



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ**  
**PRÓ - REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**EDIVALDO CARDOSO TORRINHA NETO**

**DIAGNÓSTICO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS. ESTUDO DE  
CASO: RUA LEOPOLDO MACHADO, TRECHO ENTRE AS AVENIDAS 13 DE  
SETEMBRO E DOS TIMBIRAS.**

**MACAPÁ**

**2024**

**EDIVALDO CARDOSO TORRINHA NETO**

**DIAGNÓSTICO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXIVEIS. ESTUDO DE  
CASO: RUA LEOPOLDO MACHADO, TRECHO ENTRE AS AVENIDAS 13 DE  
SETEMBRO E DOS TIMBIRAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil, pela Universidade Federal do Amapá.

Orientador: Me. Adenilson Costa de Oliveira

MACAPÁ

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP  
Elaborado por Maria do Carmo Lima Marques – CRB-2 / 989

---

T668d

Torrinha Neto, Edivaldo Cardoso.

Diagnóstico e reabilitação de pavimentos flexíveis. Estudo de caso: Rua Leopoldo Machado, trecho entre as avenidas 13 de Setembro e dos Timbiras. / Edivaldo Cardoso Torrinha Neto. - Macapá, 2024.

1 recurso eletrônico. 83 folhas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Engenharia Civil, Macapá, 2024.

Orientador: Adenilson Costa de Oliveira.  
Coorientador.

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Pavimento Flexível. 2. Patologias. 3. Recuperação. I. Adenilson Costa de Oliveira, orientador. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 625.85

---

TORRINHA NETO, Edivaldo Cardoso. **Diagnóstico e reabilitação de pavimentos flexíveis. Estudo de caso:** Rua Leopoldo Machado, trecho entre as avenidas 13 de Setembro e dos Timbiras. Orientador: Adenilson Costa de Oliveira. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Civil. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2024.

**DIAGNÓSTICO E REABILITAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXIVEIS. ESTUDO DE  
CASO: RUA LEOPOLDO MACHADO, TRECHO ENTRE AS AVENIDAS 13 DE  
SETEMBRO E DOS TIMBIRAS.**

Por

**EDIVALDO CARDOSO TORRINHA NETO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado  
como requisito parcial para a obtenção de grau  
de Bacharel em Engenharia Civil, pela  
Universidade Federal do Amapá.

---

Prof. Me. Adenilson Costa de Oliveira  
(Orientador)

---

Prof. Me. José Vitor Borges de Assis  
Examinador Interno – UNIFAP

---

Prof. Me. Nathalia Gonçalves Font  
Examinador Interno – UNIFAP

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os que fizeram parte da minha trajetória durante a graduação, aos meus professores que contribuíram positivamente para que eu pudesse alcançar as melhores experiências durante essa etapa, em especial ao professor Adenilson Oliveira por sempre aliar o lado humano com o profissional, fazendo com que transmitisse da melhor forma os ensinamentos, orientações nas aulas e no processo de realização desse projeto.

A minha mãe por sempre acreditar no meu potencial, fazendo de tudo para que eu pudesse trilhar o melhor caminho durante toda a minha vida, me dando educação para que eu fosse um homem íntegro e de caráter.

Ao meu pai Marcelo, que sempre me apoiou nas minhas escolhas, me dando discernimento e ferramentas para que eu conquistasse todos meus objetivos, sempre estando ao meu lado e batalhando para proporcionar o que há de melhor nessa vida.

À minha irmã, Marjory, que sempre foi meu porto seguro em todos os momentos, com cumplicidade e confiança, me dando forças para superar todas as dificuldades que a vida nos apresentou.

## RESUMO

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o censo 2022 revelou que a frota nacional de veículos passou de aproximadamente 45 milhões em 2006 para 115 milhões atualmente, um aumento de 155,65%. Isso demonstra a enorme necessidade de se ter vias urbanas com um bom nível de conservação do seu pavimento, para que assim suporte ainda mais tráfego já existente e o crescimento acelerado do fluxo de veículos com o decorrer dos anos. Com o intuito de investigar, determinar e mitigar as manifestações patológicas encontradas em uma via coletora de relevância para o município de Macapá – AP, buscando-se identificar quais os defeitos mais frequentes e quais agentes os provocaram. Desenvolveu-se um estudo de caso com o objetivo de investigar ao longo de um período de quatro anos as principais manifestações patológicas e defeitos no trecho, apontando medidas de correção e/ou prevenção viáveis tecnicamente e diferente das já adotadas que apresentaram uma baixa efetividade. Considerando a importância e grande fluxo de veículos que diariamente fazem uso da via, foi escolhido o trecho da Rua Leopoldo Machado para ser foco do estudo de caso, mais especificamente entre as avenidas Treze de Setembro e dos Timbiras. Por meio da coleta de dados em campo, sugere-se uma nova proposta por meio da reabilitação por reciclagem, a fim de aumentar a vida útil do pavimento levando em consideração a relação custo-benefício.

Palavras-Chave: Pavimento Flexível. Patologias. Recuperação.

## **ABSTRACT**

According to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), the 2022 census revealed that the national vehicle fleet has grown from around 45 million in 2006 to 115 million today, an increase of 155.65%. This demonstrates the enormous need to have urban roads with a good level of sidewalk maintenance, so that they can withstand even more existing traffic and the accelerated growth in the flow of vehicles over the years. In order to investigate, determine and mitigate the pathological manifestations found on a major collector road in the municipality of Macapá - AP, we sought to identify the most frequent defects and the agents that caused them. A case study was carried out with the aim of investigating the main pathological manifestations and defects on the stretch over a period of four years, pointing out technically feasible correction and/or prevention measures that differ from those already adopted, which have shown low effectiveness. Considering the importance and large flow of vehicles that use the road on a daily basis, the stretch of Rua Leopoldo Machado was chosen to be the focus of the case study, specifically between Avenida Treze de Setembro and Avenida dos Timbiras. By collecting data in the field, a new proposal is suggested through rehabilitation by recycling, in order to increase the useful life of the sidewalk taking into account the cost-benefit ratio.

Keywords: Flexible Pavement. Pathologies. Recovery.

## **LISTRA DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> - Camadas do pavimento.....	8
<b>Figura 2</b> - Seção transversal exemplificando a pavimentação rígida .....	9
<b>Figura 3</b> - Seção transversal exemplificando a pavimentação flexível .....	10
<b>Figura 4</b> - Seção transversal exemplificando a pavimentação rígido .....	11
<b>Figura 5</b> - Corpos de Prova de CBUQ.....	13
<b>Figura 6</b> - Trechos em tratamento superficial simples (TSS).....	15
<b>Figura 7</b> - Trechos em tratamento superficial duplo (TSD) .....	16
<b>Figura 8</b> - Trechos em tratamento superficial triplo (TST) .....	17
<b>Figura 9</b> - Tratamentos superficiais .....	17
<b>Figura 10</b> - Tratamentos superficiais com capa selante.....	18
<b>Figura 11</b> - Remendos.....	21
<b>Figura 12</b> - Escorregamento .....	22
<b>Figura 13</b> - Trincas Couro de Jacaré.....	23
<b>Figura 14</b> - Trinca longitudinal.....	24
<b>Figura 15</b> - Trinca transversal.....	25
<b>Figura 16</b> - Buraco (Panela) .....	26
<b>Figura 17</b> - Desgaste.....	27
<b>Figura 18</b> - Afundamento em trilha de roda .....	28
<b>Figura 19</b> - Recicladora com adição de cimento .....	32
<b>Figura 20</b> - Reaproveitamento do asfalto fresado na planta .....	33
<b>Figura 21</b> - Manifestação patológica, 2020 .....	35
<b>Figura 22</b> - Intervenção como medida de manutenção, 2020.....	35
<b>Figura 23</b> - Instalação da geogrelha, 2021.....	36
<b>Figura 24</b> - Recapeamento da via, 2021 .....	36
<b>Figura 25</b> - Recorrência da degradação da via, 2022 .....	37
<b>Figura 26</b> - Recorrência da degradação da via, 2022 .....	37
<b>Figura 27</b> – Trilha de roda, 2024 .....	38
<b>Figura 28</b> – Remendo e trincas longitudinais, 2024 .....	39
<b>Figura 29</b> – Remendo e escoamento, 2024.....	39
<b>Figura 30</b> - Localização da via e os trechos de análise.....	40
<b>Figura 31</b> - Determinação dos pontos analisados no trecho .....	42
<b>Figura 32</b> - Desgaste (Ponto 01).....	43
<b>Figura 33</b> - Remendo e escorregamento (Ponto 01).....	44

<b>Figura 34</b> – Trinca longitudinal (Ponto 01) .....	44
<b>Figura 35</b> - Buraco - Panela e Trincas Longitudinais (ponto 02) .....	46
<b>Figura 36</b> - Trincas transversais e buraco – panela (ponto 02).....	47
<b>Figura 37</b> - Desgaste (ponto 2) .....	48
Figura 38 -Afundamento por trilha de roda (ponto 02) .....	49
<b>Figura 39</b> - Trica Couro de Jacaré (ponto 03) .....	50
<b>Figura 40</b> - Desgaste (ponto 03) .....	51
<b>Figura 41</b> - Trinca longitudinal (ponto 03).....	52
<b>Figura 42</b> – Desgaste e escoamento (ponto 04).....	53
<b>Figura 43</b> - Trincas longitudinais (ponto 04).....	54
Figura 44 - Buraco - panela e trincas longitudinais (ponto 04).....	55
<b>Figura 45</b> - Desgaste (ponto 05) .....	55
<b>Figura 46</b> - Buraco - panela (ponto 05) .....	56
<b>Figura 47</b> - Escoamento e remendo (ponto 05) .....	57
<b>Figura 48</b> - Ensaio feito na esquina entre a Rua Manoel Eudócio Pereira e Av. Anhanguera	59
<b>Figura 49</b> - Ensaio de sondagem na região do estudo de caso .....	60
<b>Figura 50</b> - cilindro especial para corte e trituração da recicladora de asfalto .....	63
<b>Figura 51</b> - Execução da reciclagem na orla de Macapá - AP .....	64
<b>Figura 52</b> - Planilha Orçamentária para os serviços de reabilitação do trecho analisado .....	65

## **LISTRA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

NBR – NORMA BRASILEIRA

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES

PEMR – PLANO DE EXECUÇÃO DA MANUTENÇÃO RODOVIÁRIA

PMM – PREFEITURA MUNICIPAL DE MACAPÁ

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1 Objetivos</b> .....	4
1.1.1 Objetivo geral .....	4
1.1.2 Objetivo específico .....	4
<b>1.2 Justificativa</b> .....	4
<b>1.3 Problema</b> .....	5
<b>1.4 Hipótese</b> .....	5
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	6
<b>2.1 Tipos de pavimento – Terminologia e classificação</b> .....	8
2.1.1 Pavimento rígido .....	8
2.1.2 Pavimento flexível .....	9
2.1.3 Pavimento semirrígido .....	10
2.1.4 Revestimentos betuminosos para pavimentos flexíveis .....	11
2.1.5 Concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) .....	12
2.1.6 Binder .....	13
2.1.7 Tratamento superficial .....	14
2.1.8 Capa selante .....	17
<b>2.2 Vida útil do pavimento</b> .....	19
<b>2.3 Manifestações patológicas em pavimentos flexíveis</b> .....	20
2.3.1 Remendos .....	20
2.3.2 Escorregamento .....	21
2.3.3 Trincas couro de jacaré .....	22
2.3.4 Trincas longitudinais .....	23
2.3.5 Trincas transversais .....	24
2.3.6 Buraco – “panela” .....	25
2.3.7 Desgaste .....	26
2.3.8 Afundamento em Trilha de Roda - ATR .....	28
<b>3 MANUTENÇÃO DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS</b> .....	29
<b>3.1. Reciclagem do pavimento flexível</b> .....	31
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	34
<b>4.1 Análise da recorrência das manifestações patológicas no trecho ao longo do tempo</b> .....	34
<b>5 CARACTERIZAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO</b> .....	40
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	42
6.1.1 Caracterização do subleito .....	58
6.1.2 Ensaio de sondagem na região do estudo de caso .....	59

<b>6.2 Proposta para recuperação do pavimento flexível</b> .....	61
6.2.1 Reciclagem da base com adição de cimento e recapeamento do revestimento .....	62
6.2.2 Estimativa de custo para execução do processo de recuperação da via .....	64
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	67
<b>8 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	69
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	71

## 1 INTRODUÇÃO

A execução errônea dos processos de pavimentação faz com que a vida útil dos pavimentos seja acelerada de forma não planejada, ocasionando o surgimento de patologias que, somadas ao clima muito úmido e em certos períodos do ano bastantes chuvosos em Macapá, causam prejuízos ao tráfego de veículos e ao governo que constantemente precisa fazer a manutenções na malha rodoviária. As características relacionadas a resistência ao tráfego contínuo que, somadas ao fluxo esperado, às variações de temperatura e clima, irão definir a resposta do pavimento às cargas de tráfego (BERNUCCI et al., 2006; SENÇO, 1997).

De certa forma, os danos estruturais e funcionais são fatores inevitáveis com o passar do tempo, que somados com as problemáticas citadas acima e a capacidade de carga dos pavimentos, são determinantes para o nível de degradação da via ter seu processo acelerado e conseqüentemente a vida útil ser reduzida drasticamente.

A constituição do pavimento sendo uma estrutura de camadas de espessuras finitas, construída sobre a estrutura final de terraplanagem que, além de resistir ao tráfego de veículos e variações sazonais do clima, possibilita o ir e vir com maior conforto, segurança e economia (BERNUCCI et al., 2006; SENÇO, 1997), é necessário conhecer os agentes que provocam os diversos tipos de defeitos e estimulam o aparecimento das falhas de forma recorrente, para que assim seja possível identificar os motivos dos problemas nas vias, e conseqüentemente, buscar a solução mais adequada para cada tipo de deterioração, visando viabilizar da melhor forma a utilização da malha rodoviária.

O trecho da rua Leopoldo Machado, entre as Avenidas Treze de Setembro e dos Timbiras, localizada no município de Macapá – AP, é uma via de grande fluxo e mobilidade do tráfego de veículos, classificada como coletora e que recebe bastante influência de vias transversais, apresenta pontos negativos por ter recorrentes manifestações patológicas ao longo dos anos, mesmo passando por diversas fases em que houveram tentativas de reabilitar essa que é uma das mais importantes ruas da cidade. Acerca disso, o questionamento é qual seria o diagnóstico atual da via em questão?

O asfalto tem sido o principal material aglutinante utilizado na construção de vias urbanas e rodovias, porém o crescimento acelerado do número de veículos particulares e de carga tem degradado os pavimentos de formas inesperadas, elevando os números de intervenções e os custos de manutenção, gerando engarrafamentos, atrasos aos usuários e acidentes. Apesar de um excelente material aglutinante, o asfalto apresenta limitações

consideráveis (Oliveira, 2018). Em consideração a problemática apresentada e em conjunto com método de observação, é possível insinuar que as falhas recorrentes possuem razões que poderiam ser previstas como: materiais utilizados de baixa qualidade e não adequados para o trecho em questão, planejamento estrutural com base em um defasado dado de quantidade do tráfego que de fato utiliza diariamente a via e processos errôneos de ações de conservação e manutenção.

Logo, o trabalho em questão busca propor medidas corretivas para que a vida útil da malha rodoviária atenda a necessidade de tráfego, mostrando o estado do pavimento ao longo dos anos e como está atualmente, ocorrendo a examinação da ruptura nos pavimentos, de maneira sucinta, para respaldar uma série de indagações a respeito de classificações e terminologias utilizadas na identificação de imperfeições.

É de conhecimento de todos que a cidade de Macapá vem sofrendo com os problemas de pavimentação, apesar dos órgãos competentes tentarem solucionar essa problemática, os esforços nem sempre estão suprindo a necessidade de resolver as anormalidades que são vistas nas vias urbanas. Portanto, é de suma importância mensurar as patologias presentes na via da rua Leopoldo Machado, especificamente o trecho entre as Av. Treze de Setembro e dos Timbiras, que possuem um altíssimo fluxo de veículos, visando a segurança e o bem estar de quem utiliza, existindo a grande urgência na correção e restauração dos pontos indicados como os mais deteriorados.

Acerca do que foi introduzido, este projeto de pesquisa tem como objetivo geral indicar ações corretivas das falhas da rua Leopoldo Machado, a fim ramificar seu estudo para os seguintes tópicos: aprofundar os conhecimentos sobre pavimentação e seus processos de avaliação; reunir dados sobre as ações e serviços que foram feitos nas camadas da rua Leopoldo Machado; Visita in loco para identificar as patologias existentes atualmente, que impedem a vida útil mínima de 10 anos como diz o IPR -720 - Manual de Restauração do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT e Pavimento Asfáltico e que são classificadas de acordo com as normas do DNIT PRO 006/2003, registrando por meio de fotografias o que foi encontrado; determinar o grau de deterioração do trecho analisado, indicando a severidade dos problemas do pavimento.

Buscando desenvolver conhecimentos através de análises e ações na prática prevista, lidando com investigações por meio de modelo teóricos já existentes, a finalidade da pesquisa pode ser enquadrada como aplicada, portanto, criando dados para auxiliar no estudo da área em que o projeto está sendo desenvolvido. Além de possuir uma conduta classificada como mista, por se basear em métodos e práticas estatísticas, logo, possuindo um viés exploratório e

tendo como referência principal DNIT - PRO 006/2003, buscando identificar e determinar o estado atual do pavimento aprofundando sobre as origens e características das manifestações patológicas presentes.

Inicialmente, o primeiro capítulo delinea os objetivos, os quais representam as metas específicas que se almeja alcançar com a pesquisa. Em seguida, é exposta a justificativa, que consiste na fundamentação do estudo, destacando sua relevância e contribuição para o campo científico ou para a sociedade em geral. Esta seção busca responder ao questionamento do porquê o tema escolhido é digno de investigação. Após isso, é apresentado o problema de pesquisa, que representa a lacuna no conhecimento que se pretende preencher, logo, a questão que se deseja responder, definindo os limites da pesquisa. Por fim, é elaborada a hipótese, que consiste em uma suposição para a resolução dos questionamentos e problemas apresentados, devendo ser clara e estar alinhada com os objetivos propostos

No capítulo dois, é apresentado os principais conceitos, teorias e embasamentos científicos que serão usados no decorrer do trabalho. Acerca disso, é descrito as terminologias dos tipos de pavimentos, os componentes principais desse elemento a vida útil e os tipos de manifestações que podem ocorrer nesse tipo de estrutura.

O capítulo três tem o intuito de expor os tipos de manutenções e intervenções que podem ser feitas para minimizar ou pôr fim no problema vigente na malha rodoviária, tendo como base principalmente a literatura oriunda do DNIT. Nessa etapa, será conceituada as metodologias que são utilizadas para a revitalizações das vias, que já foram testadas e validadas.

Já no capítulo quatro, é indicado os métodos que foram utilizados para a composição das informações utilizadas para análise do estudo de caso, seja por referencias externas ou por dados coletados pelo autor diretamente na área que é foco desse projeto. Além de discorrer sobre o histórico de problemas e intervenções que foram feitas no trecho de análise nos últimos quatro anos.

A respeito do capítulo cinco, a via é caracterizada e classificada de acordo com sua utilização, indicando as faixas de rolamento dentro do techo determinado que possuem influência sobre a rua Leopoldo Machado na qual está focando a análise das manifestações patológicas.

Se encaminhando para o final, o capítulo apresenta os resultados e discussões que o trabalho proporcionou, sendo composto por dados coletados pelo autor como imagens atuais da via, expondo as manifestações patológicas presentes, caracterizando a origem dessas

imperfeições, além de discorrer sobre a resistência do solo e medida que poderia ser tomada para revitalizar, minimizar e prolongar a vida útil do pavimento.

Finalizando com o capítulo sete, no qual se trata da conclusão do trabalho, respondendo os questionamentos surgidos e objetivos que foram traçados ao longo do trabalho, e capítulo oito que indica possíveis trabalhos futuros que podem aprofundar os conhecimentos sobre o estudo de caso e, conseqüentemente, buscando mais alternativas de melhora para o trecho entre a Av. Treze de Setembro e dos Timbiras, na rua Leopoldo Machado.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Analisar o estado de conservação do pavimento asfáltico executado na rua Leopoldo Machado, no município de Macapá – AP, pela realização da avaliação superficial do pavimento, por meio da coleta de dados com visitas in loco e informações históricas.

### **1.1.2 Objetivo específico**

A partir da Avaliação Superficial do Pavimento, pode-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar as manifestações patológicas do trecho verificado;
- Propor uma possível intervenção para mitigar os defeitos encontrados no pavimento.
- Presumir o custo associado da intervenção proposta.

## **1.2 Justificativa**

A excelência dos pavimentos é fundamental para o progresso econômico e social de uma localidade. Os pavimentos flexíveis, constituem parte essencial da infraestrutura viária, estando sujeitos a desgastes ao longo do tempo devido aos esforços do tráfego, variações climáticas e outros fatores. O constante monitoramento é de suma importância para prever a necessidade de manutenção e reabilitação do pavimento, assegurando a utilização da via por meio dos usuários com segurança e comodidade.

O pavimento da rua Leopoldo Machado, do município de Macapá – AP, encontra-se com sua superfície comprometida no trecho analisado, apesar de passar por diversas

intervenções nos últimos anos, o que interfere nas condições de trafegabilidade da via. Para isto, é necessária a análise do pavimento existente para identificar sua real condição e buscar possíveis métodos para sua reabilitação, levando em consideração a relação custo-benefício.

### **1.3 Problema**

Por meio da contextualização feita, identificamos o seguinte problema: quais os motivos que fazem com que a Rua Leopoldo Machado apresente recorrentes manifestações patológicas e quais alternativas poderiam assegurar a vida útil do pavimento?

### **1.4 Hipótese**

Partindo da hipótese de que, apesar de já ter passado por diversas manutenções feitas recentemente, o pavimento da rua Leopoldo Machado, apresenta atualmente um alto grau de defeitos em sua malha rodoviária que, corriqueiramente, volta a surgir. Sendo assim, existe a urgente necessidade de realizar intervenções para mitigar as manifestações patológicas originadas pelas ações do tráfego e tempo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A história da pavimentação no Brasil é intrinsecamente ligada ao desenvolvimento socioeconômico do país, refletindo avanços tecnológicos, mudanças urbanas e a busca por soluções que proporcionem melhores condições de mobilidade, isso fica claro em Freitas (2015) no qual é traçado um paralelo desses aspectos desde os primeiros povos organizados até o início do século XX. Ao longo das últimas décadas, o Brasil testemunhou uma evolução significativa nas técnicas de pavimentação, desde as estradas rudimentares até as modernas rodovias e vias urbanas.

No decorrer do processo citado acima, é que a indústria toma um grande lugar de destaque, por existir a extrema necessidade de interligar as principais regiões do Brasil através da construção de uma malha rodoviária que atendesse o crescimento acelerado da demanda de transporte de interesse individual e econômica industrial no país, facilitando o escoamento com eficiência e mais rapidez (OLIVEN, 1988, p. 65).

Os pavimentos podem fazer o uso de materiais diversos e ter sua aplicabilidade para ações variadas, mas independente da sua função a finalidade da pavimentação sempre remeterá ao que diz Balbo (2016, p. 4),

Pavimentar uma via de circulação de veículos é obra civil que enseja, antes de tudo, a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície, mais regular (garantia de melhor conforto no deslocamento de veículo), uma superfície mais aderente (garantia de mais segurança em condições de pista úmida ou molhada), uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos (garantia de melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais), seja qual for a melhoria física oferecida (Balbo, 2016, p. 4)

Ainda sobre a conceituação do que é pavimento, para Senço (1997) e Melo (2010) o pavimento é a estrutura localizada sobre a terraplenagem, tendo os aspectos de aprimorar a segurança e conforto no uso das vias, ter a resistência a esforços verticais que se originam do tráfego de veículos e dispersar no decorrer do terreno em que se situa, suportar ao desgaste oriundos dos esforços horizontais, conseqüentemente, fazendo com que o pavimento tenha uma vida útil maior, manter as características necessárias para um grau de qualidade aceitável mesmo exposto diariamente a ações do intemperismo causados pelos agentes climáticos.

Na literatura acerca da metodologia de classificação dos pavimentos no meio acadêmico e profissional existem diversos debates para suas definições, isso ocorre devido às variadas alternativas estruturais que são utilizadas. Apesar do pavimento possuir uma composição de várias camadas, comumente as definições mais tradicionais são classificadas em três tipos:

rígidos, flexíveis e semirrígidos, que possuem aplicabilidades e execuções diferentes (Bernucci et al. 2006). Segundo Augusto Júnior (1992), determina que os pavimentos são compostos basicamente pelas camadas:

- Subleito: trata-se da extensa camada do pavimento, que se considera como a fundação da faixa de rolamento, sendo considerado apto a receber o pavimento quando o Índice de Suporte Califórnia (ISC – CBR California Bearing Ratio) for no mínimo 2% e a expansão volumétrica  $\leq 2\%$  ou conforme especificado em projeto (DNIT, 2006).

- Reforço de subleito: possui o intuito de melhorar as características de resistência e capacidade estrutural do pavimento, logo, possuindo aspectos melhores que os materiais já existente no subleito (DNIT, 2006). Sendo assim, pode ou não ser necessário, dependerá das características do subleito.

- Sub-base: é a camada que fica entre a base e o subleito, empregada normalmente para a correção deste. Além de possuir o objetivo de reduzir a quantidade de material utilizada na base, que por padrão utiliza materiais mais nobres, portanto, com valores econômicos maiores. Como algumas das alternativas de materiais para essa etapa se tem o cascalho, solo-cal, solo-cimento (SILVA, 2008).

- Base: A mais importante função da base é diluir os esforços verticais que se originam dos veículos, distribuindo-os uniformemente à sub-base, reforço e subleito, com isso, aumentando a resistência a deformações e deterioração do pavimento (SENÇO, 1997).

- Revestimento: é a camada que fica na parte mais superficial da composição, tendo o maior contato com o tráfego de veículos, logo, submetido diretamente a esforços de tração e compressão oriundas das ações na faixa de rolamento. Tem a principal função de trazer segurança e conforto para quem utiliza, através de uma superfície regularizada, que possa proporcionar a impermeabilização e em paralelo um bom sistema de drenagem, além de resistir a intempéries causadas pela abrasão (DNIT,2006). Na figura 01, é possível visualizar as disposições das camadas do pavimento.

**Figura 1** - Camadas do pavimento



Fonte: Master Plate, 2024

## **2.1 Tipos de pavimento – Terminologia e classificação**

### **2.1.1 Pavimento rígido**

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), os pavimentos de natureza rígida são caracterizados pelo fato de que a camada superior apresenta uma alta rigidez em comparação com as estruturas inferiores, absorvendo, dessa forma, praticamente todas as tensões provenientes da carga que está sendo aplicada. As camadas subjacentes acabam sendo mais protegidas, pois o pavimento rígido cria uma área de deformação menor que em comparação aos pavimentos flexíveis (RODRIGUES, 2003).

Sua pouca deformação perpassa pelo fato de sua execução ser feita com placas de concreto, que trabalham predominantemente à tração. A placa geralmente se localiza sobre uma sub-base, como mostra a figura 02, composta de material granular ou estabilizado por cimento e essa, sobre o subleito ou quando necessário, sobre o reforço do subleito (BERNUCCI et al., 2006).

**Figura 2** - Seção transversal exemplificando a pavimentação rígida



Fonte: Moura, 2023

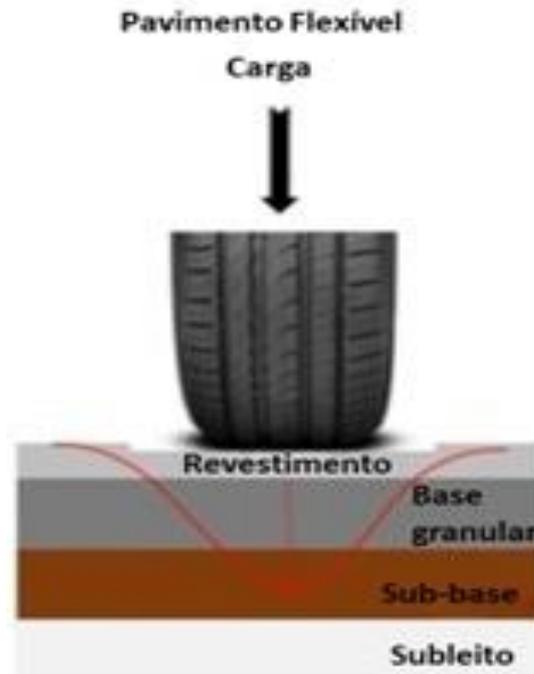
### 2.1.2 Pavimento flexível

Caracterizado por sua capacidade de flexão e deformação sob a ação de cargas e tráfego, sendo projetado para distribuir as cargas de maneira eficaz ao longo de sua estrutura, ou seja, a carga se distribui de forma equivalente por todo o segmento. Composto por várias camadas, cada uma com uma função específica, com isso, a camada de rolamento pode se adaptar as deformações provocadas na camada da base (BERNUCCI et al, 2006). É exemplificado na figura 03.

Outro conceito para a determinação do que é pavimento flexível pode ser encontrado no Manual de Pavimentação – DNIT (2006), quando o mesmo descreve como:

Aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica (Manual de Pavimentação – DNIT, 2006, p. 95).

**Figura 3** - Seção transversal exemplificando a pavimentação flexível



Fonte: Moura, 2023

### 2.1.3 Pavimento semirrígido

Este tipo de pavimento pode ser considerado estar na fase intermediária entre o rígido e o flexível, no qual busca combinar a durabilidade e a resistência do pavimento rígido com a capacidade de deformação limitada dos pavimentos flexíveis. Caracterizando-se por possuir bases cimentadas sob o revestimento asfáltico, somadas com algum material aglutinante também com propriedades cimentícias, podendo ser uma camada solo cimento revestida por uma camada asfáltica por exemplo (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – DNIT 2006)

Segundo Oliveira (2018), é um tipo de pavimento indicado para mobilidade de tráfego de veículos pesados, sujeito a deformações, mas que não possuem atividades com cargas estáticas, como por exemplo locais com pontos de ônibus. Em comparação com o pavimento rígido, a figura 04 mostra que sua execução e manutenção são mais práticas, indicado para obras que busquem minorar os custos de implantação, e em paralelo com o flexível, pode sofrer o processo de reciclagem.

**Figura 4** - Seção transversal exemplificando a pavimentação rígido



Fonte: Moura, 2023

#### 2.1.4 Revestimentos betuminosos para pavimentos flexíveis

De acordo com a Confederação Nacional de Transporte – CNT (2017), o pavimento flexível emerge como a solução mais amplamente adotada para infraestruturas viárias no Brasil, sendo 99% dos pavimentos utilizados atualmente classificados como flexíveis, e essa preferência é fundamentada em diversas considerações técnicas e práticas, respaldadas por referências relevantes.

O Brasil, com sua vasta extensão territorial e diversidade geográfica, demanda soluções de pavimentação que se adaptem a uma gama variada de condições. O pavimento flexível, composto por camadas de asfalto e base granular, demonstra uma notável adaptabilidade. Essa característica é ressaltada por estudos vistos no DNIT (2006), que enfatiza a eficácia do pavimento flexível em lidar com deformações elásticas significativas em todas as suas camadas quando submetidos a esforços.

As variações climáticas e as peculiaridades do solo brasileiro exigem uma pavimentação resiliente. O pavimento flexível, com sua capacidade de acomodar movimentações do solo e responder a flutuações térmicas, apresenta-se como uma opção robusta. Estudos de Oliveira (2018) corroboram essa vantagem, destacando a capacidade do

pavimento flexível em minimizar deformações causadas por mudanças climáticas e movimentos do solo.

A durabilidade é um aspecto crucial na escolha do tipo de pavimento, considerando a variedade de condições de tráfego no Brasil. O pavimento flexível, quando adequadamente projetado, construído e mantido, demonstra uma vida útil prolongada. Referências como o estudo de Silva (2008) evidenciam a capacidade do pavimento flexível em proporcionar resistência ao desgaste, contribuindo para a redução dos custos de manutenção a longo prazo. A praticidade na construção e manutenção é um fator determinante na escolha do pavimento flexível. A capacidade de realizar intervenções localizadas de forma rápida e eficiente minimiza os impactos no tráfego e assegura a funcionalidade contínua das vias.

A legislação e as normas técnicas desempenham um papel significativo na preferência pelo pavimento flexível no Brasil. A conformidade com diretrizes estabelecidas por órgãos reguladores fortalece a escolha desse tipo de pavimento. Referências como as normas da ABNT e resoluções do DNIT estabelecem critérios que frequentemente respaldam a aplicação do pavimento flexível, promovendo a uniformidade e a qualidade na execução de projetos viários.

Em síntese, a escolha do pavimento flexível no Brasil é fundamentada em evidências técnicas e nas necessidades específicas do país. As referências citadas corroboram a eficácia desse tipo de pavimento em adaptar-se a diversas condições geotécnicas, resistir a variações climáticas, proporcionar durabilidade e facilitar processos construtivos e de manutenção (OLIVEIRA, 2018). O pavimento flexível, ancorado em uma base de conhecimento sólida, continua a ser a opção mais utilizada para as redes viárias brasileiras.

#### 2.1.5 Concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ)

O concreto betuminoso a quente (CBUQ), visto na figura 05, é um tipo de pavimento asfáltico utilizado em rodovias, ruas e estruturas de pavimentação. Ele é composto por uma mistura homogênea de agregados minerais, como pedra britada, areia, filer mineral, e um ligante asfáltico, geralmente betume modificado ou convencional. Essa mistura é produzida em uma usina de asfalto a quente, onde os materiais são aquecidos a temperaturas elevadas antes de serem combinados, sendo um dos tipos mais empregados no Brasil (BERNUCCI et al., 2006).

Sobre o que diz (Oliveira, 2018) a respeito do CBUQ, o ligante asfáltico desempenha o papel de agente de união, aderindo às partículas minerais e constituindo uma massa coesa. Esse

ligante é insolúvel em água, assumindo, portanto, a função de agente impermeabilizante na mistura. Sendo a interação entre a composição mineral e ligantes asfáltico originando uma estrutura robusta e resistente a impactos. O CBUQ é uma mistura de máxima qualidade, em que um controle rigoroso na dosagem, combinação e implementação deve atender aos requisitos de estabilidade, durabilidade, maleabilidade e resistência ao deslizamento (MARQUES, 2006).

**Figura 5** - Corpos de Prova de CBUQ



Fonte: Vogelsanger Britagem, 2021

#### 2.1.6 Binder

O termo "binder" na pavimentação refere-se a um componente crucial nos materiais asfálticos utilizados na construção de pavimentos. O binder, também conhecido como ligante asfáltico, desempenha um papel fundamental na coesão e na durabilidade das misturas asfálticas. De acordo com o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná - DER/PR, esse tipo de CBUQ é indicado para formar a camada de ligação da pavimentação, pelo fato de ter agregados minerais com maior diâmetro de graduação, maior porcentagem de vazios e menor porcentagem de material de enchimento (filler) e de ligante betumoso, gerando também uma economia financeira. Esse material vai abaixo da capa asfáltica e faz a ligação da primeira camada com as camadas da base.

Conforme delineado pelo "Manual de Pavimentação" do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), o binder é responsável por conferir coesão à

mistura asfáltica, garantindo a união eficiente entre os agregados minerais presentes na composição do pavimento. Essa coesão é essencial para a resistência do pavimento aos esforços dinâmicos gerados pelo tráfego. Além da coesão, atua como um agente impermeabilizante, ele protege a mistura asfáltica contra a penetração de água e outros agentes externos, contribuindo para a preservação da estrutura do pavimento e prolongando sua vida útil.

A classificação dos binders é um aspecto crucial na pavimentação. A norma brasileira NBR 6576:2007, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabelece critérios para a classificação dos ligantes asfálticos quanto à sua penetração, ponto de amolecimento e resistência à tração. Essa classificação permite a seleção adequada do tipo ligante conforme as exigências específicas do projeto de pavimentação.

Existem diferentes tipos de binders, sendo o asfalto diluído, o asfalto modificado e o emulsificado os mais comuns. O asfalto diluído é um convencional dissolvido em um solvente, facilitando sua aplicação. O asfalto modificado incorpora aditivos para melhorar suas propriedades, como a resistência à fadiga e a faixas de temperatura operacional, conforme destacado por Gibson et al. (2015) em "Asphalt Materials Science and Technology". A seleção do tipo de binder depende de diversos fatores, incluindo as condições climáticas, o tráfego previsto e os requisitos específicos do projeto. Essa escolha criteriosa é crucial para otimizar o desempenho e a durabilidade do pavimento.

Em resumo, essa camada de ligação na pavimentação é um componente essencial que confere coesão, impermeabilidade e durabilidade às misturas asfálticas. Sua aplicação correta e a escolha apropriada do tipo de binder são elementos fundamentais para assegurar a eficiência e a longevidade dos pavimentos, contribuindo para a segurança e a qualidade das vias.

#### 2.1.7 Tratamento superficial

O Tratamento Superficial é uma técnica de pavimentação que desempenha um papel crucial na preservação e reabilitação de estradas, proporcionando uma camada protetora à superfície existente. O conceito central do tratamento superficial envolve a aplicação de ligantes asfálticos e agregados sem mistura prévia sobre a camada de base, com posterior compactação, executado através da disseminação gradual de ligante betuminoso e agregado

por meio da compressão, resultando em melhorias substanciais na resistência e durabilidade do pavimento (BERNUCCI, 2006).

Os princípios fundamentais do tratamento superficial incluem a criação de uma camada resistente ao desgaste, sendo executado sobre a camada de base já concluída, ou ainda sendo utilizado como recapeamento de revestimentos antigos, protegendo o pavimento contra os efeitos do tráfego e das condições atmosféricas (PINTO; PINTO, 2018). Conforme o processo construtivo adotado designa-se três tipos de tratamento superficial, são eles: Tratamento Superficial Simples (TSS), Tratamento Superficial Duplo (TSD) e o Tratamento Superficial Triplo (TST) (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO - DNIT, 2006).

a) Tratamento Superficial Simples (TSS): primeiro passo é a aplicação do ligante, sendo revestido por uma única camada de agregado. O material ligante é absorvido de baixo para cima no agregado, esse processo é chamado de penetração invertida, pode ser vista na figura 06. (Bernucci et al, 2006); ainda sobre o que o DNIT (2012) diz, o pavimento asfáltico é o recoberto por uma camada de agregado mineral submetida à compressão.

**Figura 6** - Trechos em tratamento superficial simples (TSS)



Fonte: Chaves et al., (2004b).

b) Tratamento Superficial Duplo (TSD): consiste de duas aplicações de ligante, alternadas por duas camadas de agregado mineral que são submetidas à compressão, onde os agregados da segunda camada possuem granulometria menor e tem por função preencher os vazios deixados pela camada anterior (DNIT, 2012). Nesse tipo de tratamento, inicia-se com a aplicação do ligante que penetra de baixo para cima (penetração invertida) na primeira camada

de agregado e nas demais camadas a penetração do ligante é tanto invertida como direta, representada na figura 07 (BERNUCCI et. al, 2006).

**Figura 7** - Trechos em tratamento superficial duplo (TSD)



Fonte: Loiola (2009).

c) Tratamento Superficial Triplo (TST): consiste de três aplicações de ligante, alternadas por três camadas de agregado. A compactação ocorre a cada aplicação de ligante-agregado, cada uma coberta por camada de agregado mineral e submetida à compressão, ficando da forma como apresentado na figura 08 a seguir (DNIT, 2012).

Os tratamentos superficiais possuem duas classificações operacionais, simples ou múltipla, na qual a primeira envolve o TSS, já a segunda diz respeito do TSD e TST, com características de espessura na ordem de 5 a 20 mm (BERNUCCI et al, 2006).

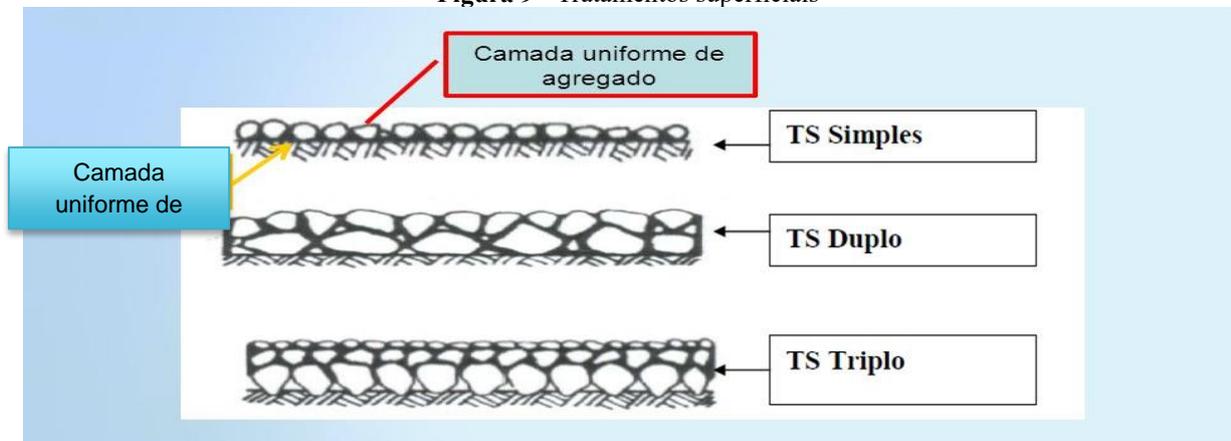
**Figura 8** - Trechos em tratamento superficial triplo (TST)



Fonte: Brasquímica (2011).

A seguir na figura 09, é possível ver uma ilustração das camadas de cada tipo de tratamento superficial citado acima:

**Figura 9** - Tratamentos superficiais



Fonte: Adaptado de Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto, 2013

### 2.1.8 Capa selante

A capa selante é uma técnica utilizada para proteger e prolongar a vida útil do pavimento asfáltico, consistindo na aplicação de uma camada fina de material betuminoso sobre a superfície existente da via. Segundo o que diz o Departamento de Estradas de Rodagem – DER, tem como principais objetivos impermeabilizar, diminuir a rugosidade e restaurar as superfícies desgastadas pela exposição à ação do tráfego. A sua execução pode ser sobre revestimentos asfálticos recém-construídos dos tipos: tratamento superficial duplo e triplo,

macadames asfálticos, pré-misturados abertos e de misturas asfálticas densas ou desgastadas superficialmente, pela ação do tráfego e das intempéries.

A aplicação da capa selante é realizada em etapas, começando pela preparação da superfície, que inclui a limpeza e o tratamento de eventuais defeitos, como trincas e buracos. Em seguida, o material betuminoso é aplicado uniformemente sobre a superfície, utilizando-se equipamentos apropriados, como distribuidores de asfalto. Após a aplicação, é comum a utilização de agregados minerais para proporcionar aderência e melhorar a resistência ao deslizamento.

Os benefícios da capa selante na pavimentação são diversos. Além de proteger o pavimento contra a ação dos elementos e do tráfego, ela também contribui para melhorar a resistência à abrasão e à oxidação, prolongando assim a longevidade dos materiais que foram utilizados na via. Além disso, a capa selante pode ajudar a reduzir a ocorrência de fissuras e outros defeitos superficiais, proporcionando uma superfície mais uniforme, segura e com aspectos visualmente melhores para os usuários.

Estudos realizados por órgãos como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) têm demonstrado a eficácia da capa selante na preservação do pavimento asfáltico. Essas pesquisas destacam a importância da aplicação regular da capa selante como parte de um programa abrangente de correção, capaz de minimizar os custos de reparo e prolongar a vida útil das vias pavimentadas.

**Figura 10** - Tratamentos superficiais com capa selante



Fonte: Gilson Amorim DRT/AC 390, 2019

## 2.2 Vida útil do pavimento

A durabilidade dos pavimentos é um aspecto crucial para garantir o desempenho sustentável das infraestruturas viárias ao longo do tempo. Enfatizando a importância de considerar fatores como a seleção adequada de materiais e técnicas construtivas para promover a durabilidade dos pavimentos. A escolha criteriosa desses elementos iniciais desempenha um papel fundamental na resistência às condições ambientais, carga de tráfego e envelhecimento, afetando diretamente a vida útil do pavimento (BERNUCCI, 2006).

A implementação de tecnologias inovadoras é uma abordagem significativa para melhorar a durabilidade dos pavimentos. Estudos recentes, como os realizados por Tigdemir et al. (2008), destacam a importância de utilizar materiais modificados, adequados a cada caso e técnicas de construção avançadas. Essas inovações tem o potencial de oferecer maior resistência a degradação, contribuindo para uma vida útil mais longa dos pavimentos e reduzindo a necessidade de manutenção corretiva.

Além disso, a manutenção desempenha um papel fundamental na promoção da durabilidade das vias. A intervenção oportuna pode incluir práticas como reparos de superfície, prevenção a manifestações patológicas e reforço estrutural. Essas ações preventivas não apenas aumentam a vida útil das faixas de rolamento, mas também ajudam a evitar custos significativos associados à reconstrução parcial e/ou completa de trechos deteriorados (BALBO, 1997).

Somado a problemas relacionados a escolha de materiais e execuções das atividades, é válido considerar os impactos ambientais na durabilidade dos pavimentos. Estudos como o de LI (2012), alertam para os desafios impostos por eventos climáticos extremos como as variações de temperatura, que acabam contribuindo para a deterioração dos pavimentos asfálticos. Em Macapá, na qual se tem altas temperaturas durante maior parte do ano, mas em contrapartida chuvas intensas em meses específicos, contribui diretamente para o desgaste dos materiais utilizados para a pavimentação, portanto, sendo necessário estratégias adaptativas como a implementação de materiais resistentes às condições climáticas oriundas da localidade, visando a longevidade das vias (BERNUCCI et al, 2006).

Em síntese, a vida útil dos pavimentos é um campo multidisciplinar que envolve a integração de escolhas de materiais, técnicas construtivas corretas, manutenção eficaz e condições climáticas.

## **2.3 Manifestações patológicas em pavimentos flexíveis**

A ocorrência de patologias nos pavimentos é uma preocupação significativa para a malha rodoviária, afetando a segurança, conforto, mobilidade, durabilidade e eficiência das estradas. Diversos estudos, como o Benedetto et al. (2012), ressaltam a importância de compreender e mitigar as manifestações patológicas para garantir um desempenho duradouro das pavimentações, através do monitoramento contínuo que permitem uma avaliação em tempo real do estado do pavimento, possibilitando a tomada de medidas corretivas antes que os problemas se agravem. Essa abordagem proativa contribui para a eficácia das estratégias de manutenção.

A exposição contínua a cargas repetitivas somadas às intempéries e processos executivos errôneos são fontes para o surgimento de patologias. De acordo com Wang et al.(2020), indicam que a fadiga do pavimento, causada pelo tráfego intenso e variações de temperatura, pode resultar no desgaste prematuro do pavimento. Estratégias de projeto que levam em consideração as características do tráfego, as peculiaridades da região a respeito do tipo de terreno e clima, adequação as normas de serviço, são fundamentais para mitigar as falhas na malha rodoviária. A seguir, foram apresentadas as principais manifestações patológicas do trecho que está sendo analisado nesse trabalho, assim como os possíveis agentes que podem ter contribuído para o surgimento dos mesmos.

### **2.3.1 Remendos**

Os remendos, como pode ser visto na figura 11, assumem diversas formas, incluindo remendos localizados, profundos e superficiais, dependendo da natureza e da extensão dos danos. Essas intervenções localizadas visam corrigir áreas específicas de deterioração, minimizando o impacto no tráfego e otimizando os recursos disponíveis, mas distinguem do comportamento do pavimento original, logo, considerados defeitos (GONÇALVES, 2007). O estudo de Silva et al. (2018) destaca a eficácia dos remendos na restauração de áreas com defeitos pontuais, impedindo a propagação de danos par áreas adjacentes.

Apesar de ter seus benefícios, essa prática de manutenção deixa claro falhas que se originaram com o desgaste do pavimento, que mesmo sendo utilizada na via em questão, já apresenta imperfeições. O Manual de Pavimentação – DNIT (2006) determina o que é remendo da seguinte maneira.

[...] são as operações corretivas processadas normalmente a nível do revestimento asfáltico, com o objetivo de corrigir manifestações de ruína específicas, bem definidas e de pequenas dimensões; em alguns casos extremos, a sua magnitude pode atingir frações das camadas granulares subjacentes (Manual de Pavimentação – DNIT 2006, p. 251)

**Figura 11** - Remendos



Fonte: CNT, 2008

### 2.3.2 Escorregamento

As ondulações na pavimentação referem-se a deformações na superfície do pavimento que resultam em elevações e depressões ao longo da via. Conforme destacado por Wang et al. (2020), essas ondulações podem várias em magnitude, indo desde pequenas oscilações até deformações mais pronunciadas, tais exemplificações são vistas na figura 12, impactando diretamente na qualidade do rolamento e a experiência dos usuários da estrada.

**Figura 12 - Escorregamento**



Fonte: CNT, 2008

### 2.3.3 Trincas couro de jacaré

Conforme evidenciado por pesquisas, como a de Tigdemir et al. (2008) e Silva (2008), as trincas em padrão “couro de jacaré” são comumente associadas à fadiga do pavimento, um fenômeno causado pela repetida aplicação de cargas de tráfego ao longo do tempo, sendo um tipo específico de fissuração que se manifesta na forma de um padrão geométrico semelhante à pele de um jacaré. Alguns exemplos podem ser evidenciados na figura 13 a seguir:

**Figura 13** - Trincas Couro de Jacaré



Fonte: CNT, 2008

#### 2.3.4 Trincas longitudinais

São fissuras que se estendem paralelamente à direção da via. Na figura 14, é possível ver que as fissuras podem se manifestar de diversas formas, desde pequenas rachaduras até falhas mais significativas que afetam a integridade do pavimento. Estudos, como o de Tigdemir et al. (2008), destacam que as trincas longitudinais são uma forma comum de deterioração nas vias, frequentemente associadas a fatores como movimentos térmicos, restrições na expansão do pavimento ou falta de suporte adequado.

De acordo com o Manual de Conservação Rodoviária – DNIT (2005), as trincas longitudinais podem ser classificadas como curtas, quando apresentar extensão menor que 100 cm, ou como longas quando apresentarem extensão superiores a 100 cm.

**Figura 14 - Trinca longitudinal**



Fonte: CNT, 2008

### 2.3.5 Trincas transversais

O DNIT (2003), determina que é uma falha que apresenta direção predominantemente ortogonal ao eixo da via, na figura 15 exemplifica-se as formas mais comuns dessa manifestação patológica. Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada trinca transversal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca transversal longa.

**Figura 15** - Trinca transversal



Fonte: CNT, 2008

### 2.3.6 Buraco – “panela”

Segundo Balbo (2016), refere-se a depressões localizadas na superfície do pavimento, geralmente formando pequenas áreas afundadas. Essas depressões podem variar em tamanho e profundidade, comprometendo a qualidade do rolamento e afetando a segurança e o conforto dos usuários da via. A CNT apresenta esse avanço nível a nível na figura 16, em decorrência de defeitos pré-existentes como fendas, afundamentos, desgastes, desagregações do material, o simples desgaste e a falta de aderência entre as camadas.

**Figura 16 - Buraco (Panela)**



Fonte: CNT, 2018

### 2.3.7 Desgaste

De acordo com Bernucci (2006), o intemperismo é a principal causa para a extração gradativa dos agregados, que devido a ação abrasiva do tráfego, somados com deficiências nas ligações das misturas betuminosas, equívocos na execução de projeto e a escolha de materiais inadequados, fazem com que surjam os desgastes ao longo da faixa de rolamento. Esses desgastes podem ser encontrados de diversas maneiras, como pode ser visto na figura 17 a seguir.

A volatilização e a oxidação dos componentes do asfalto fazem com que o grau de desgaste aumente continuamente, podendo estar diretamente ligado a manifestação patológica chamada de polimento, que também favorece o desprendimento dos agregados envolvidos devido a má qualidade dos materiais e ação do contato da faixa de rolamento com os pneus dos veículos (BERNUCCI, 2006; SILVA, 2008).

**Figura 17 - Desgaste**



Fonte: CNT, 2018

A realização de uma criteriosa avaliação da pavimentação revelou, até o momento, a ausência de outras manifestações patológicas, além dessas citadas acima, na via em questão. Entretanto, é imperativo ressaltar que embora nenhum outro defeito aparente tenha sido identificado durante a inspeção visual e análise estrutural, a literatura técnica, em particular o Manual de Inspeção e Manutenção de Pavimentos do DNIT (2006), destaca a existência de outras patologias que podem ocorrer nos pavimentos.

### 2.3.8 Afundamento em Trilha de Roda - ATR

Os ATR's são deformações permanentes que se caracterizam por apresentar depressões que originam nas superfícies do pavimento. Podem ser classificados como afundamentos plásticos, que ocorrem devido a fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou através de afundamento por consolidação, quando é causado pela diferenciação de nível entre uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito (DNIT, 2003)

**Figura 18** - Afundamento em trilha de roda



Fonte: DNIT 005/2003 - TER

### 3 MANUTENÇÃO DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

A manutenção de pavimentos é um conjunto de práticas e intervenções sistemáticas destinadas a preservar, prolongar a vida útil e garantir a funcionalidade adequada das estruturas viárias. Essa abordagem proativa visa minimizar o impacto do envelhecimento, do tráfego intenso e de agentes ambientais na infraestrutura pavimentada. A manutenção de um pavimento compreende todas as intervenções que afetem, direta ou indiretamente, o nível de serventia atual e o desempenho futuro do pavimento (GONÇALVES, 1999).

Ainda sobre a conceituação do termo manutenção dos pavimentos, a ABNT, 5462 diz que é a combinação de diversas medidas técnicas e administrativas, somadas a supervisão, que visam a continuidade ou recolocar um item em uma situação que possa voltar a desempenhar a sua funcionalidade original. De acordo com o Manual de Pavimentação – DNIT (2006), temos o seguinte conceito:

Assim, a manutenção do Pavimento se constitui no conjunto de operações que são desenvolvidas objetivando manter ou elevar, a níveis desejáveis e homogêneos, as Características Gerais de Desempenho – segurança, conforto e economia do Pavimento, considerando globalmente todos os componentes de Rodovia (Pavimento, Terraplenagem, Proteção de Corpo Estradal, Obras-de-Arte Correntes, Obras-de-Arte Especiais, Drenagem, Sinalização, Obras Complementares, etc). (Manual de Pavimentação – DNIT, 2006, p. 245).

Segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (2006), existem três tipos de conservação: corretiva rotineira, preventiva periódica e emergencial.

- A correção corretiva rotineira tem como meta realizar reparos e resolver os problemas identificados, preservando as características para atender de maneira mais eficiente o usuário. De acordo com Balbo (1997), constitui-se no conjunto de reparos localizados em toda a extensão do pavimento, envolvendo atividades como limpeza, entre outras.

- A correção preventiva periódica é realizada regularmente para prevenir o surgimento ou agravamento de problemas. Segundo o DNIT (2006), consiste em ações executadas periodicamente visando preservar o pavimento e evitar o aparecimento ou agravamento de defeitos. A frequência dessas atividades está relacionada à intensidade do tráfego, topografia e clima, incluindo operações como o serviço de tapa-buraco.

- A correção emergencial: é uma operação cujo propósito é recuperar imediatamente o pavimento danificado por um evento extraordinário

A manutenção de pavimentos é um pilar essencial para a gestão eficiente da infraestrutura viária, contribuindo para a segurança dos usuários, a preservação dos ativos e a

sustentabilidade a longo prazo. A abordagem criteriosa e a aplicação de técnicas modernas, conforme orientações de referências especializadas, são fundamentais para garantir a durabilidade e o desempenho contínuo das vias pavimentadas. Seguindo o que o DNIT (2006) determina, estarão presentes métodos para reparar ou sanar defeitos nos pavimentos:

- **RECUPERAÇÃO SUPERFICIAL (RECARGAS – RECAPEAMENTO):** Constitui-se no conjunto de procedimentos voltados para a correção de imperfeições superficiais, como trincas, desintegração, suavização das irregularidades (asperidade), desgaste (perda de agregados), exsudação e, eventualmente, também pequenas irregularidades na geometria transversal (sulco da roda) da pavimentação. Refere-se a renovações com camadas de espessuras reduzidas (em torno de, no máximo, 2,5 cm), não apresentando, portanto, efeito estrutural intrínseco (DNIT, 2006).

- **REFORÇO ESTRUTURAL:** Consiste no conjunto de procedimentos voltados, essencialmente, para ampliar a capacidade estrutural do pavimento. Esse propósito é comumente atingido pela sobreposição de uma ou mais camadas, as quais também serão responsáveis por corrigir deficiências superficiais (degradações e deformações) preexistentes (DNIT, 2006).

- **REMENDOS:** Refere-se ao conjunto de procedimentos voltados para a correção de manifestações específicas de deterioração, ocorrendo no revestimento asfáltico e, em situações extremas, afetando porções da camada de base. Essas operações são claramente definidas e de escala reduzida (DNIT, 2006).

- **RESTAURAÇÃO:** Consiste no conjunto de procedimentos voltados para restabelecer o pleno funcionamento do pavimento. Geralmente, ocorre pela substituição e/ou reconstrução de uma ou mais camadas já existentes, complementadas por outras que devem proporcionar a capacidade estrutural necessária a um pavimento deteriorado ou danificado, buscando restituir integralmente suas características originais (DNIT, 2006).

- **MELHORAMENTOS:** Consiste no conjunto de procedimentos que introduz novas características às rodovias ou que altera as características que a faixa de rolamento já possuíam (DNIT, 2006).

- **AÇÕES EMERGENCIAIS:** Consiste no conjunto de medidas a serem adotadas de forma extraordinária, caracterizando uma situação de emergência. Tendo o propósito de eliminar o risco real ou potencial à vida humana ou ao patrimônio público, ou ainda, restabelecer as condições mínimas indispensáveis para o fluxo de tráfego em uma rodovia, que esteja interrompida ou prestes a interromper devido a manifestações de deterioração e/ou colapso repentino (DNIT, 2006).

- SERVIÇOS EVENTUAIS: conjunto de procedimentos não planejados que eventualmente podem ser requeridos, geralmente resultantes do surgimento de defeitos no período compreendido entre o planejamento e a execução do Plano de Execução da Manutenção Rodoviária (PEMR). Essas operações frequentemente incluem a definição de materiais, mão de obra e a alocação de horas de diversas máquinas (DNIT, 2006).

### **3.1. Reciclagem do pavimento flexível**

A reciclagem na pavimentação refere-se a uma prática sustentável que envolve a reutilização de materiais existentes em pavimentos desgastados para a construção ou reconstrução de novas camadas asfálticas. Esse processo visa não apenas otimizar recursos, mas também reduzir o impacto ambiental associado à produção de novos materiais.

O material retirado, que anteriormente seria inutilizável, passa a ser matéria prima principal para o processo da reciclagem, sem prejudicar a qualidade na finalização da manutenção. De acordo com o DNIT (2005), esse método de restauração faz com que o pavimento original possua uma nova vida útil, além de não ter necessidade de grande utilização dos recursos naturais e mais nobres, conseqüentemente, economicamente com valores mais elevados, portanto, tendo as seguintes vantagens:

- Dispensa grande utilização de materiais variados;
- Maior rapidez na finalização da obra, logo, menor tempo de interferência no tráfego;
- Inexistência de problemas relacionadas a drenagem e manutenção de gabaritos de passagem;
- Economicamente mais barato por não necessitar utilizar grande volume de materiais nobres.

A execução da reciclagem tem como alternativa a utilização de apenas os materiais que o pavimento deteriorado já possui, fresando-o e somando com agentes rejuvenescedores e/ou ligantes asfálticos novos, de espuma de asfalto ou de emulsões asfálticas e até de cimento Portland, ou ainda, se necessário correção granulométrica, pode ser feita a adição de agregados auxiliares. O DNIT (2005) indica que existem três métodos de reciclar o pavimento: a reciclagem a quente: a frio, com duas subdivisões, in situ (no local) e em usina especial de reciclagem a frio, essas subdivisões que serão priorizadas nas explicações a seguir;

- Reciclagem com adição de material betuminoso (Frio – in situ): mistura do revestimento e da base pulverizados no local (in situ), com adição do material betuminoso para

que se tenha uma base estabilizada com esse tipo de material e, apesar de em certas situações atingir o subleito, esse processo envolve somente o revestimento e a base granular. Normalmente, é utilizado um equipamento específico, a recicladora de asfalto (visto na figura 18), que possui habilidades de misturas com parâmetros ideais determinadas em projeto, mesclando material existente da pista, base e camada de revestimento a medida em que aplica os agentes estabilizadores e homogeneíza-os. No Brasil, essa técnica utiliza por padrão o uso de 1,00% a 3,00% de cimento em relação ao volume trabalhado, variando do tipo de material existente e da capacidade de carga que o mesmo suporta.

**Figura 19** - Recicladora com adição de cimento



Fonte: Asfalto de qualidade, 2015

- Reciclagem com adição de estabilizantes químicos (Frio – usina móvel): o processo de execução, exemplificado na figura 19, da pulverização e mistura da camada de revestimento, base e subleito, incrementando com estabilizantes químicos como cal, cimento ou cinzas volantes, para criar um local que esteja estabilizada quimicamente, sendo um processo que envolve geralmente o subleito do pavimento. Tem como grande vantagem a alta qualidade da mistura e controle dos insumos.

**Figura 20** - Reaproveitamento do asfalto fresado na planta



Fonte: Asfalto de qualidade, 2015

## **4 METODOLOGIA**

Para efeito deste trabalho, foram coletados dados de um período de quatro anos a respeito da via, por meio de registros jornalísticos, artigos, normas regulamentadoras, livros, internet e visitas in loco, no qual é possível traçar uma linha temporal dos problemas que a rua Leopoldo Machado possui, especificamente no trecho entre a Av. 13 de Setembro e Av. dos Timbiras, além do histórico das manutenções feitas em seu pavimento nesse mesmo período.

Por meio dessa metodologia de coleta de dados, foi possível de forma simplificada e assertiva, diagnosticar o estado da via sem a necessidade de ferramentas complexas e sofisticadas, tendo o auxílio principalmente das normas do DNIT PRO. Sendo assim, a caracterização do tipo de tráfego pôde ser definida como intenso, utilizado por veículos leves e pesados de forma constante, além de sugerir correções para as manifestações patológicas presentes no decorrer de todo o trecho que foi analisado.

### **4.1 Análise da recorrência das manifestações patológicas no trecho ao longo do tempo**

A avaliação de pavimentos pode ser feita de várias formas de modo a se analisar se o mesmo precisa de manutenção, reconstrução, se foi construído de acordo com as exigências de projeto, se o projeto aplicado se adequa as necessidades de uma via naquela região ou ainda para fazer projeções futuras em relação a vida útil do pavimento. Sendo assim, o monitoramento constante é essencial para identificar agentes causadores de defeitos na faixa de rolamento e, conseqüentemente, assegurando a sua longevidade. Como é visto nas figuras a seguir que mostram o histórico de problemas na rua Leopoldo Machado, começando pela figura 20, entre o trecho da Av. Pedro Lazarino e Av. Anhanguera, na qual é visto o grau de severidade das manifestações patológicas em 2020, e posteriormente na figura 21, a intervenção que foi feita para revitalizar a via na época.

**Figura 21 - Manifestação patológica, 2020**



Fonte: Portal Alyne Kaiser, 2020

**Figura 22 - Intervenção como medida de manutenção, 2020**



Fonte: Portal Alyne Kaiser, 2020

Por volta de um ano depois, em 2021, o mesmo trecho representado na figura 20 volta a receber novas manutenções, pois os problemas na faixa de rolamento reapareceram. Na nova intervenção, foi feito o recapeamento asfáltico da via e, após investigações por meio dos órgãos competentes como a Prefeitura Municipal de Macapá - PMM, foi constatado que o material utilizado não correspondia ao especificado no projeto, portanto, sendo o problema principal

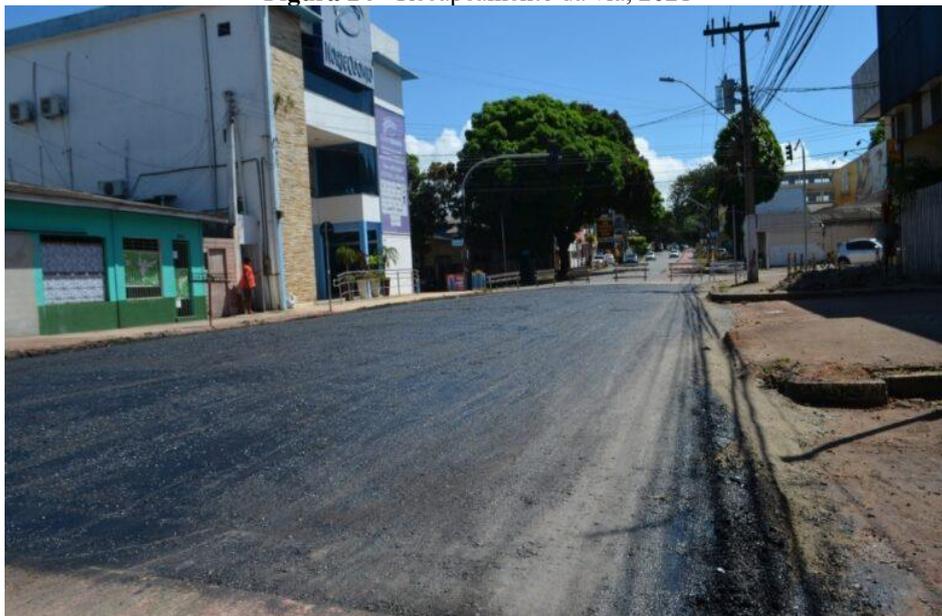
para o reaparecimento das anomalias no pavimento, somadas com o intenso tráfego de veículos. Nas imagens a seguir é possível ver essa situação:

**Figura 23** - Instalação da geogrelha, 2021



Fonte: Amapá Online, 2021

**Figura 24** - Recapeamento da via, 2021



Fonte: Amapá Online, 2021

Como foi exposto ao longo deste trabalho, a vida útil do pavimento está limitada por volta de menos de um ano, seja por intempéries naturais e/ou por imperícia na execução do projeto que foi estipulado. No ano de 2022, as mesmas manifestações patológicas como por

exemplo as panelas, trincas couro de jacaré, trilha de roda, escoamento, voltaram a se originar como pode ser visto na figura 23 e 24, o que acarretou em novas manutenções e problemáticas para o tráfego da via, como é visto a diante trecho entre a Av. dos Caramuru e Av, dos Xavantes.

**Figura 25** - Recorrência da degradação da via, 2022



Fonte: Júnior Dantas/PMM, 2022

**Figura 26** - Recorrência da degradação da via, 2022



Fonte: Júnior Dantas/PMM, 2022

De acordo com essa linha temporal, fica exposto a grande problemática do estudo, apresentando a grande necessidade de traçar alternativas que visem solucionar as manifestações patológicas que anualmente se originam na rua Leopoldo Machado, principalmente nos trechos entre a Av. 13 de Setembro e a Av. dos Timbiras. A seguir, registros atualizados do ano de 2024, coletadas pelo autor deste trabalho, demonstram como a via já possui novas

manifestações patológicas, como podem ser vistas da figura 26 à 28, que identificam os trechos entre a Av. Pedro Lazarino e Av. dos Caramuru.

**Figura 27** – Trilha de roda, 2024



Fonte: Autor, 2024

**Figura 28** – Remendo e trincas longitudinais, 2024



Fonte: Autor, 2024

**Figura 29** – Remendo e escoamento, 2024



Fonte: Autor (2024)

## 5 CARACTERIZAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A região selecionada para uma investigação mais detalhada das manifestações patológicas está situada no centro da cidade de Macapá, a capital do estado do Amapá, no bairro Centro, apresentada na figura 29. O trecho em análise estende-se em linha reta por aproximadamente 836,30 metros, tendo a rua 13 de Setembro como limite ao Norte, e ao Sul, a delimitação ocorre com a Av. dos Timbiras. Seguindo o que determina o Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas – DNIT (2010), a classificação da via em questão é definida como coletora – distribuidora, que possui o seguinte conceito:

Via de mão única, de caráter auxiliar, com extensão limitada, paralela à via principal, objetivando: absorver o tráfego que exceda a capacidade da via principal; servir de local para transferência de movimentos conflitantes com o tráfego direto em interseções; concentrar em um só local a saída ou entrada de veículos nas faixas de tráfego direto etc. Geralmente, não proporciona acesso às propriedades adjacentes (Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas – DNIT, 2010, p. 39).

Figura 30 - Localização da via e os trechos de análise



Fonte: Adaptado do Google Earth, 2024

Segundo a Lei de Uso e Ocupação do solo da cidade de Macapá (2004), a área estudada está localizada no Setor Residencial 2, que especifica essa área como direcionada a atividades comerciais e de serviços de apoio à moradia com restrições às atividades que causem impactos ambientais. A escolha dessa área para análise foi motivada pela elevada ocorrência de imperfeições no asfalto identificados, principalmente no trecho de estudo (entre a Av. 13 de Setembro e Av. dos Timbiras).

Historicamente, esse trecho sofre com as recorrentes aparições das mais diversas patologias. Apesar de anualmente possuir pontos que já sofreram inúmeras manutenções por meio dos órgãos competentes, os problemas não são solucionados e não atingem a vida útil mínima do pavimento determinada de 10 anos, conforme diz o IPR -720 – Manual de Restauração do DNIT de Pavimento Asfáltico (2006). As consequências disso são a falta de segurança viária (acidentes de trânsito e desgaste de veículos), má qualidade de vida dos usuários (ausência de conforto na utilização da via), impacto econômico (necessidade de intervenções periodicamente) e impacto ambiental (processos de restaurações que usam materiais que afetam o meio ambiente).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Manifestações patológicas são imperfeições que se originam devido a fatores diversos, seja por como foi dimensionada em projeto, executada a fase de construção da via e de que forma ela é utilizada. O monitoramento da evolução das patologias no pavimento permite mensurar os possíveis agentes que contribuem para o aparecimento das deformações, logo, possibilitando traçar medidas que poderão controlar tais problemas. Portanto, é de suma importância ter a expertise de entender as principais manifestações patológicas que podem surgir nas faixas de rolamento, pois através disso pode-se definir a melhor técnica de restauração do pavimento avariado (SCHIMITD; COSTA, 2021).

Apesar de, segundo o DNIT (2023), existirem inúmeros tipos de manifestações patológicas, o estudo de caso em questão, através dos dados que foram coletados com visitas in loco, expõe as principais patologias presentes atualmente no trecho da via que foi estudado: remendos, escoamento, trinca couro jacaré, trincas longitudinais e transversais, buraco (panela), desgaste e afundamento por trilha de roda.

Na figura 31, é apresentada a forma como os pontos do trecho analisado foram classificados e no decorrer das figuras é exposto as manifestações patológicas que atualmente estão presente na via.

**Figura 31** - Determinação dos pontos analisados no trecho



Fonte: Adaptado do Google Earth, 2024

No ponto 01, está presente o desgaste que é caracterizado pela aspereza e arrancamento progressivo do agregado na figura 32, o remendo que segue sendo uma composição do revestimento no qual o material que estava inicialmente foi retirado ou substituído por outro material e escorregamento é o deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, acompanhado pela ocorrência de fissuras em formato de meia-lua, visto na figura 33.

Além da presença da trinca longitudinal na figura 34, que se caracterizam por se estender paralelamente à direção do tráfego, frequentemente ao longo de uma faixa, podendo resultar de uma combinação de fatores, incluindo carregamento repetitivo, fissuração por fadiga e inadequações na mistura asfáltica, sendo o tratamento de trincas longitudinais muitas vezes exigindo técnicas específicas, como o uso de selantes ou rejuvenescedores asfálticos. Suas principais causas são: carga de tráfego; emprego de material de má qualidade; ação do meio ambiente; má construção (DNIT, 2005).

**Figura 32 - Desgaste (Ponto 01)**



Fonte: Autor, 2024

**Figura 33 - Remendo e escorregamento (Ponto 01)**



Fonte: do Autor, 2024

**Figura 34 – Trinca longitudinal (Ponto 01)**



Fonte: Autor, 2024

Conforme descrito pelo CNT (2018), o escorregamento, devido a deficiências no processo de execução e inadequada aderência proporcionada pela camada de ligação, o que somados a frenagem e tráfego intenso, acarretam nessas consequências. Estas irregularidades podem ser causadas por diversos fatores, como tráfego intenso, falhas estruturais, ação do intemperismo, compactação inadequada do solo e desgaste ao longo do tempo. Como visto em tópicos passados deste trabalho, essa é uma patologia extremamente recorrente nesse trecho, e atualmente está se encaminhando para a realidade que foi exposta na figura 20 (2020), na qual o grau de degradação estava alarmante.

No ponto 02, está presente os buracos – panelas (figura 35) que ocorrem devido a formação de cavidade no revestimento que pode atingir as camadas mais profundas, acarretando em desagregação dos materiais presentes nessas camadas. Em geral, a panela decorre de trincas de fadiga (processo que ocorre devido ao acúmulo das solicitações do tráfego ao longo do tempo); deterioração localizada na superfície do pavimento; deficiência na compactação; umidade excessiva em camadas de solo, não tendo uma adesão entre as camadas e a água proveniente das chuvas; falha na imprimação (PEREIRA, 2018).

Ainda sobre o que diz Balbo (2016), o fenômeno que forma esse tipo de patologia possui o nome de “stripping”, no qual a ação da água que fica aprisionada nas trincas, forma áreas que ocasionam o deslocamento entre o material pétreo e o asfalto, acelerando a degradação do revestimento e, conseqüentemente, fazendo surgir as “panelas”.

Também no ponto 02, as trincas transversais se estendem perpendicularmente à direção do tráfego (figura 36), cortando a faixa de rolamento, sendo geralmente causadas por tensões térmicas e de contração, que por estarem em um ambiente com altas temperaturas, são propícias para o aparecimento. Conforme avançam, as trincas transversais podem levar à formação de blocos separados na superfície do pavimento e embora inicialmente não tenha tanta incidência no trecho analisado, as existentes estão surgindo e “ligando-se” a outras imperfeições como remendo, desgaste e trincas longitudinais, afetando a textura superficial e a segurança no uso do pavimento. Além da presença do desgaste novamente, trincas longitudinais e afundamentos por trilha de roda.

**Figura 35 - Buraco - Panela e Trincas Longitudinais (ponto 02)**



Fonte: Autor, 2024

**Figura 36** - Trincas transversais e buraco – panela (ponto 02)



Fonte: Autor, 2024

**Figura 37 - Desgaste (ponto 2)**



Fonte: Autor, 2024

Figura 38 - Afundamento por trilha de roda (ponto 02)



Fonte: Autor, 2024

No ponto 03, ocorre as trincas do tipo couro de jacaré, o Manual de Conservação – DNIT (2005) diz que é “Conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Essas trincas podem apresentar ou não erosão acentuada nas bordas” (DNIT, 2005, p.378). Tendo a sua origem por diversos fatores como: 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; perda da vida útil do pavimento (envelhecimento do material); asfalto duro ou quebradiço. Essa imperfeição agravasse no decorrer do trecho, como pode ser visto na figura 39, sendo bem distribuída, seguindo um desenvolvimento que indica que futuramente implicará em fendas bem visíveis. Contendo também o aparecimento de mais desgastes, escoamento, trincas longitudinais e buraco – panela.

**Figura 39** - Trica Couro de Jacaré (ponto 03)



7 de jan. de 2024 14:37:43  
3621 Rua Leopoldo Machado  
Central  
Macapá  
Amapá

Fonte: do Autor, 2024

**Figura 40 - Desgaste (ponto 03)**



7 de jan. de 2024 14:36:33  
3621 Rua Leopoldo Machado  
Central  
Macapá  
Amapá

Fonte: Autor, 2024

**Figura 41** - Trinca longitudinal (ponto 03)



Fonte: Autor, 2024

No ponto 04, a maior recorrência de manifestações patológicas são os desgastes, escoamento, trincas longitudinais, buracos – panelas e remendos, assim como no ponto 05 que apresenta as mesmas manifestações em diferentes níveis de seriedade, como pode ser visto nas figuras a seguir:

**Figura 42 – Desgaste e escoamento (ponto 04)**



Fonte: Autor, 2024

**Figura 43 - Trincas longitudinais (ponto 04)**



Fonte: Autor, 2024

Figura 44 - Buraco - panela e trincas longitudinais (ponto 04)



Fonte: Autor, 2024

Figura 45 - Desgaste (ponto 05)



Fonte: Autor, 2024

**Figura 46 - Buraco - panela (ponto 05)**



Fonte: Autor, 2024

**Figura 47 - Escoamento e remendo (ponto 05)**



Fonte: Autor, 2024

### **6.1 Caracterização das manifestações patológicas quanto a sua origem**

O surgimento das patologias no pavimento flexível citadas até aqui está intrinsecamente ligado ao desgaste provocado pelo tráfego constante e à ausência ou deficiência de um sistema eficaz de drenagem na via. As patologias surgem como resultado direto da exposição contínua do pavimento a esses fatores ambientais e estruturais, comprometendo sua integridade e durabilidade ao longo do tempo.

Quando não há um sistema adequado de drenagem na via, a água da chuva e outras fontes de umidade tendem a se acumular na superfície do pavimento. Esse acúmulo de água pode penetrar nas camadas inferiores do pavimento, enfraquecendo sua estrutura e causando o surgimento de patologias como trincas, deformações e desagregações. A falta de drenagem eficiente também pode levar à erosão do solo subjacente, exacerbando ainda mais os problemas no pavimento.

Sendo assim, o desgaste causado pelo tráfego constante é um dos principais contribuintes para o surgimento de patologias no pavimento flexível. À medida que os veículos passam sobre o pavimento, ocorrem forças de compressão e cisalhamento que podem provocar fissuras, desgaste superficial, afundamentos e outros tipos de deterioração. Em conjunto com a falta de um sistema de drenagem adequado para remover a água da superfície, essas patologias tendem a se agravar com o tempo, tornando-se fonte de preocupação para a segurança dos usuários da via.

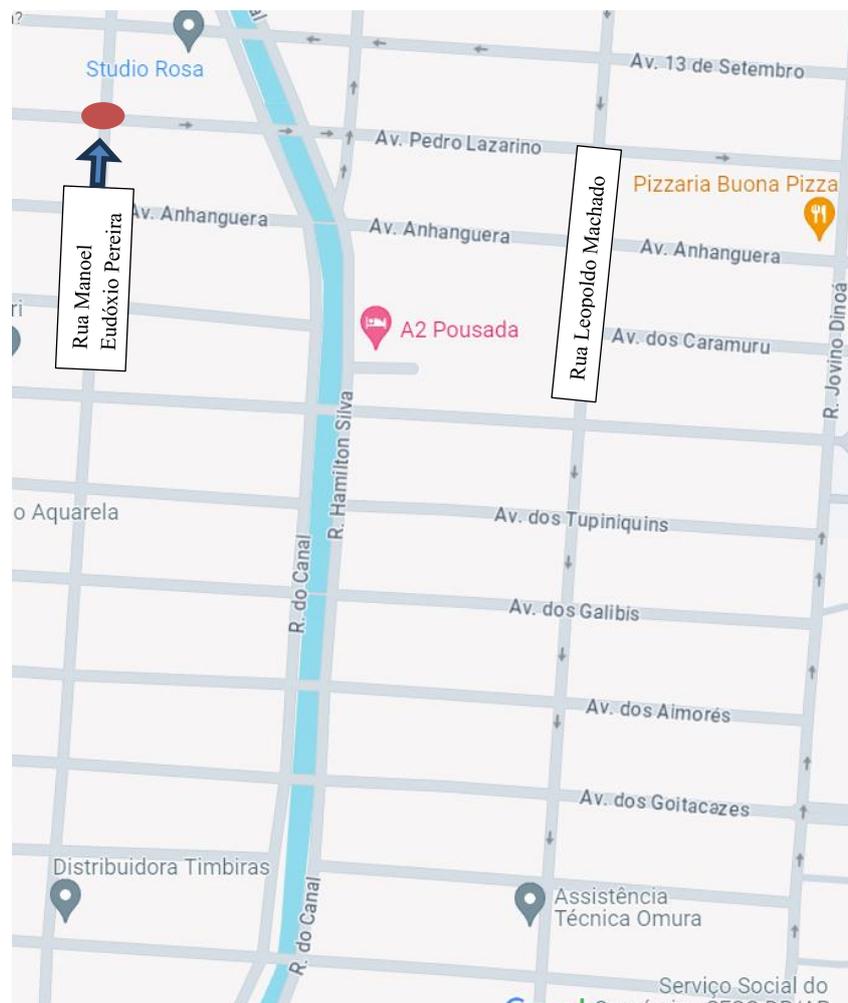
Para combater o surgimento de patologias devido ao desgaste e à falta de drenagem, é fundamental implementar medidas de manutenção preventiva e corretiva. Isso inclui a realização regular de inspeções para identificar e reparar precocemente quaisquer problemas no pavimento, bem como a instalação e manutenção de sistemas de drenagem eficientes. Ao adotar uma abordagem proativa para o cuidado com o pavimento e a gestão da água pluvial, é possível minimizar o surgimento de manifestações patológicas e garantir a vida útil e eficiência da via ao longo do tempo.

#### 6.1.1 Caracterização do subleito

Diante da ausência de ensaios de CBR (California Bearing Ratio), foi adotada a estratégia de utilizar ensaios de SPT (Standard Penetration Test) para a caracterização do subleito na região em questão. O objetivo principal dessa abordagem foi estimar o nível de resistência e identificar possíveis deficiências nas camadas inferiores do pavimento. Embora os ensaios de CBR sejam comumente empregados para determinar a capacidade de suporte do solo, os ensaios de SPT oferecem uma alternativa viável quando os primeiros não estão disponíveis. Por meio da medição da resistência à penetração do solo, os ensaios de SPT fornecem uma indicação preliminar das propriedades do subsolo, permitindo avaliar a sua adequação para suportar as cargas do pavimento. Assim, mesmo diante das limitações impostas pela falta de ensaios de CBR, os ensaios de SPT possibilitaram uma caracterização inicial do subleito, contribuindo para embasar as decisões relacionadas ao projeto.

Sendo assim, buscou-se referências de ensaios SPT na região de análise para identificar as características das camadas inferiores que existem atualmente. Na figura 38, é apresentado a localidade onde foi feito o ensaio utilizado como referência para análise do solo (região alaranjada), no bairro Buritizal, na rua Manoel Eudócio Pereira, próximo à área do foco de estudo do projeto de pesquisa.

**Figura 48** - Ensaio feito na esquina entre a Rua Manoel Eudócio Pereira e Av. Anhanguera



Fonte: Adaptado do Google Maps, 2024

### 6.1.2 Ensaio de sondagem na região do estudo de caso

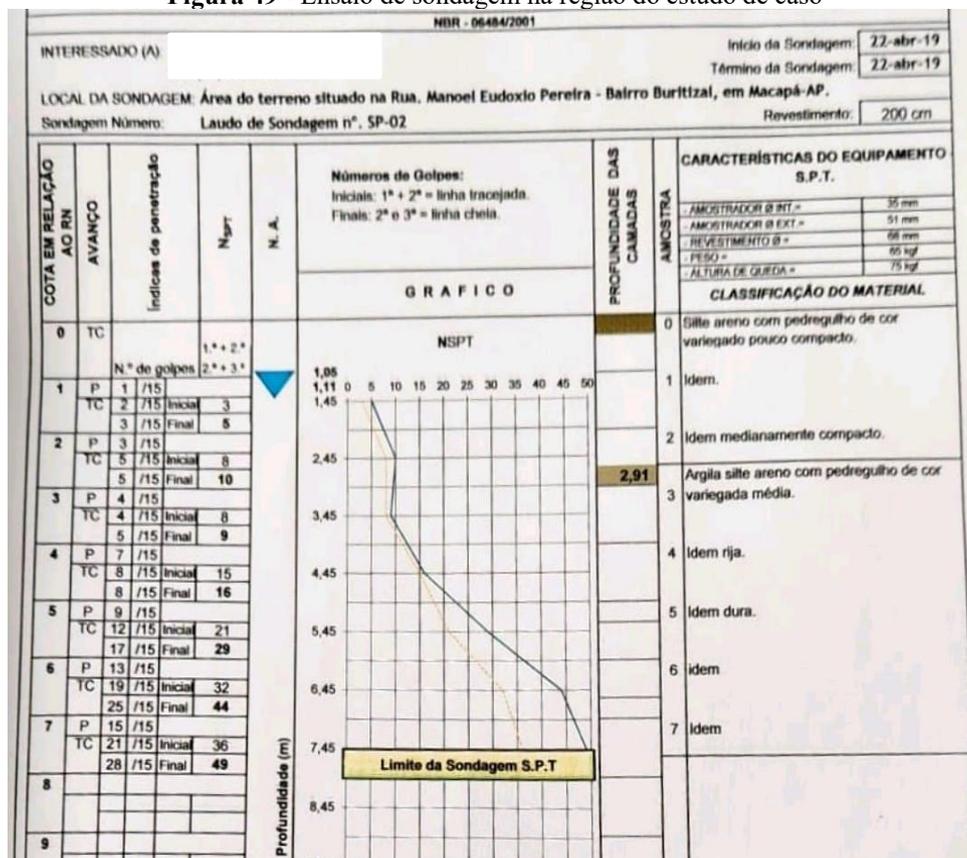
O estudo de sondagem SPT (Standard Penetration Test) é de suma importância para a pavimentação de ruas, pois fornece informações essenciais sobre as características do solo no local da obra. A relevância desse estudo está associada a diversos aspectos cruciais para o desenvolvimento de um pavimento resistente e durável.

O estudo de sondagem SPT permite determinar a capacidade de suporte do solo, ou seja, sua habilidade para suportar o tráfego veicular e as cargas impostas pela pavimentação. Acerca disso, conhecer a capacidade de suporte do solo é essencial para dimensionar adequadamente a espessura da camada de pavimento e escolher os materiais mais adequados, garantindo assim a estabilidade e durabilidade da rua ao longo do tempo, logo, uma pesquisa

aprofundada através desse método ajudaria a identificar a melhor forma de execução e materiais adequados para a região do estudo de caso em questão, podendo minimizar defeitos na via e, conseqüentemente, aumentar a vida útil dos do pavimento (NBR, 6122/1996).

Na figura 39 a seguir, é apresentado o ensaio SPT que foi utilizado para traçar um paralelo com o solo que pode estar influenciando diretamente na recorrência de manifestações patológicas no trecho entre a Av. 13 de Setembro e Av. dos Timbiras. A sondagem realizada pela empresa Arqplan na região próxima a que está sendo analisada, demonstra uma grande fragilidade da resistência do solo, o que indica que tal área possui grande deficiência na estabilização do seu solo, que se não dada a devida atenção, pode acarretar problemas durante, no decorrer e depois da obra estar finalizada. Isso pode indicar que a grande recorrência do surgimento de manifestação patológicas no trecho onde foi feita a pesquisa pode estar diretamente relacionada a falta do tratamento adequado do solo enfraquecido e instável.

Figura 49 - Ensaio de sondagem na região do estudo de caso



Fonte: Arqplan, 2019

Ainda sobre o ensaio acima, é possível identificar que o nível d'água está bem próxima a superfície, indicando que tal fator pode influenciar diretamente nas propriedades dos

elementos que compõem o pavimento, que devido ao contato direto com a água, pode perder suas características necessárias, ocorrendo a desagregação dos materiais e consequentemente podendo afetar a resistência do solo. Portanto, tais agentes indicam que uma estabilização adequada e tratamento específico para o solo da região se faz necessária para a eficiência das obras.

Sendo assim, fica claro a necessidade do aprofundamento de estudos com o foco nas camadas inferiores que compõem o pavimento, especificamente a base e subleito, visando melhores alternativas para que o solo com pouca resistência possa ser tratado e utilizado da forma mais durável, suportando o tráfego de veículos diários e intempéries naturais. Essas informações são essenciais para o projeto de drenagem e para a escolha de medidas preventivas que garantam que a obra de pavimentação atinja sua maior qualidade.

Em resumo, o estudo de sondagem SPT desempenha um papel crucial no planejamento e execução de obras de pavimentação, fornecendo informações valiosas sobre as condições do solo e permitindo que os engenheiros projetem e construam pavimentos seguros, com vida útil necessária e interessantes economicamente.

## **6.2 Proposta para recuperação do pavimento flexível**

Levando em consideração os dados apresentados até aqui, principalmente a respeito dos indicativos no ensaio SPT do nível d'água e intervenções realizadas ao longo dos anos, a reciclagem tem se destacado como uma medida eficaz e sustentável para a correção e manutenção de pavimentos viários. Este método envolve o reaproveitamento de materiais existentes, como asfalto fresado ou pavimentos deteriorados, para criar uma nova camada de pavimentação.

Uma das principais vantagens da reciclagem na pavimentação é a redução significativa da quantidade de resíduos gerados. Em vez de descartar os materiais antigos em aterros sanitários, eles são reutilizados como matéria-prima para novas camadas de pavimento. Isso contribui para a preservação dos recursos naturais e reduz o impacto ambiental associado à extração de novos materiais.

Se tratando de fatores econômicos, tal método permite economizar recursos valiosos, como agregados nobres e ligantes asfálticos, que seriam necessários na produção de novos materiais. Além disso, o custo da reciclagem geralmente é menor do que o da reconstrução

completa da pavimentação, resultando em economias significativas para as agências de transporte e governos locais.

Em comparação com métodos tradicionais de reconstrução de pavimentos, é geralmente mais rápida e menos disruptiva para o tráfego. Isso ocorre porque o processo de reciclagem é realizado no local, minimizando a necessidade de transporte de materiais e reduzindo o tempo de interrupção da via. Como resultado, é uma opção atraente para a manutenção de estradas em áreas urbanas e de alto tráfego.

A utilização dessa medida de recuperação permite a criação de uma nova camada de pavimento com propriedades mecânicas semelhantes ou até mesmo superiores às do pavimento original. Isso ocorre porque os materiais reciclados geralmente contêm agregados bem graduados e ligantes asfálticos de alta qualidade. Além disso, a utilização de aditivos ou estabilizadores pode ser empregada para melhorar ainda mais as propriedades do pavimento reciclado, podendo ser aplicada em diversas situações, desde a correção de defeitos localizados até a reabilitação de pavimentos completos.

Em suma, a reciclagem é uma medida de correção altamente eficaz para a pavimentação, oferecendo benefícios ambientais, econômicos e operacionais significativos. Ao incorporar práticas de reciclagem em programas de manutenção de pavimentos, é possível prolongar a vida útil das vias e promover uma infraestrutura mais sustentável e resiliente

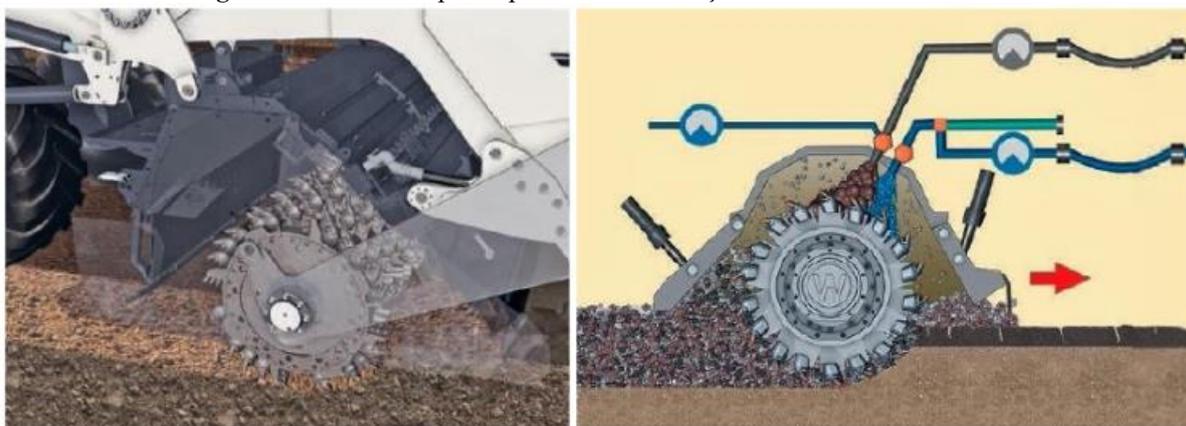
#### 6.2.1 Reciclagem da base com adição de cimento e recapeamento do revestimento

Segundo a Federal Highway Administration - FHWA (1981) – Administração Rodoviária Federal dos Estados Unidos, a reciclagem na pavimentação é uma prática sustentável que envolve o reaproveitamento de materiais provenientes de pavimentos desgastados para a construção ou reconstrução de novas camadas asfálticas. Comparando com as técnicas que já foram executadas no trecho da rua Leopoldo Machado, a reciclagem demonstra ser uma alternativa viável para que a recorrência de manifestações patológicas cesse no trecho analisado.

Essa técnica na pavimentação pode ser realizada de diversas maneiras, contendo tipos diferentes de métodos de reciclagem como: a quente ou a frio, que por sua vez podem ser processadas no próprio local (in situ) ou em usinas específicas, chegando também a recuperação de profundidade total. Como forma de manutenção apropriada para o estudo de caso deste trabalho, a opção a frio in situ poderia trazer significativos resultados, pois tal método

possui o auxílio do equipamento chamado de recicladora de asfalto (figura 38), que possui um cilindro especial para corte e trituração da camada asfáltica e da camada de base granular abaixo. Desta forma, o revestimento danificado é cortado, triturado e, com o giro contínuo em sentido ascendente do cilindro, o material é misturado e homogeneizado com agentes que trarão maior resistência ao pavimento reciclado.

**Figura 50** - cilindro especial para corte e trituração da recicladora de asfalto



Fonte: WIRTGEN, 2019

De acordo com ARRA (2019), o uso de agentes estabilizadores como cal, cimento, emulsão ou espuma asfáltica é de suma importância quando o local possui carência de propriedades do material existente na composição da via deteriorada. Através de uma manutenção que visa não somente tratamentos superficiais, mas sim estruturar camadas da base que influenciam diretamente nas imperfeições da via, o processo de reciclagem com a complementação de outro agente estabilizador que são as pedras rachão, que evitariam problemas com o solo mole presente no trecho, buscando garantir a vida útil das faixas de rolamento.

Utilizando como case de sucesso obras já feitas no estado do Amapá por meio da técnica de reciclagem, é possível usar como referência a execução feita no pavimento da orla de Macapá – AP, na qual no ano de 2023 foi realizada a obra por meio da Prefeitura Municipal de Macapá – PMM, no qual revitalizou grande parte da rua Cândido Mendes, Beira Rio, André de Oliveira Costa e do Araxá.

**Figura 51** - Execução da reciclagem na orla de Macapá - AP



Fonte: Seles Nafes, 2023

O processo executivo atendeu aos padrões normativos que obras como essas necessitam, atingindo os 3% de adição de cimento e incorporação do revestimento asfáltico à base, somadas a aplicação em conjunto da emulsão asfáltica para reforçar o material existente e agir como um agente estabilizador das camadas que estavam com deficiência em suas propriedades. Portanto, é válido dizer que essa técnica de restauração de vias poderia ser uma alternativa adequada para ser aplicada no trecho entre a Av. 13 de Setembro e Av. dos Timbiras, seguindo os processos executivos que foram realizados na reciclagem da orla de Macapá, pois iria adentrar mais profundamente nos problemas estruturais que as camadas inferiores possuem e que acarretam continuamente o surgimento de manifestações patológicas na rua Leopoldo Machado, além de ser uma interessante alternativa em relação ao custo benefício, como podemos ver na figura 42.

#### 6.2.2 Estimativa de custo para execução do processo de recuperação da via

Com base nas características de medidas da via analisada e nos processos executivos normalmente utilizados para a metodologia da reciclagem, foi elaborada uma planilha

orçamentária específica para o projeto em questão. A análise detalhada das medidas da via, incluindo largura, extensão e estado atual do pavimento, foi fundamental para determinar as quantidades de materiais e os equipamentos necessários para a execução do processo de reciclagem. Além disso, os processos executivos típicos da reciclagem foram considerados na elaboração da planilha, garantindo uma estimativa dos custos envolvidos. A planilha orçamentária desenvolvida servirá como um guia essencial para o planejamento financeiro do projeto, contribuindo também como validação a respeito de ser uma alternativa economicamente interessante, permitindo uma alocação eficiente dos recursos e uma execução bem-sucedida da reciclagem do pavimento da via.

**Figura 52 - Planilha Orçamentária para os serviços de reabilitação do trecho analisado**

Item	Base	Código	Descrição	und	Quant	Custo unit.	BDI	Preço Unit. Com BDI	Total
<b>3</b>			<b>PAVIMENTAÇÃO</b>						<b>R\$1.052.664,88</b>
<b>3.1</b>			<b>PAVIMENTAÇÃO EM BASE RECICLADA - PAVIMENTO TIPO A</b>						<b>R\$706.262,68</b>
3.1.1	PROPRIO	78472	SERVICOS TOPOGRAFICOS PARA PAVIMENTACAO, INCLUSIVE NOTA DE SERVICOS, ACOMPANHAMENTO E GREIDE	m²	8.613,89	R\$0,23	30,39%	R\$0,30	R\$2.584,17
3.1.2	SICRO 3	4011482	Reciclagem com adição de 3 % de cimento e incorporação do revestimento asfáltico à base	m³	1.722,78	R\$76,98	30,39%	R\$100,37	R\$172.915,43
3.1.3	PROPRIO	74021/006	ENSAIOS DE BASE ESTABILIZADA GRANULOMETRICAMENTE	m³	1.722,78	R\$1,40	30,39%	R\$1,83	R\$3.152,69
3.1.4	PROPRIO	93177	TRANSPORTE DE MATERIAL ASFALTICO, COM CAMINHÃO COM CAPACIDADE DE 20000 L EM RODOVIA PAVIMENTADA PARA DISTÂNCIAS MÉDIAS DE TRANSPORTE IGUAL OU INFERIOR A 100 KM. AF_02/2016	t x km	387,62	R\$2,96	30,39%	R\$3,86	R\$1.496,21
3.1.5	PROPRIO	74022/025	ENSAIO DE PONTO DE FULGOR - MATERIAL BETUMINOSO	und	3	R\$106,23	30,39%	R\$138,51	R\$415,53
3.1.6	PROPRIO	74022/027	ENSAIO DE CONTROLE DE TAXA DE APLICACAO DE LIGANTE BETUMINOSO	und	3	R\$46,47	30,39%	R\$60,59	R\$181,77
3.1.7	SICRO3	4011351	Imprimação com asfalto diluído com CM-30	m²	8.613,89	R\$0,39	30,39%	R\$0,51	R\$4.393,08
3.1.8	SICRO3	4011353	Pintura de ligação com RR-2C	m²	8.613,89	R\$0,30	30,39%	R\$0,39	R\$3.359,42
3.1.9	PROPRIO	95878	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 10 M³, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM	t x km	8.614,00	R\$1,53	30,39%	R\$1,99	R\$17.141,86
3.1.10	SICRO3	4011463	Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais	t	430,70	R\$233,73	30,39%	R\$304,76	R\$131.260,13
			<b>AQUISIÇÃO DE MATERIAIS BETUMINOSOS</b>						
3.1.11	COTAÇÃO	COTAÇÃO 01	ASFALTO DILUIDO DE PETROLEO CM-30	t	4,307	R\$9.220,00	17,49%	R\$10.832,58	R\$46.655,92
3.1.12	COTAÇÃO	COTAÇÃO 02	EMULSAO ASFALTICA CATIONICA RR-2C PARA USO EM PAVIMENTACAO ASFALTICA	t	1,59359	R\$5.900,00	17,49%	R\$6.931,91	R\$11.046,62
3.1.13	COTAÇÃO	COTAÇÃO 03	CIMENTO ASFALTICO DE PETROLEO A GRANEL (CAP) 50/70	t	34,45	R\$7.700,00	17,49%	R\$9.046,73	R\$311.659,85
<b>3.2</b>			<b>RECAPEAMENTO COM CBUQ - TIPO B</b>						<b>R\$346.402,20</b>
3.2.1	PROPRIO	78472	SERVICOS TOPOGRAFICOS PARA PAVIMENTACAO, INCLUSIVE NOTA DE SERVICOS, ACOMPANHAMENTO E GREIDE	m²	8.613,89	R\$0,23	30,39%	R\$0,30	R\$2.584,17
3.2.2	PROPRIO	313	ENSAIO DE VISCOSIDADE CINEMATICA - ASFALTO	und	1	R\$132,80	30,39%	R\$173,16	R\$173,16
3.2.3	PROPRIO	74022/025	ENSAIO DE PONTO DE FULGOR - MATERIAL BETUMINOSO	und	3	R\$106,23	30,39%	R\$138,51	R\$415,53
3.2.4	PROPRIO	93177	TRANSPORTE DE MATERIAL ASFALTICO, COM CAMINHÃO COM CAPACIDADE DE 20000 L EM RODOVIA PAVIMENTADA PARA DISTÂNCIAS MÉDIAS DE TRANSPORTE IGUAL OU INFERIOR A 100 KM. AF_02/2016	t x km	654,55	R\$2,96	30,39%	R\$3,86	R\$2.526,56
3.2.5	SICRO3	4011353	Pintura de ligação com RR-2C	m²	8.613,89	R\$0,30	30,39%	R\$0,39	R\$3.359,42
3.2.6	PROPRIO	74022/027	ENSAIO DE CONTROLE DE TAXA DE APLICACAO DE LIGANTE BETUMINOSO	und	3	R\$46,47	30,39%	R\$60,59	R\$181,77
3.2.7	PROPRIO	95878	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 10 M3, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: TXKM). AF_12/2016	t x km	19,00	R\$1,53	30,39%	R\$1,99	R\$37,81
3.2.8	SICRO3	4011463	Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais	t	430,69	R\$233,73	30,39%	R\$304,76	R\$131.258,46
			<b>AQUISIÇÃO DE MATERIAIS BETUMINOSOS</b>						
3.2.9	COTAÇÃO	COTAÇÃO 02	EMULSAO ASFALTICA CATIONICA RR-2C PARA USO EM PAVIMENTACAO ASFALTICA	t	1,59356965	R\$5.900,00	17,49%	R\$6.931,91	R\$11.046,48
3.2.10	COTAÇÃO	COTAÇÃO 03	CIMENTO ASFALTICO DE PETROLEO A GRANEL (CAP) 50/70	t	21,534725	R\$7.700,00	17,49%	R\$9.046,73	R\$194.818,84

Fonte: do autor, 2024

Ao restaurar o pavimento asfáltico por meio da reciclagem, não apenas prolongamos a vida útil da infraestrutura rodoviária, mas também promovemos práticas sustentáveis e contribuimos para a preservação do meio ambiente. Com o avanço da tecnologia e o

desenvolvimento de novas técnicas, espera-se que esse método na pavimentação se torne cada vez mais comum e eficiente na gestão e manutenção das vias urbanas e rodovias.

## 7 CONCLUSÃO

Em suma, a análise feita de acordo com os procedimentos do DNIT-PRO 006/2003, a rua Leopoldo Machado, especificamente o trecho do estudo de caso localizado entre a Av. 13 de Setembro e Av. dos Timbiras, sendo uma via de extrema importância para a cidade de Macapá, enfrenta sérios problemas de pavimentação que demandam atenção urgente, considerando que anualmente necessita de intervenções. Ao longo dos anos, as manutenções realizadas não foram capazes de corrigir os defeitos de forma eficaz, e a vida útil mínima do pavimento nunca foi alcançada. Como resultado, a via apresenta diversas manifestações patológicas que comprometem não apenas a estética, mas também a segurança e a funcionalidade da malha rodoviária.

Diante desse cenário, torna-se imperativo que medidas sejam tomadas para recuperar o pavimento da rua Leopoldo Machado, por se tratar de uma região que possui grande deficiência de resistência em suas camadas, logo, apresentando problemas precocemente. Após conceituar os tipos de pavimentos e caracterizar as manifestações que atualmente estão presentes na via, percebeu-se que é fundamental investir em projetos de revitalização que contemplem não apenas a correção dos defeitos existentes, mas também a implementação de soluções duradouras que garantam a qualidade e a durabilidade do pavimento, portanto, a alternativa de intervenção através do processo de reciclagem se mostra extremamente válido, por ser um tratamento não somente superficial, mas também que atinge as camadas mais inferiores.

Sendo essencial realizar um planejamento adequado para a execução das obras, levando em consideração as características atípicas da via e as necessidades da comunidade, visto que as manutenções feitas ao longo dos anos não surtiram os efeitos esperados, conseqüentemente, trazendo conseqüências econômicas e estruturais recorrentes. Acerca disso, a planilha orçamentária buscou presumir os custos que o processo de reciclagem iria necessitar, buscando indicar que economicamente a alternativa seria viável também.

Os dados coletados através de reportagens jornalísticas que já retrataram as deficiências desse trecho da faixa de rolamento contribuíram bastante para a resolução desse trabalho, complementando com visitas in loco e conseqüentemente observando de perto as problemáticas envolvendo o foco que possui esse estudo de caso.

Ademais, a restauração urgente da rua Leopoldo Machado é crucial para garantir a segurança e a mobilidade dos cidadãos de Macapá. Somente por meio de investimentos efetivos e ações coordenadas com processos executivos mais profundos e específicos como a

reciclagem, será possível superar os desafios enfrentados pela pavimentação dessa importante via urbana.

## 8 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

A pavimentação é uma parte essencial da infraestrutura urbana e rodoviária, desempenhando um papel crucial na mobilidade e na segurança dos usuários. Enquanto avançamos para o futuro, surgem desafios e oportunidades para aprimorar ainda mais os métodos e materiais utilizados na pavimentação. Neste contexto, sugerem-se alguns trabalhos futuros que podem trazer avanços significativos na resolução dos problemas existentes no trecho de análise desse trabalho:

- Estudo do Solo para Pavimentação: o solo é a base sobre a qual as vias são construídas. Um campo de pesquisa promissor é o desenvolvimento de técnicas avançadas de análise do solo para pavimentação, visando melhorar a durabilidade e a estabilidade das estradas. Isso inclui o estudo da composição do solo do trecho entre a Av. Treze de Setembro e Av. dos Timbiras, além de sua compactação e resistência, bem como a identificação de métodos para mitigar os efeitos de expansão e contração do solo, especialmente em áreas com variações climáticas extremas como a de Macapá – AP que possui elevadas temperaturas, visando minimizar o surgimento de defeitos na via.

- Análise da Quantidade de Tráfego de Veículos: o volume e o tipo de tráfego de veículos têm um impacto significativo na seleção de materiais e no design da malha rodoviária. Um trabalho futuro importante seria aprimorar os métodos de previsão e monitoramento do tráfego, incorporando dados de sensores e sistemas de monitoramento em tempo real. Isso permitiria um planejamento mais preciso e adaptável da área em questão, levando em consideração as necessidades específicas da região e o crescimento futuro do tráfego.

- Pavimentação e Drenagem Urbana: com o aumento da urbanização, os problemas de drenagem urbana tornaram-se uma preocupação importante. Trabalhos futuros podem explorar a integração de sistemas de drenagem no trecho pavimentado, como aprofundar estudos sobre pavimentos permeáveis e soluções de gerenciamento de águas pluviais. Além disso, é crucial investigar como as características da pavimentação afetam o escoamento superficial e a qualidade da água, visando minimizar os impactos negativos sobre os materiais que compõem a estrutura da rua Leopoldo machado.

- Desenvolvimento de Pavimentos Inteligentes: a incorporação de tecnologias avançadas, como sensores embutidos, pode transformar as estradas em sistemas inteligentes que monitoram continuamente as condições de tráfego, temperatura e umidade. Trabalhos futuros podem se concentrar no desenvolvimento de algoritmos de análise de dados e na

integração desses sistemas com infraestruturas de transporte inteligente, permitindo uma resposta mais rápida a eventos de tráfego e condições climáticas adversas.

- Comparação de custos entre metodologias de recuperação de pavimentos: Com o constante desgaste causado pelo tráfego veicular e as condições climáticas, é imperativo que sejam empregadas metodologias eficazes para garantir a durabilidade e a segurança das estradas. Diante desse cenário, surge a necessidade premente de realizar estudos que comparem os custos associados às diferentes metodologias de recuperação de pavimentos asfálticos.

Em resumo, os trabalhos futuros acerca dessa região devem se concentrar na integração de tecnologias avançadas, na sustentabilidade ambiental e na adaptação às necessidades específicas das áreas de análise da rua Leopoldo Machado. Ao abordar esses desafios de forma inovadora, podemos construir vias adequadas para o futuro.

## REFERÊNCIAS

- ARRA, Asphalt Recycling and Reclaiming Association (Associação de Reciclagem e Recuperação de Asfalto) Basic Asphalt Recycling Manual (BARM2) - Disponível em:<<https://www.arra.org/>>. Acesso em: junho de 2019
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6576**: Materiais Asfálticos – Determinação da Penetração. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- AUGUSTO JÚNIOR, F. Manual de pavimentação urbana. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (IPT), 1992.
- BALBO, José Tadeu. Pavimentos asfálticos: patologias e manutenção. São Paulo:Plêiade, 1997.
- BALBO, T. J. Pavimentação Asfáltica. 3.ed. Oficina de Textos - Painelas ou buracos, 2016.
- BENEDETTO, A.; Tosti, F.; Pajewski, L.; D'Amico, F.; Kusayanagi, W. (2014). FDTD simulation of the GPR signal for effective inspection of pavement damages. Proceedings of The 15th International Conference On Ground Penetrating Radar, [s.l.], p.513-518 2014. IEEE. DOI:10.1109/ICGPR.2014.6970477.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2006.
- BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. DNIT 005/2003 –TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – Terminologia. Rio de Janeiro, 2003.
- BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. DNIT 006/2003 – PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. DNIT: Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas. Rio de Janeiro, 2010.
- BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. DNIT. Norma 146 Pavimentação asfáltica - Tratamento Superficial Simples - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2012.
- BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. DNIT. Norma 146 Pavimentação asfáltica - Tratamento Superficial Duplo - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2012.
- BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. DNIT. Norma 146 Pavimentação asfáltica - Tratamento Superficial Triplo - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2012.
- BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. DNIT. IPR – 740. Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas. Rio de Janeiro, 2012.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. CNT: Brasil tem método antigo para dimensionar o pavimento. Brasília, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. CNT: Transporte rodoviário-desempenho do setor, infraestrutura e investimentos. Brasília, 2018.

Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná - DER/PR. PAVIMENTAÇÃO: CONCRETO ASFÁLTICO USINADO À QUENTE. Paraná, 2017

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de Conservação Rodoviária, IPR/DNIT/ABNT, Publicação 710, Rio de Janeiro, Brasil, 2005. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/710\\_manual\\_de\\_conservacao\\_rodoviarica.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/710_manual_de_conservacao_rodoviarica.pdf)  
Acesso em: 08 de janeiro de 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, IPR/DNIT/ABNT, Publicação 720, Rio de Janeiro, Brasil, 2006. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/720\\_manual\\_restauracao\\_pavimentos\\_afalticos.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/720_manual_restauracao_pavimentos_afalticos.pdf)>.  
Acesso em: 08 de janeiro de 2024.

FHWA - Federal Highway Administration – U.S. Department of Transportation - 1200 New Jersey Avenue, SE - Washington, DC 20590. Disponível em: <<https://www.fhwa.dot.gov/>>. Acesso em: junho de 2019

FREITAS, Eduardo Pacheco. A Construção da Travessia Régis Bittecourt (1955 – 1958) nas Páginas do Correio do Povo: Texto e Contexto. Tese de Mestrado. Programa de Pós – Graduação em História. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (*PUCRS*), 2015.

GIBSON, James Speight. Asphalt Materials Science and Technology. Elsevier, 2015.

GONÇALVES, F. J. P (1999). O Desempenho dos Pavimentos Flexíveis. Seminário II de doutorado, PPGEC/UFRGS.

GONÇALVES, Fernando José Pugliero. Diagnóstico e manutenção de pavimentos: ferramentas auxiliares. Passo Fundo: Ed. Universidade, 2007.

LI, H. Evaluation of cool pavement strategies for heat island mitigation. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade da Califórnia, Davis, 2012.

MELO, A. L. Apostilas de pavimentação e notas de aula. Universidade Federal de Pernambuco. UFPE, 2010.

OLIVEIRA, C. S. Análise comparativa técnico-econômica entre os pavimentos de concreto asfáltico e blocos intertravados de concreto. Dissertação - Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Unisinos, São Leopoldo, 109 p., 2018.

OLIVEN, Ruben George. Urbanização e mudança social no Brasil. Petrópolis, RJ: Editora Vozes, 1988.

PINTO, S.; PINTO, I. E. Pavimentação Asfáltica: Conceitos Fundamentais sobre Materiais e Revestimentos Asfálticos. 1º. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. 267 p.

RODRIGUES, L. F. Comportamento estrutural de placas de concreto apoiadas sobre base granular. Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiânia (UFG), Goiânia, 2003.

SENÇO, Wlastermiler de. Manual de técnicas de pavimentação. São Paulo: PINI, 1997.

SILVA, Paulo Fernando A. Manual de patologia e manutenção de pavimentos. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008.

TIGDEMIR, M. (2008). Dynamic permanent deformation testing of asphalt mixes and deformation waveform analysis. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, v. 15, p. 29–35. ISSN 0971-4588.

WANG, H., Al-Saadi, I., Lu, P., & Jasim, A. (2020). Quantifying greenhouse gas emission of asphalt pavement preservation at construction and use stages using life-cycle assessment. *International Journal of Sustainable Transportation*, vol. 14.