1.2 Bases e sub-bases flexíveis

Base de solo estabilizado: camada construída com solo satisfazendo determinadas especificações – granulometria, limite de liquidez e índice de plasticidade – cuja granulometria pode ser conseguida de forma natural ou artificial.

Base de macadame hidráulico: é uma variante do macadame original. Trata-se de uma base ou sub-base constituída de uma ou mais camadas de pedra britada, de fragmentos entrosados entre si e material de enchimento. Este último tem função principal de travar o agregado graúdo e a função secundária de agir eventualmente como aglutinante. A introdução do material de enchimento nos vazios do agregado graúdo é feita com o auxílio de água, justificando o nome do macadame hidráulico.

Base de brita graduada: é resultante da mistura, feita em usinas de agregado previamente dosado, contendo inclusive material de enchimento, água e, eventualmente cimento.

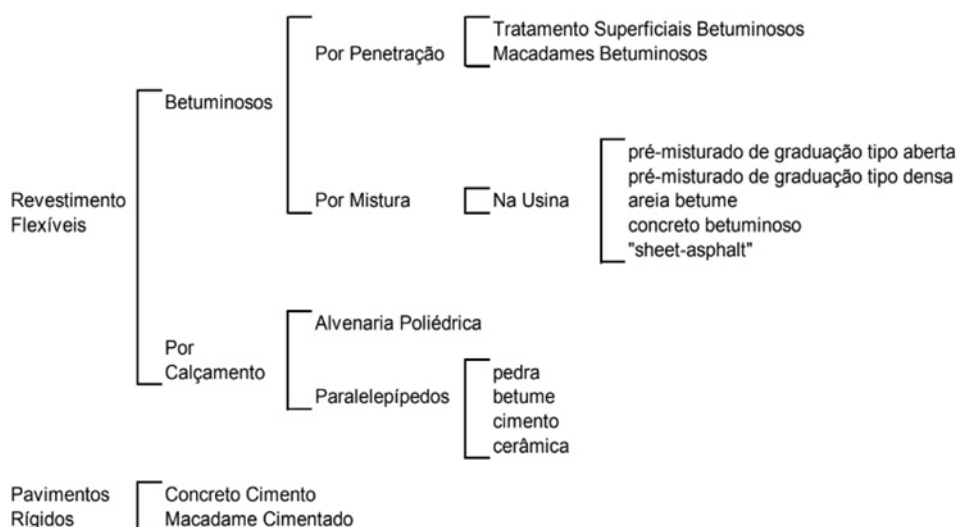
Base de macadame betuminoso: consiste na superposição de camadas de agregados interligadas por pinturas de material betuminoso. O número de camadas depende da espessura estabelecida em projeto.

Base de paralelepípedo e de alvenaria poliédrica (por aproveitamento): correspondem a leitos de antigas estradas que, com a maior velocidade atingida pelos veículos, deixaram de apresentar interesse, dada principalmente a trepidação e a alta sonoridade que provocam. Esses antigos revestimentos passaram a ser recapeados com estruturas betuminosas, o que justifica a inclusão dessas camadas entre as bases flexíveis, por aproveitamento.

3.4.2 Revestimentos

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), os revestimentos flexíveis e rígidos podem ser grupados de acordo com o esquema apresentado a seguir:

Ilustração 01 – Agrupamento dos revestimentos flexíveis e rígidos



Fonte: Manual de Pavimentação DNIT (DNIT, 2006).

3.4.2.1 Revestimentos flexíveis betuminosos

Os revestimentos betuminosos são constituídos por associação de agregados e materiais betuminosos. Esta associação pode ser feita de duas maneiras clássicas: por penetração e por mistura.

- Revestimentos por Penetração: esta modalidade envolve dois tipos distintos: por penetração invertida e por penetração direta.
- Revestimentos Betuminosos por Penetração Invertida: são os revestimentos executados através de uma ou mais aplicações de material betuminoso, seguida de idêntico número de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados com granulometrias apropriadas.

Conforme o número de camadas tem-se os intitulados, tratamento superficial simples, duplo ou triplo. O tratamento simples, executado com o objetivo primordial de impermeabilização ou para modificar a textura de um pavimento existente, é denominado capa selante.

- c) Revestimentos Betuminosos por Penetração Direta: são os revestimentos executados através do espalhamento e compactação de camadas de agregados com granulometria apropriada, sendo cada camada, após compressão, submetida a uma aplicação de material betuminoso e recebendo, ainda, a última camada, uma aplicação final de agregado miúdo.

Revestimento típico, por "penetração direta", é o Macadame Betuminoso. O Macadame Betuminoso tem processo construtivo similar ao tratamento duplo e comporta espessuras variadas e bem maiores, em função do número de camadas e das faixas granulométricas correspondentes. Com frequência, ele é usado como camada de base.

- d) Revestimentos por Mistura: nos revestimentos betuminosos por mistura, o agregado é pré-envolvido com o material betuminoso, antes da compressão.

Quando o pré-envolvimento é feito em usinas fixas, resultam os "Pré-misturados Propriamente Ditos" e, quando feito na própria pista, têm-se os "Pré-misturados na Pista" (road mixes). Conforme os seus respectivos processos construtivos, são adotadas ainda as seguintes designações:

- Pré-misturado a Frio - Quando os tipos de agregados e de ligantes utilizados permitem que o espalhamento seja feito à temperatura ambiente.
- Pré-misturado a Quente - Quando o ligante e o agregado são misturados e espalhados na pista ainda quentes.

Conforme a graduação dos agregados com que são executados, os "Pré-misturados" e os "Road mixes" podem ser de graduação aberta ou densa. Os de

graduação densa em geral não requerem capa selante, que é obrigatória nos de graduação aberta. Quando o agregado natural ou artificial, é constituído predominantemente de material passando na peneira nº 10 (abertura 2,0 mm) ou seja, de areia, tem-se os "Road-mixes" e os "Pré-misturados" Areia-Betume.

A designação Concreto Betuminoso Usinado à Quente ou Concreto Asfáltico tem sido reservada para pré-misturados a quente de graduação densa, em que são feitas rigorosas exigências no que diz respeito a equipamentos de construção e índices tecnológicos - como granulometria, teor de betume, estabilidade, vazios, etc.

Do mesmo modo, a designação "Sheet-Asphalt" tem sido usado para os pré-misturados areia-betume que satisfazem a exigência semelhantes às feitas para o concreto betuminoso. Os pré-misturados e road-mixes podem ser usados como bases de pavimento e como revestimento. Neste último caso, desde que atenda a faixa granulométrica adequada.

3.4.2.2 Revestimentos flexíveis por calçamento

A utilização destes tipos de pavimento, em rodovias caiu consideravelmente, na medida em que se intensificou a utilização de pavimentos asfálticos e de concreto.

Assim é que, de uma maneira geral, a sua execução se restringe a pátios de estacionamento, vias urbanas e alguns acessos viários - muito embora tal execução envolva algumas vantagens nos seguintes casos:

- Em trechos com rampas mais íngremes - aonde, por exemplo, os paralelepípedos promovem uma maior aderência dos pneus, aumentando a segurança – evitando dificuldades de transposição, principalmente na época das chuvas.

- Em trechos urbanos, onde a estrada coincide com zonas densamente povoadas, para os quais estão previstos os serviços de redes de água e esgotos.

- Em aterros recém-construídos e subleito sujeitos a recalques acentuados.

a) Alvenaria Poliédrica: estes revestimentos consistem de camadas de pedras irregulares (dentro de determinadas tolerâncias), assentadas e comprimidas sobre um

colchão de regularização, constituído de material granular apropriado; as juntas são tomadas com pequenas lascas de pedras e com o próprio material do colchão.

b) Paralelepípedos: estes revestimentos são constituídos por blocos regulares, assentes sobre um colchão de regularização constituído de material granular apropriado. As juntas entre os paralelepípedos podem ser tomadas com o próprio material do colchão de regularização, pedrisco, materiais ou misturas betuminosas ou com argamassa de cimento Portland.

Os paralelepípedos podem ser fabricados de diversos materiais sendo os mais usuais constituídos de blocos de granito, gnaiss ou basalto.

São muito utilizados também, revestimentos constituídos por blocos intertravados de concreto de cimento, denominados "blockrets,". A execução é semelhante à dos paralelepípedos, mas requer cuidados apropriados a cada caso, de modo a assegurar o necessário intertravamento e a decorrente distribuição de tensões entre blocos adjacentes.

3.4.2.3 Revestimentos rígidos

O concreto de cimento, ou simplesmente "concreto" é constituído por uma mistura relativamente rica de cimento Portland, areia, agregado graúdo e água, distribuído numa camada devidamente adensado. Essa camada funciona ao mesmo tempo como revestimento e base do pavimento.

3.5 Técnicas Executivas de Revestimentos Asfálticos

Segundo o Manual de pavimentação do DNIT (2006), as larguras do revestimento para as diversas classes de rodovias, nas regiões planas, onduladas montanhosas ou escarpadas, são as seguintes:

- a) Classe especial: 7,50 m
- b) Classe I: 7,00 m
- c) Classe II e III: 6,00 m a 7,00 m

3.5.1 Elementos geométricos

São definidos de acordo com o DNIT (2006), a seguir, alguns elementos geométricos que embora não constituam parte integrante do pavimento, acham-se intimamente ligados à pavimentação:

Pista de rolamento: parte da rodovia destinada ao trânsito de veículos.

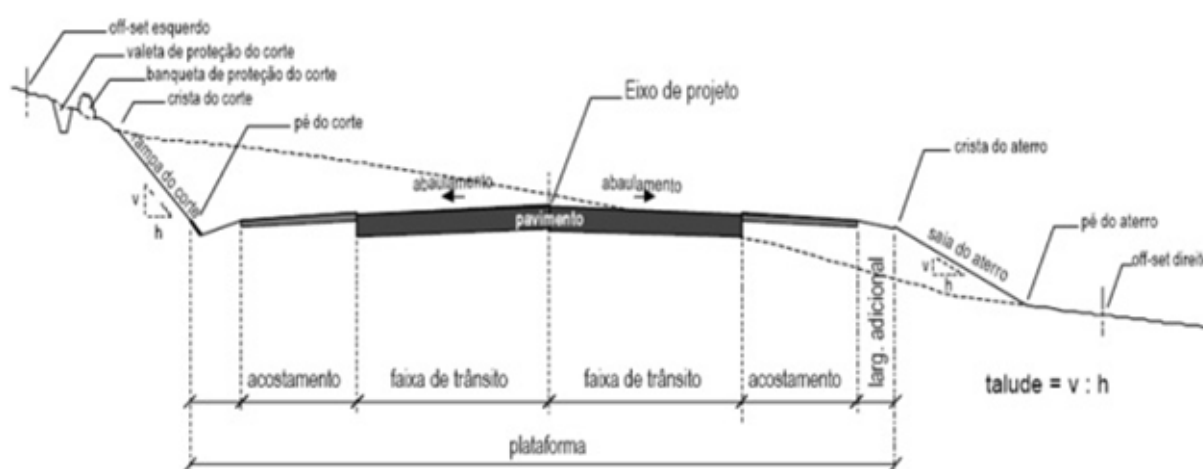
Faixa de trânsito: porção da pista cuja largura permite, com segurança, a circulação de veículos em fila única.

Greide: inclinação longitudinal em relação à horizontal, geralmente expressa em percentagem.

Superelevação: inclinação transversal da pista nas curvas horizontais, para compensar o efeito da força centrífuga sobre os veículos.

Abaulamento: declividade transversal da superfície da estrada.

Ilustração 02 – Elementos de uma pista simples



Fonte: Manual de Técnicas de Pavimentação (SENÇO, 2007).

3.5.2 Seção transversal do pavimento

De acordo com o DNIT (2006), definição dos diversos constituintes do pavimento, em seção transversal, é a que se segue:

a) Pavimento - é a estrutura construída após a terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente em seu conjunto, a:

- resistir a distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos do tráfego;
- melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e conforto;
- resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento.

b) Subleito - é o terreno de fundação do pavimento;

c) Leito - é a superfície obtida pela terraplenagem ou obra-de-arte e conformada ao seu greide e perfis transversais;

d) Greide do leito - é o perfil do eixo longitudinal do leito;

e) Regularização - é a camada posta sobre o leito, destinada a conformá-lo transversal e longitudinalmente de acordo com as especificações; a regularização não constitui, propriamente uma camada de pavimento, sendo, a rigor, uma operação que pode ser reduzida em corte do leito implantado ou em sobreposição a este, de camada com espessura variável;

f) Reforço do subleito - é uma camada de espessura constante, posta por circunstâncias técnico-econômicas, acima da de regularização, com características geotécnicas inferiores ao material usado na camada que lhe for superior, porém melhores que o material do subleito;

g) Sub-base - é a camada complementar à base, quando por circunstâncias técnico- econômicas não for aconselhável construir a base diretamente sobre regularização;

h) Base - é a camada destinada a resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se constrói o revestimento;

i) Revestimento - é a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e destinada a melhorá-la, quanto à comodidade e segurança e a resistir ao desgaste.

3.5.3 Dimensionamento do pavimento

3.5.3.1 Pavimento flexível – método do DNIT

Os procedimentos de trabalho do método DNIT consistem como base o trabalho "Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume",

do Corpo de Engenheiros do Exército e conclusões obtidas na Pista Experimental da AASHTO (DNIT, 2006).

Relativamente aos materiais integrantes do pavimento, são adotados coeficientes de equivalência estrutural tomando por base os resultados obtidos na Pista Experimental da AASHTO, com modificações julgadas oportunas.

A Capacidade de Suporte do subleito e dos materiais constituintes dos pavimentos é feita pelo CBR, adotando-se o método de ensaio preconizado pelo DNER, em corpos-de-prova indeformados ou moldados em laboratório para as condições de massa específica aparente e umidade especificada para o serviço.

O subleito e as diferentes camadas do pavimento devem ser compactados de acordo com os valores fixados nas "especificações Gerais", recomendando-se que, em nenhum caso, o grau de compactação calculado estaticamente deve ser inferior a 100% do que foi especificado.

Para solos granulares com granulação grossa deverá ser empregada a energia de compressão correspondente ao proctor modificado. Os materiais do subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio C.B.R., menor ou igual a 2% e um C.B.R. $\geq 2\%$ (DNIT, 2006).

De acordo com o DNIT (2006), a classificação dos materiais empregados no pavimento são:

- a) Materiais para reforço do subleito, os que apresentam C.B.R. maior que o do subleito e expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb)
- b) Materiais para sub-base, os que apresentam C.B.R. $\geq 20\%$, I.G. = 0 e expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb)
- c) Materiais para base, os que apresentam: C.B.R. $\geq 80\%$ e expansão $\leq 0,5\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb), Limite de liquidez $\leq 25\%$ e Índice de plasticidade $\leq 6\%$.

Caso o limite de liquidez seja superior a 25% e/ou índice de plasticidade seja superior a 6; o material pode ser empregado em base (satisfeitas as demais condições), desde que o equivalente de areia seja superior a 30.

Para um número de repetições do eixo-padrão, durante o período do projeto $N \leq 5 \times 10^6$, podem ser empregados materiais com C.B.R. $\geq 60\%$ e as faixas granulométricas E e F já citadas.

Os materiais para base granular devem ser enquadrar numa das seguintes faixas granulométricas:

Quadro 01 – Faixa granulométricas dos materiais para base granular

Tipos	Para $N > 5 \times 10^6$			Para $N < 5 \times 10^6$			Tolerâncias da faixa de projeto
Peneiras	A	B	C	D	E	F	
	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	±7
1"	-	75-90	100	100	100	100	±7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	±7
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	±5
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	±5
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	±2
Nº 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	±2

Fonte: Manual Pavimentos Rígidos DNIT (DNIT, 2006).

3.6 Diagnósticos de defeitos em Pavimentos Asfálticos

Com base no Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos de Silva (2005) notam-se alguns possíveis defeitos que podem surgir por fatores diversos em pavimentos asfálticos. E segundo este manual, as patologias em pavimentos com revestimento asfáltico podem ser:

1. Deformações de superfícies: estas deformações de superfície se manifestam como afundamentos e corrugações.

Os afundamentos são deformações plásticas ou permanentes, que são caracterizados por depressão longitudinal da superfície do pavimento, onde a ação repetitiva da passagem de cargas dos veículos transitando no pavimento e o fluxo canalizado dos veículos mais pesados são os causadores destas deformações.

Figura 02 – Afundamento do pavimento asfáltico



Fonte: Manual Pavimentos Rígidos DNIT (DNIT, 2006).

As corrugações são ondulações transversais ao eixo da via, devido à má execução, excesso de asfalto ou finos. Elas estão associadas às tensões cisalhantes horizontais geradas pelos veículos em áreas submetidas à aceleração ou frenagem.

Figura 03 – Corrugação do pavimento asfáltico



Fonte: Manual Pavimentos Rígidos DNIT (DNIT, 2006).

2. Defeitos de superfícies: estes defeitos se manifestam através de exsudação de asfalto e o desgaste do asfalto.

Na presença de Calor o asfalto dilata e não havendo espaço para ele ocupar, cujo motivo principal se deve ao baixo volume de vazios ou ainda o excesso de ligante, onde o mesmo exsudará pelo revestimento e apresentará uma superfície que brilha devido ao excesso de ligante betuminoso. E ainda com o calor, pode ocorrer também a diminuição da sua viscosidade e o agregado penetra dentro dele.

Figura 04 – Exsudação do pavimento asfáltico



Fonte: Manual Pavimentos Rígidos DNIT (DNIT, 2006).

Deve-se ter atenção para não confundir espelhamento por causa do derramamento de óleo diesel no pavimento, principalmente no trecho onde os veículos trafegam em baixa velocidade, com a exsudação do asfalto.

O desgaste do pavimento asfáltico tem relação com o tráfego e o intemperismo. Pode surgir uma superfície polida, acarretando na falta de segurança durante a derrapagem.

Figura 05 – Desgaste do pavimento asfáltico



Fonte: Manual Pavimentos Rígidos DNIT (DNIT, 2006).

3. **Panela:** é uma cavidade que se forma no asfalto e pode atingir a base. São em sua maior parte a evolução das trincas, afundamentos ou desgastes. Geralmente ocorre o acumulo de água, fazendo com que ocorra a deterioração do pavimento, aumentando o buraco.

Foto 03 – Panela (buraco) no pavimento asfáltico



Fonte: Acervo próprio (2023).

4. Escorregamento do revestimento asfáltico: Consiste no deslocamento do pavimento em relação a base, com aparecimento de fendas em forma de meia lua, que por sua vez ocorre devido à falta de aderência entre a camada de revestimento e a camada subjacente, ou ainda a massa asfáltica tem baixa resistência.

Figura 06 – Escorregamento do pavimento asfáltico



Fonte: Manual Pavimentos Rígidos DNIT (DNIT, 2006).

5. Fendas – fissura e trinca: As trincas são descontinuidades com largura superior às fissuras, as quais somente são visíveis à distância inferior a 1,5 metros. As trincas do pavimento asfáltico podem surgir devido à fadiga ou não, que está

relacionada com a passagem contínua de veículos de carga pesada. Os veículos leves não contribuem para danos estruturais, embora colaborem com a redução de atrito, que pode causar acidentes.

Figura 07 – Fendas diversas no pavimento asfáltico



Fonte: Manual Pavimentos Rígidos DNIT (DNIT, 2006).

Na opinião de Silva (2005), as fissuras são descontinuidades com abertura inferior a 0,6 milímetros.

3.7 Técnicas de Restauração de Pavimentos asfálticos

3.7.1 Técnicas de Restauração de Pavimentos com problemas estruturais

Muito bem abordado por Bernucci *et al.* (2006), os revestimentos comumente utilizados como recapeamento são o concreto asfáltico, misturas descontínuas e o pré-misturado a quente. E nestes são empregados cimentos asfálticos convencionais, modificados por polímeros ou modificados por borracha moída de pneus, que por sua vez são utilizados separadamente ou em conjunto.

A remoção da camada de pavimento asfáltico por fresagem é recomendada previamente à execução de camadas de recapeamento quando há necessidade de redução da energia de propagação de trincas já existentes no revestimento antigo, retardando a sua reflexão nas novas camadas.

A possibilidade de reflexão de trincas em restaurações executadas em pavimentos com problemas estruturais é um fator importante e deve ser considerado no projeto da restauração, por meio de medidas para sua minimização (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Foto 04 – Execução de fresagem no pavimento asfáltico



Fonte: Acervo próprio (2023).

Foto 05 – Máquina fresadora de asfalto



Fonte: Acervo próprio (2023).

3.7.1.1 Consideração sobre trincamento por reflexão

Esse tipo de trinca surge acima de juntas ou trincas existentes em camadas de revestimento antigo. É a mais crítica em situações de temperaturas mais baixas,

devido ao enrijecimento do revestimento asfáltico, bem como de elevado volume de tráfego ou de grande magnitude de cargas. Desenvolvem-se tensões de tração elevadas nas camadas de recapeamento devido a movimentos originados nas trincas existentes no revestimento antigo deteriorado. A trinca de reflexão ocorre geralmente de baixo para cima no recapeamento.

Segundo Bernucci *et al.* (2006), segue algumas medidas adotadas para o controle e redução de reflexão de trincas:

1. Camadas intermediárias de alívio de tensões: estas são executadas na superfície de um revestimento antigo e sobre a qual será executado um recapeamento. Elas podem ser compostas de microrrevestimento asfáltico, tratamentos superficiais por penetração com ligantes asfálticos modificados por polímeros ou por borracha de pneus, ou mesmo misturas asfálticas com elevado teor de asfalto modificado por polímero em camadas delgadas.

Foto 06– Execução de recomposição asfáltica com máquina pavimentadora



Fonte: Acervo próprio (2023).

2. Camadas de dissipação de trincas: camadas granulares com poucos finos e agregados com diâmetro máximo de 75mm, granulometria aberta e podem ser misturadas com pequeno teor de ligante asfáltico. Em geral é um pré-misturado a quente, que são executadas sobre o revestimento antigo deteriorado e sobre ela é executada uma camada de recapeamento asfáltico. Essa camada

propicia um volume de vazios elevados que efetivamente interrompem a propagação das trincas.

3. Espessura de recapeamento aumentada: o aumento da espessura de recapeamento não previne a ocorrência de trincas por reflexão, mas reduz a velocidade de propagação e a severidade das trincas refletidas por reduzir os esforços de flexão e cisalhamento sob a carga e também por reduzir a variação de temperatura na camada de revestimento. Sua relação custo-benefício deve ser considerada em relação a outras técnicas.

Foto 07– Detalhe da espessura do recapeamento asfáltico



Fonte: Acervo próprio (2023).

4. METODOLOGIA

A seguir serão descritos os métodos e procedimentos utilizados para o estudo dos locais analisados (Trechos da rodovia BR – 101 nos KM 91,5 e KM 81,5), entre março/2023 e junho/2023, e os objetivos desejados com essa pesquisa de campo.

4.1 Trecho da BR- 101 KM 91,5 (Nossa Senhora do Socorro)

O primeiro trecho utilizado como local de estudo deste trabalho foi o trecho compreendido no km 91,5 da rodovia BR-101 localizada no município de Nossa Senhora do Socorro, na região da entrada da principal do município de Aracaju, capital do estado de Sergipe (Figura 08). Todavia, o foco principal foi o pavimento flexível da faixa dupla do trecho, em direção a região centro-sul do estado, sentido Itaporanga D'ajuda, região centro-sul do estado, ou seja do km 91,5 em direção ao km 108,3.

Figura 08 – Trecho rodovia BR 101 KM 91,5



Fonte: Google maps (2023).

Foi realizada uma visita *in loco* na qual foi feito o acompanhamento dos serviços de fresagem e recomposição asfáltica do pavimento de pontos previamente mapeados pela equipe prestadora de serviços do DNIT. Esses pontos eram demarcados através do programa VGeo, um Visualizador de Informações Geográficas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), que é um sistema web de dados espaciais desenvolvido pelo setor de geotecnologias do órgão. Esses

locais identificados são parcialmente isolados para permitir o fluxo do tráfego, de modo que não interrompa a passagem dos veículos e que, ao mesmo tempo, permita a execução dos serviços de recuperação do pavimento. Outras eventuais visitas também foram necessárias para o acompanhamento a situação do pavimento asfáltico em termos patológicos, para observar o retorno ou não da patologia que se pretendeu solucionar naquele trecho.

O trecho foi isolado por meio de cones, com placas em determinados lugares informando o andamento dos serviços de recuperação do pavimento, conforme as legislações vigentes. Foram utilizadas para a execução dos serviços a máquina fresadora, para a retirada do pavimento danificado e ao mesmo tempo recolher o material, as quais destroem a camada mais externa do asfaltamento, permitindo o recapeamento da pavimentação de forma mais simples e barata; caminhão caçamba que recebe o material resultante da retirada da camada de asfalto deteriorado para encaminhar a sua devida destinação; a minicarregadeira, realiza serviços de varrição com ajuda de uma vassoura hidráulica acoplada a sua concha e pequenos carregamentos, limpando o local para a próxima etapa dos serviços; logo após entra a máquina pavimentadora de asfalto, a qual implementa toda a nova camada de asfalto novo, para realizar operações de aplicação, nivelamento e pré-compactação do concreto asfáltico, fazendo a recomposição asfáltica do trecho danificado; depois de um tempo entra em ação o rolo compactador para a compactação do material, como o próprio nome diz, compactam. A razão para isso é que cada tipo de solo possui uma densidade, e a maior parte das construções exige uma determinada densidade para ficarem estáveis.

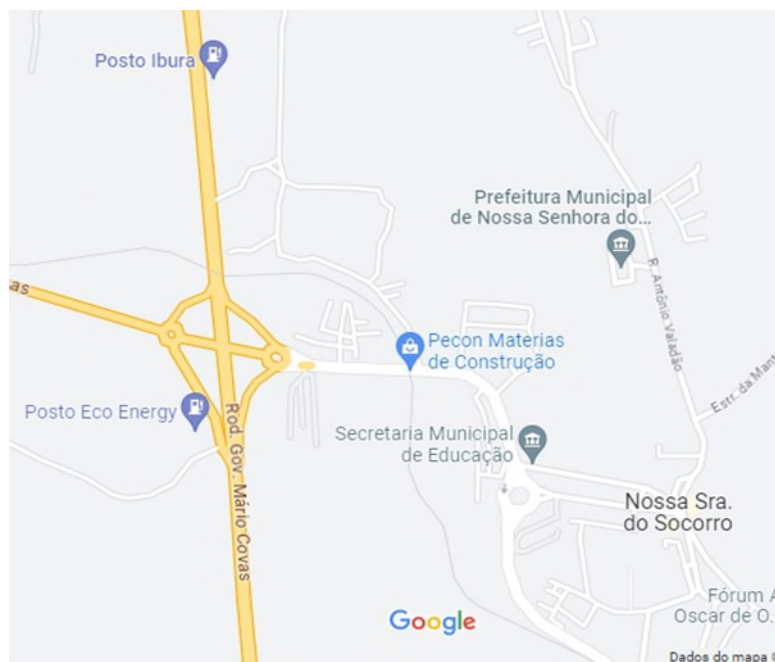
Os serviços de recuperação do pavimento foram realizados na primeira semana do mês de março de 2023, entre os dias 03 e 04, com a equipe DNIT responsável pela execução, no começo do período chuvoso. O retorno para o acompanhamento após os serviços ocorreu no mês de junho de 2023, na última semana do mês, entre os dias 26 e 27, no auge do período chuvoso do ano, após 3 meses da execução dos serviços.

4.2 Trecho da BR- 101 KM 81,5 (Nossa Senhora do Socorro)

O segundo trecho utilizado como local de estudo deste trabalho foi o trecho compreendido no km 81,5,5 da rodovia BR-101 localizada no município de Nossa Senhora do Socorro, na região da entrada da principal do município de Nossa Senhora

do Socorro, na região da grande Aracaju/SE (Figura 09). Todavia, o foco principal foi o pavimento flexível da faixa dupla do trecho, em direção a região centro-sul do estado, sentido Itaporanga D'Ajuda, região centro-sul do estado, ou seja do km 81,5 em direção ao km 108,3.

Figura 09 – Trecho rodovia BR 101 KM 81,5



Fonte: Google maps (2023).

Assim como no primeiro trecho, foi realizada uma visita *in loco* na qual foi feito o acompanhamento dos serviços de fresagem e recomposição asfáltica do pavimento de pontos previamente mapeados pela equipe prestadora de serviços do DNIT. Esses pontos eram demarcados através do programa VGeo, um Visualizador de Informações Geográficas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), que é um sistema web de dados espaciais desenvolvido pelo setor de geotecnologias do órgão. Esses locais identificados são parcialmente isolados para permitir o fluxo do tráfego, de modo que não interrompa a passagem dos veículos e que, ao mesmo tempo, permita a execução dos serviços de recuperação do pavimento. Outras eventuais visitas também foram necessárias para o acompanhamento a situação do pavimento asfáltico em termos patológicos, para observar o retorno ou não da patologia que se pretendeu solucionar naquele trecho.

O trecho foi isolado por meio de cones, com placas em determinados lugares informando o andamento dos serviços de recuperação do pavimento, conforme as legislações vigentes. Foram utilizadas para a execução dos serviços a máquina fresadora, para a retirada do pavimento danificado e ao mesmo tempo recolher o material, as quais destroem a camada mais externa do asfaltamento, permitindo o recapeamento da pavimentação de forma mais simples e barata; caminhão caçamba que recebe o material resultante da retirada da camada de asfalto deteriorado para encaminhar a sua devida destinação; a minicarregadeira, realizam serviços de varrição com ajuda de uma vassoura hidráulica acoplada a sua concha e pequenos carregamentos, limpando o local para a próxima etapa dos serviços; logo após entra a máquina pavimentadora de asfalto, a qual implementa toda a nova camada de asfalto novo, para realizar operações de aplicação, nivelamento e pré-compactação do concreto asfáltico, fazendo a recomposição asfáltica do trecho danificado; depois de um tempo entra em ação o rolo compactador para a compactação do material, como o próprio nome diz, compactam. A razão para isso é que cada tipo de solo possui uma densidade, e a maior parte das construções exige uma determinada densidade para ficarem estáveis.

Como no primeiro trecho, foram executados na primeira quinzena do mês de março a recuperação do pavimento asfáltico, nos dias 08 e 09 do corrente mês, de responsabilidade do DNIT, através de sua equipe seguindo todos os procedimentos já utilizados anteriormente. O início do período chuvoso também afetou o andamento normal do trabalho das equipes de trabalho no trecho, esperando melhores condições no decorrer do tempo para a finalização da recomposição asfáltica. Ao final de decorrido de 3 meses da execução dos serviços, no mês de junho entre os dias 26 e 27, foi realizada a visita no trecho para avaliação.

Foto 08 – Máquina fresadora executando serviço



Fonte: Acervo próprio (2023).

Foto 09– Caçamba recolhendo resíduo de pavimento asfáltico



Fonte: Acervo próprio (2023).

Foto 10 – Vassoura hidráulica



Fonte: Acervo próprio (2023).

Foto 11 – Máquina pavimentadora de asfalto



Fonte: Acervo próprio (2023).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Trecho da BR- 101 KM 91,5 (Nossa Senhora do Socorro)

Retornando após decorrido 3 meses da execução dos serviços, nos dias 26 e 27 de junho, esperando boas condições do tempo, foi observado as condições do pavimento que recebeu a recuperação da camada asfáltica, através de registro fotográfico.

Foto 12 – Trecho KM 91,5



Fonte: Acervo próprio (2023).

No quesito rolamento, o trecho permite o fluxo com conforto e fluidez apesar das condições adversas do clima dos últimos meses. Com um olhar mais aproximado, nota-se pequenas ondulações e alguns danos mecânicos, devido ao fluxo intenso de cargas pesadas, mas que ainda não comprometem a integridade da pista, embora possa futuramente evoluir para algum tipo de patologia no pavimento.

Foto 13 – Trecho KM 91,5 mostrando fluxo de veículos pesados



Fonte: Acervo próprio (2023).

A Figura 14 mostra um leve desgaste que deixa mais nítido os agregados levemente se desgarrando da camada de asfalto e pequenas ondulações.

Foto 14 – Trecho KM 91,5 com leve exposição de agregados e ondulações



Fonte: Acervo próprio (2023).

Este arrancamento progressivo do agregado vai dar origem ao desgaste superficial avançado, o que aparenta baseado na constatação in loco que a médio prazo irá acontecer. O desgaste, conforme o DNIT (2006), é caracterizado pela aspereza superficial. A causa é a volatilização e a oxidação do asfalto, somados a ação abrasiva do tráfego de veículos e do intemperismo. Em idades avançadas, é possível que ocorra o arrancamento desta camada de asfalto.

5.2 Trecho da BR- 101 KM 81,5 (Nossa Senhora do Socorro)

Posteriormente a visita ao trecho do km 91,5, retornando após decorrido 3 meses da execução dos serviços, nos mesmos dias 26 e 27 de junho do corrente ano, com boas condições do tempo, foi observado as condições do pavimento que recebeu a recuperação da camada asfáltica, através de registro fotográfico.

Foto 15 – Trecho KM 81,5 com recomposição executada em meia pista



Fonte: Acervo próprio (2023).

Pode-se observar que os serviços foram executados apenas em meia pista, o que nos apresenta uma melhor perspectiva da qualidade do trabalho de recomposição asfáltica.

Foto 16 – Trecho KM 81,5 com recomposição executada em meia pista



Fonte: Acervo próprio (2023).

Neste trecho, observa-se um leve desgaste do material do pavimento asfáltico e também um leve afundamento, muito provavelmente devido ao curto intervalo de tempo da cura da execução dos serviços para a liberação da pista, aliado às condições adversas do clima, pois trata-se do momento do período chuvoso do ano e ao grande fluxo de veículos pesados no local, por se tratar da proximidade de grandes indústrias de cimento e de fertilizantes na região.

Segundo Silva (2005), quando da passagem de veículos comerciais sobre um pavimento flexível, este está passível de deflexão que vai ocasionar uma deformação

específica; somado a isso, também gera tensões de tração na parte inferior da camada asfáltica, e uma tensão vertical de compressão no topo do subleito do pavimento.

Estas tensões são geradas através das cargas de roda dos pneus dos veículos. Estas tensões e deformações podem ser causadas também pelo gradiente de temperatura e umidade relativa do ar (SILVA, 2005).

Foto 17 – Trecho KM 81,5 com recomposição executada em meia pista



Fonte: Acervo próprio (2023).

6. CONCLUSÕES

Baseado no estudo de caso, foi possível constatar que é necessário o monitoramento constante e a realização de manutenção das rodovias, pois a malha rodoviária ainda é e será por muito tempo o mais importante meio de locomoção deste país. No caso da rodovia BR -101, é recorrente os problemas da qualidade do rolamento do pavimento, visto que o fluxo intenso de veículos de diversos portes, aliado a condições climáticas que se alteram periodicamente durante o ano, com grandes ciclos chuva e de estiagem, provocam o desgaste da camada asfáltica e comprometem a qualidade do tráfego, o conforto e a segurança dos usuários.

Os serviços de fresagem e recomposição asfáltica para garantir a qualidade o pavimento, a curto prazo, garante a normalidade do uso da rodovia, nos trechos analisados. Mas, com os indícios apontados aqui neste trabalho, é possível que os problemas de reparo do pavimento retornem, assim fazendo este método ineficaz para resolver, de fato, o problema.

Recomenda-se para trabalhos futuros a utilização de novos métodos que investiguem melhor as possíveis causas do surgimento das diversas patologias no pavimento asfáltico, que possibilitem, por exemplo, analisar problemas no subleito, pois como o método analisado neste trabalho é superficial e atinge as camadas mais acima do subleito, o problema real pode ser mais profundo no pavimento e estes procedimentos não alcançam o “vilão” do problema.

Rever também os procedimentos de execução da composição das camadas, pois a má execução pode estar influenciando diretamente no tempo de vida da rodovia e na qualidade do rolamento.

A qualidade dos materiais agregados e ligantes asfálticos, embora não sejam objeto de estudo neste trabalho, podem estar colaborando de alguma forma para o surgimento de patologias.

REFERÊNCIAS

- AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de Construção Normas, especificações, aplicação e ensaios de laboratório**. São Paulo: Pini, 2012.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. NORMA. **ASTM D 2872: Effect of heat and air on a moving film of asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test): test. 1978 annual book of ASTM standards**. Philadelphia, Pa., 1978. Acesso em: 21/06/2023.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. NORMA. **ASTM D 1754: Effect of heat and air on asphaltic materials (Thin-Film Oven Test): test. 1978 annual book of ASTM standards**. Philadelphia, Pa., 1978. Acesso em: 21/06/2023.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. NORMA. **T 283-89: resistance of compacted bituminous mixture to moisture induced damage. Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing**. Washington, D.C., 1986. v.2. Acesso em: 21/06/2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Requisitos**. 4. ed. Rio de Janeiro, 2022.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira. SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, ABEDA, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. NORMA. **DNER-ME 035/98: Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”: método de ensaio**. Rio de Janeiro: IPR, 1998. Acesso em: 21/06/2023.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. NORMA. **DNER-ME 054/97: Equivalente de areia: método de ensaio**. Rio de Janeiro: IPR, 1997. Acesso em: 21/06/2023.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. NORMA. **DNER-ME 078/94: Agregado graúdo – adesividade a ligante asfáltico: método de ensaio**. Rio de Janeiro: IPR, 1994. Acesso em: 21/06/2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. NORMA. **DNER-ME 079/94: Agregado - adesividade a ligante asfáltico: método de ensaio.** Rio de Janeiro: IPR, 1994. Acesso em: 21/06/2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. NORMA. **DNER-ME 086/94: agregados – Determinação do índice de forma: método de ensaio.** Rio de Janeiro: IPR, 1994. Acesso em: 21/06/2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. NORMA. **DNER-ME 089/94: Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio: método de ensaio.** Rio de Janeiro: IPR, 1994. Acesso em: 21/06/2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. NORMA. **DNER-ME 138/94: Misturas asfálticas – determinação da resistência à tração por compressão diametral: método de ensaio.** Rio de Janeiro: IPR, 1994. Acesso em: 21/06/2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. NORMA. **DNER-EM 367/97: Material de enchimento para misturas asfálticas: especificação de material.** Rio de Janeiro: IPR, 1997. Acesso em: 21/06/2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. NORMA. **DNIT 031/2016 – ES. Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2006. Acesso em: 10/05/2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. NORMA. **DNIT 035/2016 – ES. Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2006. Acesso em: 21/06/2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. NORMA. **DNIT. Manual de Pavimentação.** 3.ed – Rio de Janeiro, 2006b. 274 p. (IPR. Publ., 719). Acesso em: 10/05/2023.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação: volume 1.** São Paulo: Pini, 2007.

DNIT. **Visualizador DNITGeo.** Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/dnit-geo>. Acesso em: 23/06/2023.

MARANGON, Ederli. **Desenvolvimento e caracterização de concretos autoadensáveis reforçados com fibra de aço.** Dissertação – Programa de Pós Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, Paulo Fernando A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. São Paulo: Pini, 2005.