

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA ÁREA III CURSO BACHARELADO DE
ENGENHARIA CIVIL

HÁVILA KATIANE CASTRO SILVA

AVALIAÇÃO SUPERFICIAL DO PAVIMENTO FLEXÍVEL URBANO E DO SISTEMA
DE DRENAGEM PLUVIAL DE UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL – ESTUDO DE
CASO.

AGOSTO
2025

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG -
ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Hávila Katiane Castro Silva

Matrícula: 20201011050349

Título do Trabalho: AVALIAÇÃO SUPERFICIAL DO PAVIMENTO FLEXÍVEL URBANO E DO SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL DE UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL – ESTUDO DE CASO.

Autorização - Marque uma das opções

1. (x) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 28 / 08 / 2025.
Local Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE GOIÁS

HÁVILA KATIANE CASTRO SILVA

**AVALIAÇÃO SUPERFICIAL DO PAVIMENTO FLEXÍVEL URBANO E DO
SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL DE UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL –
ESTUDO DE CASO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Civil, do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Campus Goiânia, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Giovane Batalione

AGOSTO

2025

S586a Silva, Hávila Katiane Castro.

Avaliação superficial do pavimento flexível urbano e do sistema de drenagem pluvial de um condomínio residencial: estudo de caso / Hávila Katiane Castro Silva. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2025.
85f.

Orientação: Prof. Me. Giovane Batalione.

TCC (trabalho de conclusão de curso) – Curso de Bacharelado de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico da Área III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Inclui apêndices.

1. Pavimento flexível. 2. Drenagem pluvial. I. Batalione, Giovane (orientação). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 625.85

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lana Cristina Dias Oliveira CRB1/ 2.631
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulada **AVALIAÇÃO SUPERFICIAL DO PAVIMENTO FLEXÍVEL URBANO E DO SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL DE UM CONDOMÍNIO RESIDENCIAL – ESTUDO DE CASO.**, sob orientação de Giovane Batalione, apresentada pela aluna **Hávila Katiane Castro Silva (20201011050349)** do Curso **Bacharelado em Engenharia Civil (Câmpus Goiânia)**. Os trabalhos foram iniciados às **14:00** do dia **28/08/2025** pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Giovane Batalione** (Presidente)
- **Wesley Pimenta de Menezes** (Examinador Interno)
- **Sandro Borges Vale** (Examinador Interno)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição da candidata. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

☒ Aprovado

☐ Reprovado

Nota : 10,0

Observação / Apreciações:

Aluna aprovada com méritos.

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Giovane Batalione** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Wesley Pimenta de Menezes** (624.313.071-15), em **01/09/2025 09:10:41** com chave **adba0952872c11f08bdc005056a537a4**.
- **Sandro Borges Vale** (691.438.971-34), em **01/09/2025 10:01:20** com chave **c18cc3d2873311f088bd005056a537a4**.
- **Giovane Batalione** (359.761.011-00), em **01/09/2025 09:04:41** com chave **d73b2460872b11f0a99c005056a537a4**.

Este documento foi emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifg.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Ata de Projeto Final

Data da Emissão: 01/09/2025

Código de Autenticação: 143745



AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus e à sua infinita graça, pois sem Ele nada seria possível. Em segundo lugar, aos meus pais, Meire Castro Silva e Francisco Canindé da Silva, que sempre se esforçaram para me proporcionar uma educação de qualidade, incentivando-me a atingir um grande objetivo, como o primeiro diploma de graduação da minha família, bem como às minhas irmãs, e aos amigos que adquiri ao longo desta jornada, e que esteve ao meu lado em todos os momentos até aqui.

Um agradecimento especial ao meu orientador, que prestou todo o suporte necessário e sempre esteve disponível para esclarecer todas as minhas dúvidas. Professores como ele, sem dúvidas fazem com que cada aluno tenha prazer em adquirir mais conhecimento, e em estudar. Além disso, agradeço a todos os professores que são dedicados a ensinar e repassar tudo que sabem de forma empática a nós discentes, e que fizeram parte da minha trajetória até aqui, ensinando-me, e dedicando sua atenção a todos meus questionamentos e dúvidas de sala de aula.

Expresso minha gratidão ao meu esposo, Waldison Neto, que se juntou a mim nesta trajetória, sempre me dando força, estando ao meu lado, e sempre me conduzindo a enxergar o lado mais positivo dos desafios enfrentados em toda jornada acadêmica. Agradeço a ele pela família que estamos construindo e pelo nosso filho Nicolas, que esteve presente em meu ventre durante a primeira etapa deste trabalho. Embora agora siga apenas em nossos corações, sua breve presença trouxe transformações profundas e a força necessária para que eu concluísse esta segunda etapa. Etapa esta que, ao ser concluída fui surpreendida com um lindo presente enviado para alegrar nossa família, nossa tão sonhada e amada Ayla, que em breve estará conosco, celebrando e alegrando minha vida na finalização deste curso.

Por fim, uma homenagem a minha amiga Isabella, que me acompanha pela segunda vez nesta trajetória de formação acadêmica e profissional, bem como, amigos e familiares que sempre fizeram questão de me parabenizar pelo esforço e dizer, em singelas palavras, o quanto eu sou um exemplo para as crianças da nossa família. Pela segunda vez, minha trajetória no IFG foi marcada por muitos desafios, sobretudo, muitas risadas e companheirismo.

*“A educação é a arma mais poderosa que você pode
usar para mudar o mundo.”*

Nelson Mandela

RESUMO

A avaliação da superfície e da estrutura da base e sub-base do pavimento flexível envolve examinar as condições atuais do pavimento, verificando o estágio de deterioração em que ele se encontra, e projetar intervenções visando reparar as manifestações patológicas detectadas, garantindo desta forma o prolongamento de sua vida útil. O pavimento flexível é composto por uma camada de revestimento asfáltico, camadas de base e sub-base. Todas essas camadas foram desenvolvidas para desempenhar determinadas funções, seja de proteção contra entrada de água, para absorver as tensões aplicadas pelo carregamento do tráfego, para fornecer condutibilidade, conforto e segurança, sendo imprescindíveis a boa execução e manutenção desta estrutura para se garantir a durabilidade e o bom desempenho. O processo de avaliação sistemático permite a implementação de técnicas de manutenção preventiva e corretiva do pavimento, prolongando sua vida útil e garantindo condições de uso da via de transporte. Uma das atividades necessárias a ser realizada na avaliação do desempenho de toda a estrutura do pavimento é com relação ao sistema de drenagem existente, principalmente o pluvial. A drenagem adequada evita que a água se acumule ou infiltre nas camadas do pavimento, o que pode causar danos estruturais e o aparecimento de manifestações patológicas, tais como o surgimento de trincas, fissuras, deformações na estrutura, depressões e destacamento de parte da estrutura do pavimento, e a perda de capacidade de suportar as cargas atuantes. Os componentes do sistema de drenagem incluem elementos que atuam na drenagem superficial e subsuperficial, como a implantação de dispositivos de captação, a condução do fluxo de água e a redução do potencial de energia antes de lançar a água no ponto receptor. Por fim, o sistema de drenagem pluvial é essencial para preservar a estrutura do pavimento, aumentar a durabilidade e prolongar a vida útil. O presente trabalho de conclusão de curso tem por finalidade apresentar os resultados de um estudo de caso sobre avaliação da superfície de um pavimento flexível de 18 anos de idade, localizado em um condomínio na cidade de Caldas Novas, estado de Goiás. O presente trabalho apresentará as técnicas de análises e resultados da condição da superfície do pavimento, apresentando as manifestações patológicas detectadas, bem como uma análise do sistema de drenagem pluvial, e apresentando sugestões corretivas e de intervenção. Este trabalho consistirá em uma revisão bibliográfica abrangente sobre os conceitos fundamentação teórica sobre pavimentos flexíveis, seus materiais constituintes, as manifestações patológicas relevantes, e a normatização brasileira relacionadas às condições de desempenho de estruturas de pavimento, utilizando índices de desempenho. A conclusão será marcada pela apresentação de um estudo de caso, com a descrição dos resultados e análises derivados da pesquisa.

Palavras-chave: Pavimento flexível, drenagem pluvial, estrutura de pavimento.

ABSTRACT

The evaluation of the surface and structural conditions of flexible pavement base and sub-base layers involves analyzing the current state of the pavement, identifying the stage of deterioration, and proposing interventions to repair detected pathological manifestations, thereby extending its service life. Flexible pavements are composed of an asphalt surface layer and base and sub-base layers, each designed to perform specific functions such as protection against water infiltration, absorption and distribution of traffic-induced stresses, and provision of comfort, safety, and ride quality. Proper construction and maintenance of these layers are essential to ensure durability and satisfactory performance. A systematic evaluation process enables the implementation of preventive and corrective maintenance techniques, contributing to the preservation of pavement functionality and longevity. One of the essential aspects of pavement performance assessment is the analysis of the existing drainage system, particularly stormwater drainage, as adequate drainage prevents water accumulation and infiltration into pavement layers, which may lead to structural damage and the development of pathological manifestations such as cracks, fissures, deformations, depressions, surface detachment, and loss of load-bearing capacity. Drainage system components include surface and subsurface elements responsible for water collection, conveyance, and energy dissipation prior to discharge at the receiving point. Therefore, stormwater drainage systems play a crucial role in preserving pavement structure and extending its service life. This undergraduate thesis aims to present the results of a case study evaluating the surface condition of an 18-year-old flexible pavement located in a residential condominium in the city of Caldas Novas, Goiás, Brazil. The study presents analytical techniques and results related to pavement surface conditions, identified pathological manifestations, and an assessment of the stormwater drainage system, as well as corrective and intervention recommendations. The research includes a comprehensive literature review on flexible pavements, constituent materials, relevant pathological manifestations, Brazilian standards related to pavement performance, and the use of performance indices, culminating in the presentation and discussion of the case study results.

Keywords: Flexible pavement, rainwater drainage, pavement structure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Estradas de lajes de pedra.....	15
Figura 1.2 – Fluxograma do modal rodoviário	16
Figura 1.3 – Camadas do pavimento rígido	17
Figura 1.4 – Camadas do pavimento flexível	18
Figura 1.5 – Distribuição de cargas quanto ao tipo de pavimento	18
Figura 2. 1 – Arranjo Estrutural do Pavimento Flexível.....	25
Figura 2. 2 – Distribuição dos esforços em pavimentos flexíveis	25
Figura 2. 3 – Classificação dos Revestimentos de Pavimentos Flexíveis.....	26
Figura 2. 4 – Resumo de defeitos presentes em pavimentos	28
Figura 2. 5 – Trincas	29
Figura 2. 6 – Afundamento	30
Figura 2. 7 – Rachadura	30
Figura 2. 8 – Oxidação Betuminosa.....	31
Figura 2. 9 – Desgaste.....	31
Figura 2. 10 – Trinca Transversal	33
Figura 2. 11 – Trinca Longitudinal	34
Figura 2. 12 – Trinca de Bloco	35
Figura 2. 13 – Trinca Couro de Jacaré.....	35
Figura 2. 14 – Panelas.....	36
Figura 2. 15 – Remendos	37
Figura 2. 16 – Gráficos para obtenção do IG.....	38
Figura 2. 17 – Determinação da espessura da sub-base e base + revestimento	39
Figura 2. 18 – Gráfico do valor de suporte Califórnia.....	39
Figura 2. 19 – CBR mínimo e espessura mínima	40
Figura 2. 20 – Valores mínimo para CBR e IS em base de pavimento	41
Figura 2. 21 – Composição do revestimento conforme DNER	41
Figura 2. 22 – Variação da serventia do tráfego ou com o tempo de uso da via	42
Figura 2. 23 – Demarcação da área para inventário de defeito.....	43
Figura 2. 24 – Sarjeta Triangular	48
Figura 2. 25 – Tipos de boca de lobo.....	49
Figura 2. 26 – Galeria Pluvial	49

Figura 2. 27 – Poços de Visitas.....	50
Figura 2. 28 – Origem da água nos pavimentos.....	51
Figura 2. 29 – Ascensão capilar	52
Figura 2. 30 – Ação da água livre em pavimentos.....	52
Figura 4. 1 – Área do estudo de caso	57
Figura 4. 2 – Inspeção visual das vias.....	58
Figura 4. 3 – Marcação de área para estudo.....	59
Figura 4. 4 – Registro de defeitos	60
Figura 4. 5 – Medição dos defeitos	60
Figura 4. 6 – Ensaio de Mancha de Areia in loco	61
Figura 4. 7 – Dispositivo de drenagem	62
Figura 4. 8 – Condição interna do Bueiro.....	62
Figura 4. 9 – Desgaste da Via	64
Figura 4. 10 – Remendo da Via	64
Figura 4. 11 – Resultado do IGG das Vias Regulares	65
Figura 4. 12 – Resultado da análise do desempenho do pavimento pelo IGG	65
Figura 4. 13 – Resultado do IGG das Vias Ruins	66
Figura 4. 14 – Resultado da análise do desempenho do pavimento pelo IGG	66
Figura 4. 15 – Desempenho das ruas dentro do intervalo permitido	67
Figura 4. 16 – Resultado da avaliação da macroestrutura das ruas I	68
Figura 4. 17 – Desempenho das ruas acima do intervalo permitido	68
Figura 4. 18 – Resultado da avaliação da macroestrutura das ruas II.....	69
Figura 4. 19 – Desgaste da Rua	70
Figura 4. 20 – Dispositivo de drenagem	70
Figura 4. 21 – Mapa demonstrativo do sistema de drenagem verificado	71
Figura 4. 22 – Dispositivos de drenagem levantados durante vistoria	72
Figura 4. 23 – Interior de bueiro do residencial.....	73
Figura 4. 24 – Dispositivo de drenagem Boca de Lobo.....	74
Figura 4. 25 – Meio-fio deteriorado.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Grau de degradação do IGG	29
Tabela 2.2	Fator de ponderação do IGG	44
Tabela 2.3	Categoria do pavimento seguindo o ICP	45
Tabela 2.4	Fator de ponderação de severidade da deterioração do pavimento	46

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Agência de Bibliotecas e Coleções digitais da Universidade de São Paulo
ABPv	Associação Brasileira de Pavimentação
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CNT	Confederação Nacional de Transportes
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
ICP	Índice de Condição do Pavimento
IGG	Índice de Gravidade Global
IGI	Índice de Gravidade Individual
SHRP	Strategic Highway Research Program

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA DO TEMA	20
1.2	OBJETIVO GERAL.....	21
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	22
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1	CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA	23
2.2	ESTRUTURA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL	24
2.3	REVESTIMENTO FLEXÍVEL BETUMINOSO	26
2.4	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL	27
2.6.1	Fissuras	32
2.6.2	Trincas.....	32
2.5	DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	37
2.6	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE ATRAVÉS DO IGG	42
2.7	AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE ATRAVÉS DO ICP	44
2.8	ENSAIO DE MANCHA DE AREIA	46
2.9	SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL URBANO	47
2.9.1	Drenagem pluvial e seus componentes	47
2.9.2	Efeitos da água sobre a estrutura do pavimento	50
2.10	NORMATIVAS	53
3	METODOLOGIA.....	55
4	RESULTADOS OBTIDOS.....	57
4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS	58
4.2	CÁLCULOS E ANÁLISES DOS DADOS	63
4.2.1	Avaliação da superfície através do Índice de Gravidade Global (IGG).....	63
4.2.2	Avaliação da macroestrutura através do Ensaio de Mancha de Areia	67
4.2.3	Avaliação da superfície através do Índice de Condição do Pavimento (ICP).....	70
4.2.4	Avaliação do sistema de drenagem pluvial.....	71
5	CONCLUSÃO.....	76
	REFERÊNCIAS.....	79
	APÊNDICE	83

1 INTRODUÇÃO

Para Moura (2017), fazer uma analogia sobre a história da pavimentação traz uma lembrança da própria história de evolução da sociedade, que passa desde os primórdios dos povoadamentos, até a urbanização. E com o pavimento não seria diferente, ele veio sendo construído em etapas, assim como a civilização e a evolução da humanidade, de modo que, as primeiras buscas arqueológicas nos remetem ao Egito, com registros das mais antigas estradas pavimentadas com a junção de lajões postos em camadas de base com alta resitência de cargas, utilizadas para o caminho da construção das pirâmides. Nesse apanhado arqueológico, outras também são citadas, como Estrada Real (500a.C.) situada na Ásia Menor, que ligava Iônia (Éfeso) do Império Grego ao centro do Império Persa, em Susa, contendo vias de aproximadamente 2000 km de extensão, dentre outras.

No Brasil, o histórico da primeira rodovia pavimentada data de 1861, com a Estrada União e Indústria, que ligava Petrópolis-RJ à cidade de Juiz de Fora-MG. Antes disso, existiram estradas relatadas no contexto histórico como, por exemplo, a Estrada Santos - São Paulo constituída em 1972 com lajes de pedra, conforme ilustrado na Figura 1.1, que se tornou rodovia em meados de 1913. Observa-se portanto, que as estradas pavimentadas estão presentes no contexto histórico de evolução da sociedade não só no Brasil, mas também em todo o mundo. (MOURA, 2017)

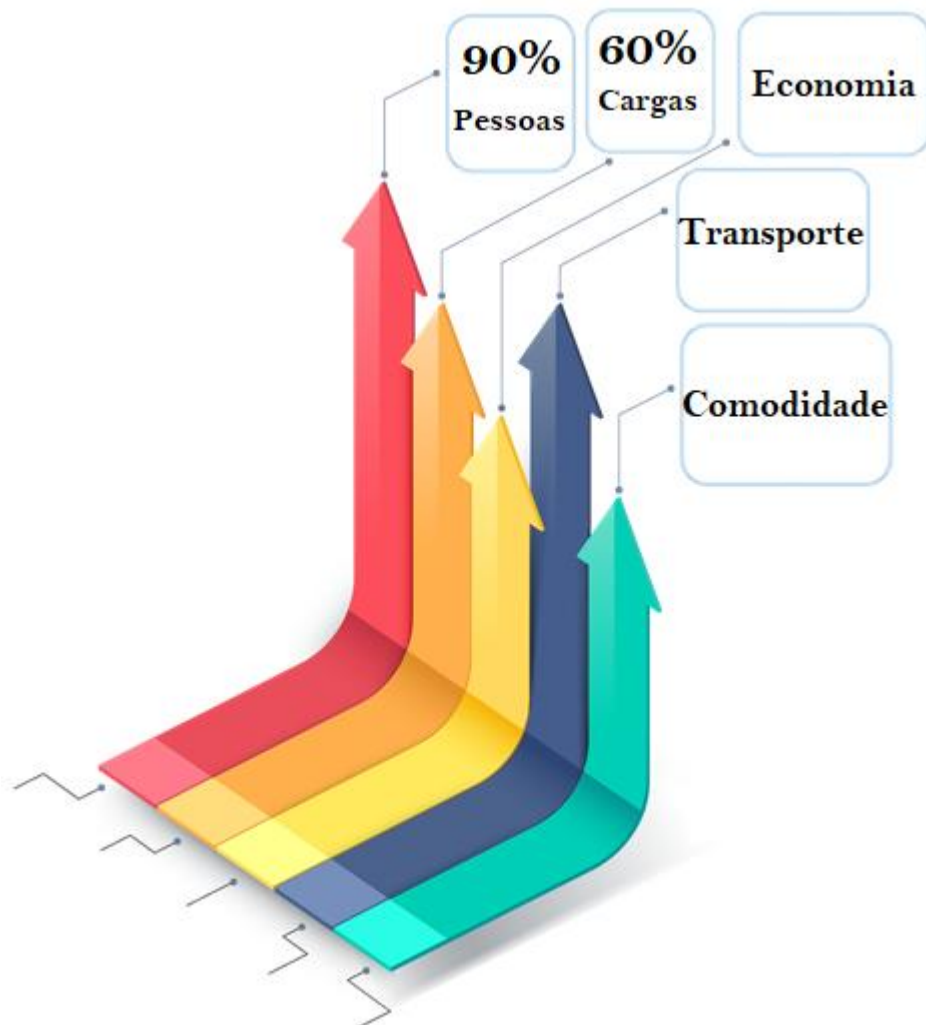
Figura 1.1 – Estradas de lajes de pedra



Fonte: Inspired Pencil (2023)

O Brasil, com sua extensão continental, necessita e depende de um sistema de transporte eficaz para transportar sua produção, pessoas, bens e outros. Conforme dados da Confederação Nacional dos Transportes (CNT), ilustrada no fluxograma da Figura 1.2, em 2017, aproximadamente 60% do transporte nacional de mercadorias e 90% do transporte de passageiros foram realizadas por meio de rodovias. Portanto, o transporte rodoviário desempenha um papel crucial na sociedade e na economia do Brasil, sendo o principal meio de transporte de mercadorias e pessoas em todo o território nacional. (MARTINS, 2019)

Figura 1.2 – Fluxograma do modal rodoviário



Fonte: Autor

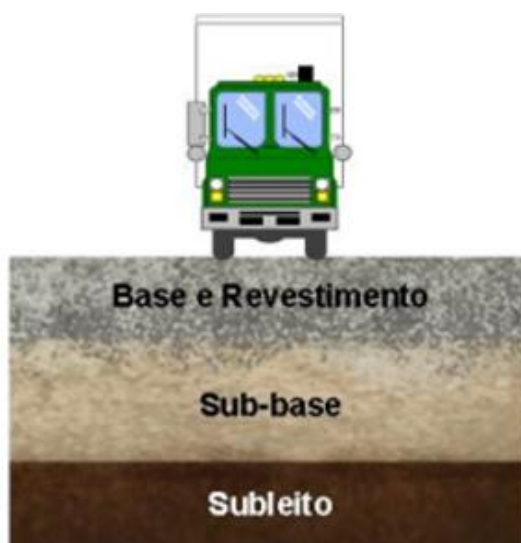
Em conformidade com Martins apud Balbo (2007), para um transporte eficaz, é imprescindível que o pavimento seja adequado e que as estradas estejam em boas condições, proporcionando economia, proteção e comodidade aos usuários. Embora o modal rodoviário seja crucial no Brasil, observa-se que a manutenção e a elaboração dessas infraestruturas demandam recursos que, na grande maioria das vezes são insuficientes ou de eficácia limitada.

As vias de transportes são de suma importância para a sociedade, visto que é por meio delas que ocorrem as locomoções de pessoas, veículos, produtos. Diante disso, afirma-se que a presença de uma estrada pavimentada impulsiona o desenvolvimento econômico de um país, bem como o desenvolvimento geral do próprio país. No que se refere aos pavimentos, Moura (2017) afirma que, os pavimentos são estruturas constituídas por camadas de diferentes materiais, como brita, mistura asfáltica, solo, entre outros, para que possam resistir às solicitações das cargas de projeto, tais como, as repetidas e itinerantes, bem como, as ações do ambiente previstas no projeto.

Quanto aos pavimentos, identificam-se três tipos classificatórios: rígido, semi-rígido, e flexível, que será abordado de forma individual a seguir:

1. **Pavimento Rígido** – segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), o pavimento rígido é um revestimento constituído de placas de concreto de cimento simples, como por exemplo, cimento portland. Sua estrutura é formada por uma camada de subleito, seguida por uma camada denominada sub-base e, finalmente, a camada base e revestimento, que é o concreto rígido, conforme ilustrado na Figura 1.3 a seguir:

Figura 1.3 – Camadas do pavimento rígido



Fonte: ABCP USP

2. **Pavimento Semi rígido** – o DNIT define o pavimento semi rígido como aquele que possui uma deformabilidade maior que o rígido e menor que o flexível, sendo constituído por uma base semiflexível (solo-cal, solo-cimento, solo alcatroado, etc.) e uma camada superficial flexível (concreto asfáltico, tratamento superficial betuminoso).”
3. **Pavimento Flexível** – para o DNIT, o pavimento flexível consiste em uma camada de rolamento asfáltica e de base, constituída de uma ou mais camadas, que se apoia sobre o leito da

estrada, de modo que a camada de rolamento pode adaptar-se à deformação da base quando solicitada.” A Figura 1.4 a seguir, apresenta a composição das camadas desse pavimento.

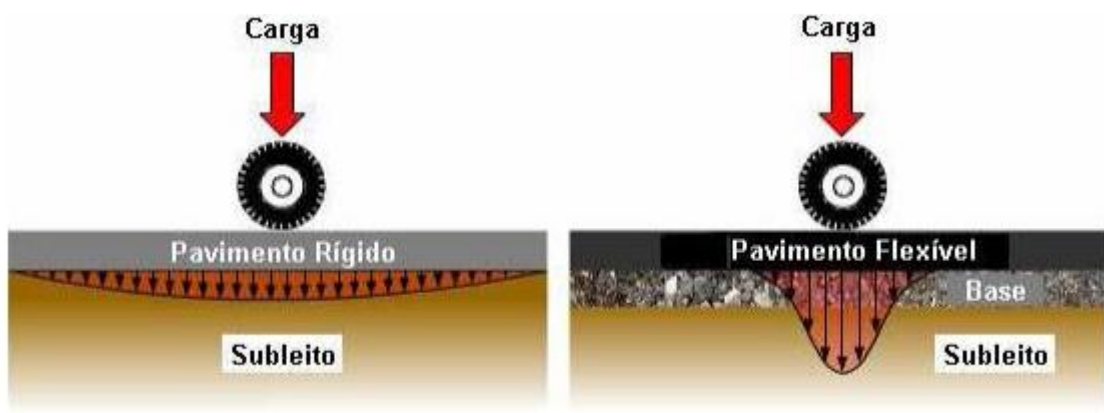
Figura 1.4 – Camadas do pavimento flexível



Fonte: ABCP USP

Em relação às especificações de suporte de carga dos tipos de pavimentos, a Figura 1.5 ilustra as diferenças entre os pavimentos rígidos e flexíveis, dois dos três tipos citados anteriormente.

Figura 1.5 – Distribuição de cargas quanto ao tipo de pavimento



Fonte: Moura (2017)

Ademais, este tipo de revestimento flexível será abordado em maior profundidade por ser o revestimento utilizado no estudo de caso deste trabalho.

Segundo Bernucci *et al.* (2008) os pavimentos asfálticos são formados por uma combinação de agregados e ligantes asfálticos. O pavimento rígido apresenta uma composição de três camadas principais: base revestimento, sub-base e subleito, sendo a base de concreto simples e o solo constituído por materiais cimentantes físicos e químicos. Já no pavimento

flexível, o revestimento asfáltico é constituído de material betuminoso, e as camadas de base, sub-base e reforço do subleito são constituídas de solos e materiais granulares, sendo estas de relevância crucial para estrutura, devido à sua capacidade de resistir ao número de solicitações durante sua utilização, e importantes para evitar deformações/deteriorações em sua superfície causadas, em sua maioria, pela má execução do projeto no momento da construção.

Segundo Souza, em sua nota de aula disponível na página professor PUC, o papel do ligante na união dos agregados proporciona flexibilidade controlada, impermeabilidade, durabilidade e resistência à maioria dos ácidos, álcalis e sais. Pode ser aquecido ou emulsionado, em uma variedade de combinações de esqueleto mineral, com ou sem adição de aditivos. O autor cita os seguintes materiais:

- Betume: comumente é definido como uma mistura de hidrocarboneto solúvel no bissulfeto de carbono;
- Asfalto: mistura de hidrocarbonetos derivados de petróleo de forma natural ou pós destilação cujo principal componente é o betume, contendo outros materiais, como oxigênio, nitrogênio e enxofre;
- Alcatrão: um produto que contém hidrocarbonetos que obtém-se da queima ou destilação destrutiva do carvão, madeira e outros.

Tão importante quanto a definição do pavimento é a capacidade de avaliar as condições de deterioração de toda a sua estrutura, com o objetivo de elaborar um projeto de intervenções e de reabilitação que recupere e prolongue a vida útil da via. É fundamental compreender as possíveis causas e os processos de ocorrência e progressão desses defeitos, ou seja, as variáveis que levam a cada tipo de falha no pavimento. A elaboração de um inventário para coletar os problemas existentes auxilia na identificação de cada defeito presente no segmento analisado, determinando no mínimo os tipos, as categorias, a severidade, as magnitudes e as localizações desses defeitos em um dado pavimento. (DOMINGUES, 1993)

Domingues (1993) argumenta que é crucial descrever os defeitos e os mecanismos de ocorrência das manifestações patológicas, suas localizações, grau de severidade, categoria e os procedimentos utilizados para a sua avaliação. Diante disso, os defeitos de revestimento de um determinado pavimento podem ser diferenciados em duas classes: Classe Estrutural e Classe Funcional, conforme segue:

Classe Estrutural – O defeito está relacionado à capacidade do pavimento de suportar a carga projetada. Como exemplo cita-se, um trincamento por fadiga, de elevada severidade/gravidade.

Classe Funcional – O defeito está relacionado às características dos rolamentos e à

segurança do pavimento. Como exemplo pode-se citar, um rolamento macio e confortável ou uma condição de resistência à derrapagem.

No contexto das fissuras, o termo significa fendas capilares existentes no revestimento asfáltico, perceptível à olho nu, a uma distância inferior a 1,5 m. Essas fendas filiformes (fino) isoladas, podem apresentar-se de forma longitudinal, transversal ou oblíqua ao longo do eixo do pavimento, ainda que retilíneas ou curvilíneas, com extensão inferior a 30 cm, correspondendo a um estágio inicial de fendilhamento. (DOMINGUES, 1993).

O Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT), em sua normativa nº 006/2003 – PRO, estabelece os procedimentos a serem adotados na avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi rígidos, com o objetivo de inventariar e classificar as ocorrências aparentes e as deformações permanentes nas trilhas de roda. Esta norma fixa as condições exigíveis para determinada avaliação, mediante a contagem e classificação de ocorrências aparentes.

No âmbito do sistema de drenagem, o Brasil enfrenta diversos problemas urbanos decorrentes de sistemas de drenagem inadequados, especialmente durante os períodos de maior precipitação. Esses problemas não se restringem às regiões periféricas da cidade, embora sejam frequentemente esses bairros os mais afetados, devido a carência de saneamento e a ausência de micro e macrodrenagem urbana adequados às demandas locais. Tais problemas podem acontecer até mesmo em áreas como condomínios residenciais fechado, condomínios residenciais abertos. (FRAGOSO *et al.* 2016)

De acordo com FRAGOSO *et al.* apud BEZERRA *et al.* (2016), a demanda por investimentos em infraestrutura surge com a urbanização, isto é, com o crescimento expressivo da população. Torna-se, assim, imprescindível que as cidades se desenvolvam de forma mais equitativa, oferecendo moradias de qualidade, saneamento e drenagem de águas pluviais para evitar inundações. Esses problemas são agravados pela presença de vastas áreas impermeáveis (asfalto, concreto), que impedem a infiltração da água no solo, resultado da urbanização sem um planejamento urbano adequado, torna-se inviável evitar o surgimento de diversos problemas para a população.

1.1 JUSTIFICATIVA DO TEMA

A avaliação de superfícies de pavimentação flexíveis é crucial por vários motivos, principalmente por questões de durabilidade, segurança e economia. Entre os principais aspectos a serem considerados, destacam-se: a segurança para usuários, o conforto no momento da condução, a durabilidade, eficiência para o tráfego, e a adequação do sistema de drenagem.

Assim, para a manutenção correta de uma superfície de pavimentação flexível garante que o pavimento dure mais tempo, dando aos usuários uma experiência melhor e economizando custos em reparações futuras.

A avaliação do sistema de drenagem pluvial do pavimento é crucial para assegurar o desempenho e longa vida útil da infraestrutura do pavimento, nos quais tem-se alguns motivos que podem ser incluídos como principais: prevenção do acúmulo de água na superfície, proteção estrutural, redução no desgaste do pavimento, aumenta a vida útil, sobretudo previne grandes impactos ao meio ambiente, como alagamentos e outros impactos ambientais.

De modo geral, os pavimentos de condomínios residenciais costumam apresentar problemas recorrentes, como, trincas, afundamentos, desagregações e surgimento de buracos, o que afeta a segurança e o conforto dos moradores. Esses problemas decorrem, principalmente, de falhas na fase de planejamento, execução inadequada e falta de manutenção preventiva. A escassez de estudos técnicos específicos sobre pavimentos em condomínios é um fator relevante, pois esses estudos geralmente são abordados de maneira genérica, sem levar em conta as características específicas desse tipo de empreendimento. Como o tráfego é concentrado em áreas específicas, a drenagem inadequada e o uso de materiais de qualidade inferior, e essas falhas restringem a implementação de soluções mais eficientes e duradouras.

Este estudo proposto será a primeira avaliação de caso do Condomínio Residencial Marina de Caldas, onde, até o presente momento, não há outros trabalhos em andamento. Dessa forma, a pesquisa contribuirá não apenas com uma avaliação sobre as condições de melhorias e avaliações físicas das vias internas do local, mas também com a produção acadêmica, ao preencher uma lacuna existente na área, visto que há poucos estudos de caso semelhantes em condomínios residenciais.

1.2 OBJETIVO GERAL

O presente estudo de caso tem como objetivo geral realizar uma análise detalhada da superfície do pavimento flexível e do sistema de drenagem pluvial do Condomínio Residencial Marina de Caldas, identificando as manifestações patológicas presentes e avaliando seu efeito no desempenho estrutural e funcional das vias internas. Ademais, procura-se combinar a revisão bibliográfica sobre pavimentação, patologias e critérios de desempenho com as observações práticas em campo, a fim de produzir uma avaliação embasada nas normas do DNIT, que possa apoiar as decisões de manutenção, reparo e prevenção. Assim, o objetivo deste trabalho é não só contribuir para a extensão da vida útil do pavimento estudado, mas também preencher uma lacuna na literatura com um estudo de caso aplicado, agregando valor acadêmico e profissional às áreas

da engenharia civil, geotécnica e de transportes.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Realizar uma revisão da literatura a respeito de pavimentos flexíveis, suas manifestações patológicas e os índices de avaliação de desempenho, enfatizando também a relevância de uma drenagem apropriada para a longevidade da estrutura;
- Registrar e organizar informações técnicas derivadas de normas e literaturas especializadas, com o objetivo de criar uma base teórica que funcione como referência para estudantes e profissionais da engenharia civil e campos relacionados;
- Confrontar a teoria com a prática por meio da realização de um estudo de caso experimental, avaliando em campo as condições reais da superfície do pavimento e do sistema de drenagem;
- Contribuir para a formação acadêmica e profissional, preenchendo uma lacuna na literatura com um estudo de caso realizado em um condomínio residencial urbano.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi estruturado em cinco capítulos.

No Capítulo 1, intitulado “Introdução”, apresenta-se a contextualização do tema, a justificativa do estudo, os objetivos gerais e específicos, bem como a estrutura textual adotada neste trabalho.

O Capítulo 2, “Revisão da Literatura”, contextualiza os tipos de pavimentos, suas estruturas e funções de cada camada, os índices de avaliação de desempenho, suas principais manifestações patológicas, sistemas de drenagem pluvial relacionadas a obras de pavimentação e urbanização, recomendações normativas e critérios de avaliação de desempenho.

O Capítulo 3, “Metodologia”, expõe os critérios utilizados na pesquisa bibliográfica, bem como o processo de seleção do material para a revisão da literatura. Apresenta ainda, os procedimentos adotados no trabalho de campo e os ensaios realizados para obtenção de dados para a análise.

O Capítulo 4, “Resultados Obtidos”, gráficos, tabelas, apresentado um resumo e consideração sobre o parecer da atual condição do pavimento, incluído todas as vias urbanas e o sistema de drenagem pluvial.

O Capítulo 5, apresentará a conclusão do trabalho, e as referências utilizadas .

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem por objetivo expor os conceitos, teorias e pesquisas mais relevantes já realizados sobre o tema em questão. O objetivo é criar uma base teórica concreta para sustentar o desenvolvimento do trabalho, por meio da análise de fontes acadêmicas relevantes.

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

Segundo Falcão (2021), a dinâmica do aumento populacional tem intensificado os debates acerca dos recursos naturais, principalmente no quesito da água, que é vital para a vida, suscita várias reflexões acerca da sua disponibilidade, tanto qualitativa quanto quantitativa, bem como do seu fluxo para o escoamento.

Havia uma enorme preocupação em se tratando de drenagem, mas na antiguidade as ruas formadas por pedras proporcionava uma excelente plataforma e impermeabilização através de sua drenagem. A preocupação não era apenas na parte de drenagem, como também, na boa pavimentação, onde aspectos envolviam: drenagem e abaulamento, erosão, distância de transporte, compactação, sobrecarga, marcação etc. Logo, desde o início, mesmo com estradas pavimentadas com pedras, esses aspectos traziam preocupação e hoje não é diferente. (BERNUCCI *et al.* 2008)

Uma cronologia de vias foi criada por Bernucci *et al.* (2008), onde relata que uma das primeiras estradas foi no ano de 1560, no governo de Mem de Sá que era governador geral do Brasil, essa estrada ligava São Vicente ao Planalto Piratininga, após isso, em 1661 houve uma recuperação deste caminho e passou a chamar Estrada do Mar, que atualmente é conhecida como Velha do Mar, e por conseguinte, o trecho passou diversas recuperações em 1789, 1913 que depois foi abandonada, mas em 1920 estabeleceu-se uma reconstrução.

No início do século XX, no Brasil, haviam pouco mais de 500 Km de estradas cujo o tráfego era restrito a tração animal, e em 1896 veio da Europa o primeiro veículo de carga, mas só no ano de 1903 foram licenciados demais veículos, e só em 1928 que foi inaugurada a rodovia Rio-São Paulo, iniciando o marco da política rodoviária. (BERNUCCI, *et al.* 2008)

Vale ressaltar que no Brasil, o histórico da primeira rodovia pavimentada é de 1861 com a Estrada União e Indústria, ligando Petrópolis-RJ até a cidade de Juiz de Fora-MG. Antes disso, teve sim, estradas relatadas no contexto histórico, como por exemplo: em 1792 a Estrada Santos - São Paulo constituídas de lajes de pedra, que virou rodovia em meados de 1913. (MOURA, 2017)

As primeiras estradas do contexto histórico eram de blocos de pedras, no qual o

revestimento era calçamento de alvenaria poliédrica, os revestimentos são compostos por camadas de pedras irregulares (dentro de certas tolerâncias), colocadas e pressionadas sobre um colchão de regularização, feito de material granular adequado. As junções são feitas com pequenos fragmentos de pedra e com o próprio material do colchão. Posteriormente, já no revestimento por calçamento de paralelepípedos os blocos mais atuais ao século XXI eram formados por unidades regulares, apoiadas em um colchão de regularização feito de material granular adequado. Os espaçamentos entre os paralelepípedos podem ser feitos com o próprio material do colchão de regularização, como areia, materiais ou misturas betuminosas, ou com argamassa de concreto Portland. (BERNUCCI et al, 2008)

2.2 ESTRUTURA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

O subleito influencia significativamente as respostas do pavimento quando submetido á cargas de tráfego (tensões, deformações e deslocamentos), onde uma porcentagem elevada de deflexão que ocorre na superfície é acumulada no subleito. É necessário fazer considerações sobre a mudança das propriedades do solo do subleito ao decorrer do pavimento (variabilidade longitudinal) e ao longo do tempo (impactos da sazonalidade e das variações climáticas). (GONÇALVES, 1999)

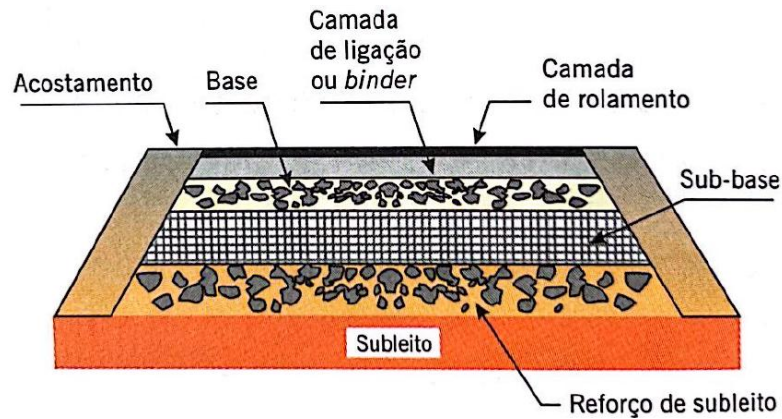
O pavimento flexível se tornou mais utilizado nas rodovias brasileiras, pois possibilita a adaptação a diferentes tipos de pisos ao combinar diversos materiais agregados em sua composição. Conforme Bernucci *et al.* (2008), o pavimento asfáltico é constituído por agregados. Este revestimento, composto por 90% a 95% de um determinado material, deve aguentar as cargas provenientes do veículo que são repassadas para o material betuminoso. Em geral, cerca de 7,5% do asfalto possui ação impermeabilizante e aglutinante.

Em média, o material denominado de aglomerante, seja ele cimento Portland, ou cimento asfáltico do petróleo (CAP), compõem em torno de 3,5 a 5,0 % do revestimento, cuja função é de aglutinação dos agregados e impermeabilização e proteção da estrutura das camadas de base e sub-base. (BERNUCCI *et al.* 2008)

Segundo Bernucci *et al.* (2008), a conservação do pavimento flexível deve ocorrer de maneira constante em virtude de sua estrutura. As paradas bruscas, o peso excessivo e o vazamento de óleo diesel são os principais responsáveis pelas deformações na superfície. Ao contrário do pavimento flexível, o pavimento rígido apresenta uma resistência alta a influências químicas, o que resulta em uma menor necessidade de manutenção ao longo de sua vida útil.

Na Figura 2.1 a seguir, temos o arranjo estrutural do pavimento flexível, onde cada camada presente esta devidamente nomeada.

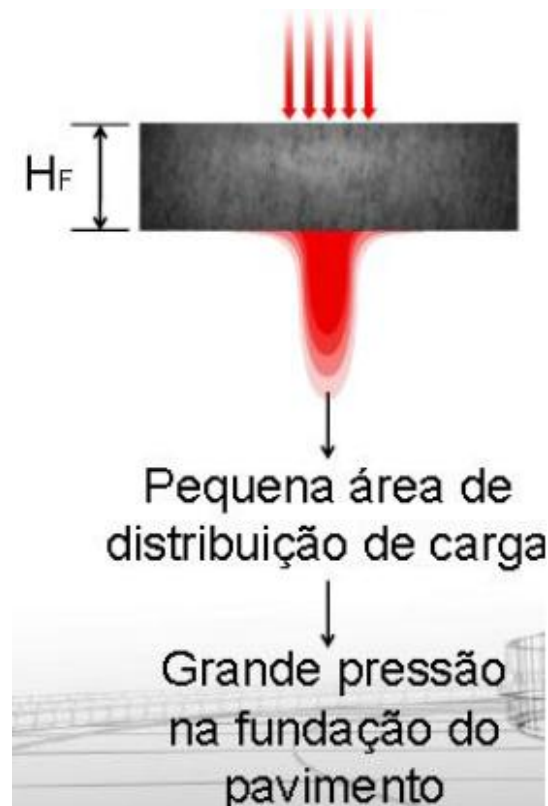
Figura 2. 1 – Arranjo Estrutural do Pavimento Flexível



Fonte: Bernucci, 2008

A distribuição de pressão em pavimentos flexíveis são feitas de formas mais pontuais e em pequena área, essa pequena área da fundação do pavimento recebe a pressão advinda do veículo e a transmite as camadas abaixo do revestimento (base, sub-base e subleito), conforme demonstrado na Figura 2.2 abaixo:

Figura 2. 2 – Distribuição dos esforços em pavimentos flexíveis



Fonte: ABCP USP

Os movimentos do tráfego de veículos podem ser representados através de uma pressão vertical e uma força tangencial que são aplicadas entre o pneu e a superfície do revestimento do pavimento. Em contrapartida, as ações climáticas surgem dos impactos causados pela mudança de temperatura e pela presença de água, que afetam a performance dos materiais usuais, como as misturas asfálticas. (FONTES, 2010).

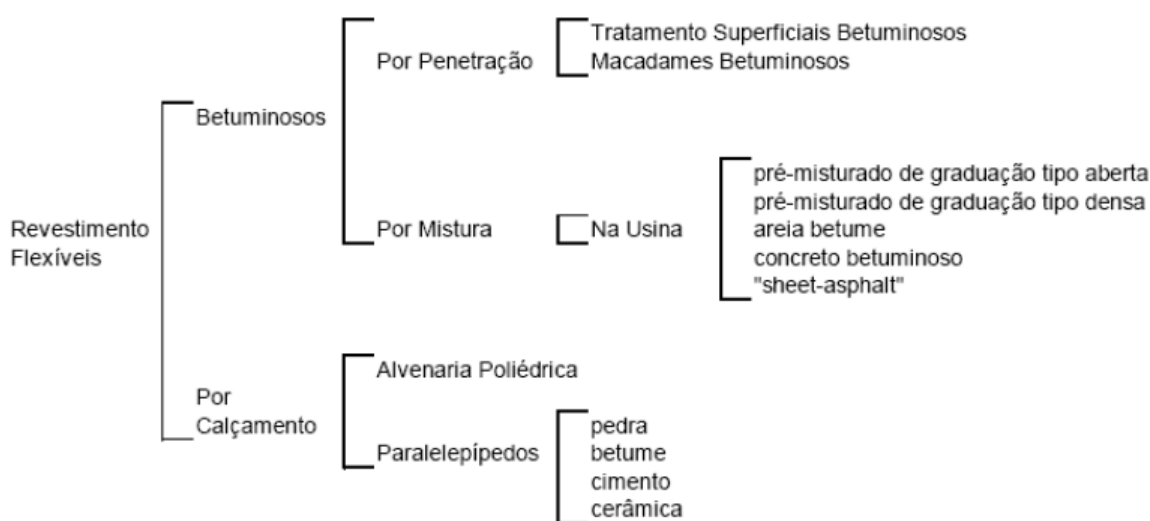
Por conseguinte, através da pesquisa da CNT (2017), para que um pavimento seja considerado adequadamente dimensionado, ele precisa suportar as alterações climáticas, resistir ao tráfego de veículos, permitir o escoamento da água em sua superfície e ter uma boa resistência a deslizamentos.

2.3 REVESTIMENTO FLEXÍVEL BETUMINOSO

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

Segundo DNIT (2006), a classificação dos revestimentos flexíveis é subdividida em 2 classes, sendo Betuminosos e Por calçamento, representadas no esquema da Figura abaixo:

Figura 2.3 – Classificação dos Revestimentos de Pavimentos Flexíveis



Fonte: DNIT (2006)

Nos revestimentos betuminosos por mistura, o agregado é pré-envolvido com o material betuminoso, antes da compressão, podendo ser por mistura a quente ou a frio. Já por penetração invertida são os acabamentos realizados através de uma ou mais aplicações de material. (BERNUCCI et al, 2008)

No revestimento por calçamento, tanto alvenaria polidrica como paralelepípedos, os

blocos são formados por unidades regulares, apoiadas em um colchão de regularização composto por material granular apropriado. A distância entre os paralelepípedos pode ser estabelecida com o próprio material do colchão de regularização, como areia, materiais ou misturas betuminosas, ou com argamassa de concreto Portland. (BERNUCCI et al, 2008)

2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

As manifestações patológicas associadas aos pavimentos flexíveis incluem: falhas de superfície; deterioração da superfície e deformações. Também podem ser caracterizadas como imperfeições: funcionais, que ocorrem quando o pavimento cumpre sua função de servir ao usuário; e imperfeições estruturais, resultantes de danos que ocorrem na superfície do pavimento quando submetido a cargas específicas. (SILVA E OLIVEIRA, 2021)

A norma brasileira do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes - DNIT TER 005/2003 estabelece as seguintes nomenclaturas para os defeitos listados para o cálculo do IGG (Índice de Gravidade Global): Exsudação de asfalto; Subida de finos; Deslizamento do revestimento asfáltico; Fendas ou fendilhamentos; Depressões ou ondulações; Trilhas ou caminhos de roda. Essas patologias estão ligadas às estruturas e à superfície do pavimento. (SILVA E OLIVEIRA, 2021).

Na norma DNIT PRO 006/2003, anexo D, há um resumo dos defeitos quanto a sua classificação e codificação. Esta informação está representado através da Figura abaixo:

Figura 2. 4 – Resumo de defeitos presentes em pavimentos

Anexo D (normativo)

Quadro resumo dos defeitos – Codificação e Classificação

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3

OUTROS DEFEITOS					CODIFICAÇÃO
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito		ALP
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito		ATP
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito		ALC
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito		ATC
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base					O
Escorregamento (do revestimento betuminoso)					E
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento					EX
Desgaste acentuado na superfície do revestimento					D
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores					P
Remendos			Remendo Superficial		RS
			Remendo Profundo		RP

NOTA 1: Classe das trincas isoladas

FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm.

FC-2: são trincas com abertura superior a 1,0mm e sem erosão nas bordas.

FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas.

NOTA 2: Classe das trincas interligadas

As trincas interligadas são classificadas como FC-3 e FC-2 caso apresentem ou não erosão nas bordas.

Fonte: DNIT 006/2003

Diante do IGG (Índice de Gravidade Global), na tabela 2 da Norma DNIT 006/2003, tem por finalidade conferir ao pavimento inventariado um determinado conceito entre péssimo e ótimo que retrate o grau de degradação atingido, no qual está representado na Tabela 2.1 a seguir:

Tabela 2.1 – Grau de degradação do IGG

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < \text{IGG} \leq 20$
Bom	$20 < \text{IGG} \leq 40$
Regular	$40 < \text{IGG} \leq 80$
Ruim	$80 < \text{IGG} \leq 160$
Péssimo	$\text{IGG} > 160$

Fonte: DNIT 006/2003

Vários elementos influenciam o desempenho que um pavimento específico pode proporcionar, entre eles se destacam: o volume e a intensidade da carga do tráfego, as características dos veículos, os materiais que compõem as camadas e sua diversidade ao decorrer do caminho, assim como a sua natureza, influenciam a natureza do pavimento, o período de manutenção do solo de subleito, a regularidade e as técnicas empregadas no decorrer do tempo, determinam a eficácia dessas práticas circunstâncias de escoamento e fatores ambientais. Vários indicadores podem ser empregados para avaliar uma situação, é possível quantificar a eficiência do pavimento, variando entre os elementos que o definem, condição de funcionabilidade até aqueles que se limitam a registrar imperfeições da superfície ou deformações plásticas. (GONÇALVES, 1999)

Para Gonçalves (1999), os principais mecanismos de deterioração dos pavimentos flexíveis são:

Figura 2. 5 – Trincas

Fonte: Além da Inércia (2018)

Trincas, ocorrem nas camadas asfálticas do revestimento, decorrentes da fadiga provocada pela reaplicação das cargas do tráfego, representada na Figura 2.5 ao lado

Figura 2. 6 – Afundamento



Fonte: Sindetrans, 2018

Afundamento, ocorrem em trilha de roda ou de ondulações na superfície em decorrência do aglomerado de deformações plásticas em todas as camadas, sob a reaplicação das cargas do tráfego, representado na Figura 2.6 ao lado;

Rachaduras, decorrente de uma drenagem lenta, a formação de rachaduras/trincas na camada de base permite a entrada de águas vinda de meios pluviais, que se acumulam no topo da base. Quando uma roda se movimenta, ocorre um excesso de pressões neutras na água retida, resultando no bombeamento de finos da base para a superfície (erosão) e em altas solicitações dinâmicas sob a camada de revestimento, acelerando a sua degradação. Já quando a água atinge e se acumula no topo do subleito sem uma drenagem adequada, aumenta a possibilidade de formação de deformações plásticas nessa camada e sua penetração na base granular, representado na Figura 2.7 ao lado;

Figura 2. 7 – Rachadura



Fonte: Além da Inércia, 2018

Envelhecimento/oxidação do ligante betuminoso, que enfraquece a mistura asfáltica facilitando seu rachamento e a remoção de agregados. A rapidez com que a oxidação do asfalto ocorre é influenciada pelas condições de temperatura, umidade e exposição solar. Em contraste, as variações de temperatura resultam na formação de trincas superficiais, no qual o risco é intensificado pela oxidação dos primeiros 25 mm do topo da camada asfáltica, representada na Figura 2.8 ao lado;

Figura 2. 8 – Oxidação Betuminosa



Fonte: Além da Inércia, 2018

Figura 2. 9 – Desgaste



Fonte: Além da Inércia, 2018

Desgaste com exposição de agregados e degradação da macrotextura do pavimento, onde é resultado de uma abrasão causada pelos veículos, que são intensificadas pela ação do tempo (oxidação do asfalto), resultando na diminuição do coeficiente de atrito, representado na Figura 2.9 ao lado;

2.6.1 Fissuras

São pequenas fendas existentes na camada de revestimento asfáltico, podendo ser vista de uma distância inferior a 1,5 m, quer sejam retilíneas ou curvilíneas, com extensão inferior a 30 cm, e se trata de um estágio final ou incipiente de fendilhamento. (DOMINGUES, 1993)

Para Domingues (1993), as principais causas se dá através da má dosagem do asfalto na hora da preparação, ou por compactação inadequada e até mesmo pela compactação excessiva. As fissuras podem ocorrer em qualquer local do pavimento, não há classe de definição, e não há níveis de severidade que a classifiquem, devido à manifestação patológica ser incipiente.

2.6.2 Trincas

O surgimento das trincas nos pavimentos asfálticos se dá por:

- Fadiga;
- Retração;
- Afundamento do subleito;
- Defeitos construtivos.

Ambos os motivos são um reflexo de passagem repetitiva de veículos em um dado trecho (fadiga), ou até mesmo por haver queda de temperatura (provocando retração no revestimento), fenômenos como aumento de umidade, recalques, escorregamento, retração hidráulica e expansão (afundamento subleito), ou por má composição da camada do pavimento, executada de maneira indevida (defeitos construtivos). (DOMINGUES, 1993)

O trincamento por fadiga por exemplo, Domingues (1993) afirma que é um defeito estrutural, pois se o sistema de drenagem lateral foi ineficiente, o trincamento por fadiga aparecerá imediatamente após a passagem da roda do carro.

As trincas possuem quatro principais classificações em função do tipo, extensão, intensidade e severidade, são elas:

- Trincamento transversal (TT);
- Trincamento longitudinal (TL);
- Trincamento em blocos (TB);
- Trincas por fadiga (couro de crocodilo).

O trincamento **transversal** (TT) é o agrupamento das trincas em forma perpendicular à linha central do pavimento, elas são oriundas pela contração de capa asfáltica, devido a baixas temperaturas ou até mesmo através do endurecimento do asfalto, também é causada pela

propagação das trincas que ficam abaixo do revestimento do pavimento, conforme representada na Figura 2.10. Sua determinação é através de uma medição em metros lineares, e tem classificação como defeito estrutural e funcional no qual causam irregularidades (funcional), e o enfraquecimento do revestimento (estrutural). (DOMINGUES, 1993)

Figura 2. 10 – Trinca Transversal



Fonte: Além da Inércia, 2018

O trincamento **longitudinal** (TL) é um grupo de trincas em posição paralela relacionada à linha central do pavimento em questão, são causadas por diversos fatores, sendo ele: má implementação da junta de separação entre duas faixas perpendicularmente, recalque, contração da capa asfáltica (provocadas pela baixa temperatura ou endurecimento do asfalto), e causado pela propagação das trincas localizadas abaixo do revestimento do pavimento, conforme representada na Figura 2.11. Não é trincas que estão interligadas as cargas, mas, quando ocorre o alargamento de pista, é desenvolvido um recalque diferencial em razão da velocidade desse

recalque. Assim como o transversal tem classificação funcional e estrutural, e é medido em metros lineares. (DOMINGUES, 1993)

Figura 2. 11 – Trinca Longitudinal



Fonte: Além da Inércia, 2018

Já o trincamento em **blocos** (TB), um conjunto de trincas divide a superfície do revestimento em formatos retangulares que podem variar de aproximadamente 0,1 m² a 10 m² de área, conforme representada na Figura 2.12. A grande causa desses trincamentos são as contrações da capa asfáltica em função de baixas temperaturas ou endurecimento do asfalto, outro aspecto que influencia são as baixas resistências a tração na mistura asfáltica, o que provoca um aceleração no início desse trincamento. Sua classificação é defeito funcional e estrutural, sendo alta irregularidade (funcional) e redução de integridade (estrutural). (DOMINGUES, 1993)

Figura 2. 12 – Trinca de Bloco



Fonte: Além da Inércia, 2018

O trincamento por **fadiga**, mais conhecido como **couro de jacaré**, é o agrupamento de trincas, que são causadas pela diminuição da resistência da superfície do revestimento, sob uma ação de tráfego repetida, no qual é causado pelo colapso do revestimento, solo com capacidade de suporte abaixo, má qualidade de estrutura em alguma das camadas do pavimento, e até mesmo pelo asfalto duro/quebradiço, conforme representada na Figura 2.13 Em seu estágio mais avançado, as trincas de fadiga podem levar à formação de panelas. (DOMINGUES, 1993)

Figura 2. 13 – Trinca Couro de Jacaré



Fonte: Sindetrans, 2018

Segundo Domingues (1993), **Panelas** são buracos (cavidades) na camada do revestimento do pavimento, podendo ser de tamanhos variados, conforme representada na Figura 2.14, que na grande maioria, são causadas por danos devido as trincas de fadiga, desintegração localizada do revestimento betuminoso, e até por ciclos gelo-degelo quando acompanhadas da presença de umidade, que são aceleradas pelas ações do tráfego local. As panelas são defeitos funcionais, e possuem níveis de severidade sendo, baixo, médio e alto, determinadas pelo grau de profundidade que variam entre profundidades menores que 2,5 cm, profundidades entre 2,5 cm e 5,0 cm e profundidades maiores do que 5,0 cm, respectivamente.

Figura 2. 14 – Panelas



Fonte: Inova Civil

Por fim, o **Remendo** é uma área do pavimento que se originou de uma panela, e foi recapeada ou preenchida com novo material betuminoso, conforme representada na Figura 2.15, e tem como objetivo corrigir defeitos na superfície do pavimento que foram causados por carga de tráfego, má construção, ação do meio ambiente. Os remendos são classificados como defeitos funcionais e estruturais, e são executados segundo uma técnica apropriada, chamada de “Tapa Buraco”.

Figura 2. 15 – Remendos



Fonte: Além da Inércia, 2018

Existem mais alguns trincamentos como propagação de juntas, na borda e parabólico, contudo, os citados anteriormente são os principais.

2.5 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL

De acordo com Cardoso, em sua nota de aula, com o conhecimento das características dos materiais que o compõem, do material de fundação e do tráfego que o solicitará, podemos dimensionar essa estrutura, definindo as espessuras das suas camadas. Assim, o dimensionamento do pavimento consiste em estabelecer as espessuras das suas camadas. Existem diversos métodos de dimensionamento para pavimento flexível, mas alguns deles são: Método do IG, Método do CBR, Método do DNER-DNIT, dentre outros.

CARDOSO (2020) define o **método do índice de Grupo IG**, como aquele que consiste em determinar os limites de Atterberg do solo e na porcentagem do material fino obtido por intermédio dos gráficos da Figura 2.16, no qual a soma das ordenadas obtidas nos gráficos, aplicando-se a fórmula empírica a seguir:

$$\mathbf{IG = 0,2a + 0,005ac + 0,01bd}$$

Em que:

a = percentagem do material que passa na peneira nº 200, menos 35;

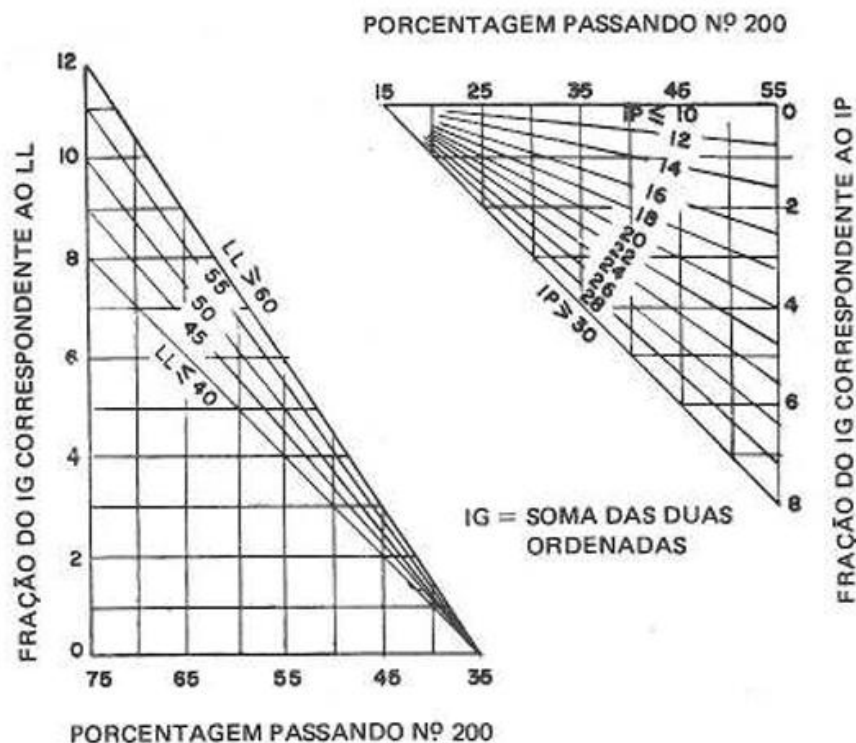
b = percentagem do material que passa na peneira nº 200, menos 15;

c = valor do limite de liquidez, menos 40;

d = valor do índice de plasticidade, menos 10.

Os valores de a, b, c e d são expressos em números inteiros positivos.

Figura 2. 16 – Gráficos para obtenção do IG



Fonte: Cardoso, 2020

Para CARDOSO (2020) o método é baseado nas características físicas do terreno, e identifica-se o solo constituinte do subleito por intermédio do índice, em que a espessura da base e revestimento é classificado através do tráfego, sendo: leve (50 veículos diários), médio (50 a 300 veículos diários), e pesado (mais de 300 veículos diários), correspondendo as seguintes espessuras: leve (15 cm de espessura), médio (23 cm de espessura) e pesado (30 cm de espessura). Conforme Figura 2.17 abaixo:

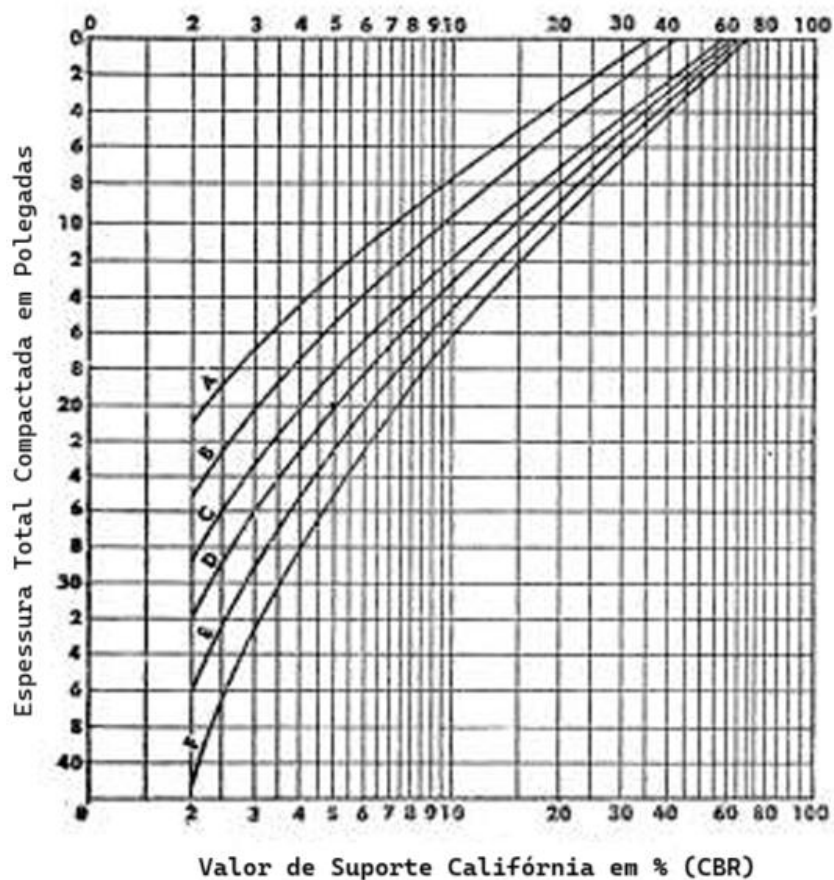
Figura 2. 17 – Determinação da espessura da sub-base e base + revestimento

IG DO SUBLEITO		VOLUME DE TRÁFEGO COMERCIAL DIÁRIO			ESPESSURA DA BASE + REVESTI- MENTO EM FUNÇÃO DO TRÁFEGO
		LEVE	MÉDIO	PESADO	
0 — 1	BONS	15 cm	23 cm	30 cm	0
2 — 4	REGULARES	10	10	10	10
5 — 9	POBRES	20 cm	20 cm	20 cm	20
10 — 20	MUITO POBRE	30 cm	30 cm	30 cm	30

Fonte: Cardoso, 2020

Outro método para dimensionamento dos pavimentos flexíveis citado por CARDOSO (2020), é o **Método CBR**, um método empírico em que se baseia na resistência que o terreno tem à penetração. Ele consiste em obter uma relação entre os tipos de solos que compõem o subleito e um de pedra britada com granulometria estabelecida. Para projetar a espessura do pavimento, é utilizado um gráfico composto da Figura 2.18 a seguir:

Figura 2. 18 – Gráfico do valor de suporte Califórnia



Fonte: Cardoso, 2020

Para cada carga de roda, existe uma curva representada por uma letra, onde:

A = 6000 lb por roda

B = 9000 lb por roda

C = 12 000 lb por roda

D = 15 000 lb por roda

E = 20 000 lb por roda

F = 25 000 lb por roda

Com base na carga por roda e na letra da curva, tem-se um CBR mínimo e uma espessura, conforme Figura 2.19 abaixo:

Figura 2. 19 – CBR mínimo e espessura mínima

CBR mínimo e espessura mínima combinada de base e revestimento imediatamente sobre a sub-base		
Carga por roda	CBR mínimo do material de base em %	Espessura mínima combinada de base e revestimento
9 000 lb para baixo	45	6"
12 000 lb	55	7"
15 000 lb	60	8"
20 000 lb	65	9"
25 000 lb	70	9"

Fonte: Cardoso, 2020

Por fim, o **Método DNER**, do engenheiro Murillo Lopes de Souza, ano de 1961, a espessura total do pavimento depende de alguns fatores, como:

- **Índice de suporte (IS) do subleito**, que consiste em determinar condições para massa específica máxima e umidade ótima do subleito, onde é recomendado pelo engenheiro que 15 cm superiores do subleito seja escarificado e compactado, e também recomendado que o subleito seja heterogêneo. (CARDOSO, 2020)
- **Tráfego previsto**, no qual se subdivide em 3: leve, médio e pesado. Onde leve sendo número de veículos diários inferior ou igual a 250, médio sendo número de veículos diários entre 250 e 750, e por fim, pesado sendo número de veículos diários superior a 750. (CARDOSO, 2020)

O método considera 3 cargas máximas por roda, sendo a primeira pra estradas em regiões onde o número de veículos seja remoto a carga máxima de 4t/roda. Segundo, para estradas brasileiras a carga máxima de 5t/roda. Terceiro, para estradas situadas em regiões especiais e/ou industrializadas á carga máxima de 6t/roda. (CARDOSO, 2020)

Em resumo, para o dimensionamento do DNER, o CBR deve ser superior ao índice

suporte (IS), e para cada tipo de tráfego, tem-se valores mínimo para adotar para material da base, como o presente na Figura a seguir:

Figura 2. 20 – Valores mínimo para CBR e IS em base de pavimento

Carga máxima por roda 4 t	IS mínimo	CBR mínimo
tráfego leve	30	40
tráfego médio	30	40
tráfego pesado	35	50

Carga máxima por roda de 5 t	IS mínimo	CBR mínimo
tráfego leve	30	40
tráfego médio	35	50
tráfego pesado	40	60

Carga máxima por roda de 6 t	IS mínimo	CBR mínimo
tráfego leve	35	50
tráfego médio	40	60
tráfego pesado	45	70

Fonte: Cardoso, 2020

E para revestimento betuminoso, recomenda-se que sejam conforme Figura abaixo:

Figura 2. 21 – Composição do revestimento conforme DNER

Carga máxima de 4 t por roda	
tráfego leve	tratamento superficial, areia-betume, etc. ou revestimentos até 1" de espessura
tráfego médio	idêntico ao tráfego leve
tráfego pesado ...	concreto betuminoso, pré-misturado, <i>road-mix</i> , macadames betuminosos ou revestimentos até 2" de espessura

Carga máxima de 5 t por roda	
tráfego leve	tratamento superficial, areia-betume ou revestimento até 1" de espessura
tráfego médio	concreto betuminoso, macadame betuminoso, pré-misturados, <i>road-mix</i> , etc. ou revestimentos até 2" de espessura
tráfego pesado ...	revestimentos betuminosos com 3" de espessura de tipo intermediário (<i>road-mix</i> , pré-misturado, etc.) ou 2" no tipo superior (concreto betuminoso)

Carga máxima de 6 t por roda	
tráfego leve	revestimentos com 2" de espessura do tipo intermediário ou superior
tráfego médio	revestimentos com 3" de espessura do tipo intermediário ou 2" de tipo superior
tráfego pesado ...	revestimentos com 3" de espessura do tipo superior

Fonte: Cardoso, 2020

2.6 AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE ATRAVÉS DO IGG

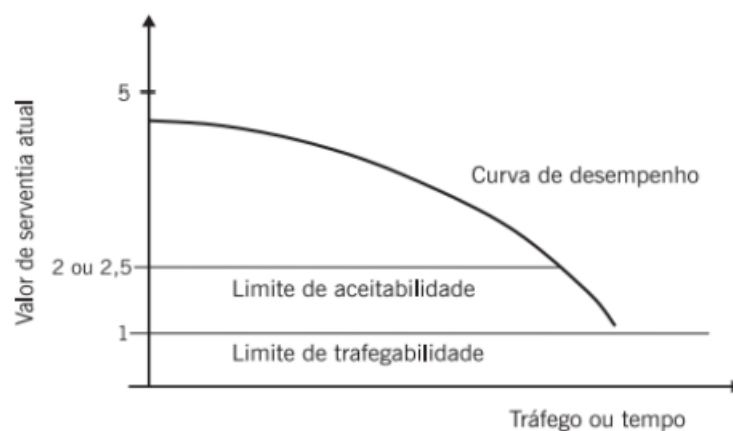
As condições superficiais de um pavimento necessitam ser levantadas, analisadas, e atribuídos indicadores numéricos que facilitam classificar seu estado. O DNIT estabelece um método de levantamento dos defeitos para atribuição do Índice de Gravidade Global (IGG) onde o cálculo do IGG consiste em um levantamento da superfície de forma a embasá-lo.

Através da normativa DNIT PRO 006/2003, a avaliação da camada de revestimento de pavimentos rodoviários sendo flexíveis ou semirrígidos, deve ser realizada mediante contagem e classificação de ocorrências aparentes e medidas de deformação localizadas nas trilhas de rodas.

Para Balbo (2007), a análise estrutural se fundamenta no detalhamento dos componentes e variáveis estruturais do pavimento, definindo sua identidade de comportamento através das cargas aplicadas nele, além da sua habilidade de resistência suporte para as futuras necessidades de carga.

Conforme Bernucci *et al.* (2008) a avaliação subjetiva para um pavimento é uma técnica comum estabelecida associando o conforto oferecido ao deslizar e a segurança no qual os níveis de serviço refletem a qualidade do pavimento em um local determinado, em contrapartida, o desempenho poderá ser entendido como a mudança na funcionalidade ao longo do tempo ou do trânsito, conforme demonstrado na Figura a seguir:

Figura 2. 22 – Variação da serventia do tráfego ou com o tempo de uso da via



Fonte: Bernucci *et al.* 2008

Zanchetta (2005) afirma que para o sistema de gerenciamento de pavimento empregando o Índice IGG há algumas delimitações, por no caso, levar em consideração apenas a quantidade das deformações registradas em ocorrências. Outra restrição de suma importância, é não considerar o nível de severidade dos defeitos bem como a dimensão, com exceção das trincas. Tais características, torna o uso do índice no segmento de gerência de pavimento limitado.

fp – valor de ponderação;

O fator de ponderação está relacionado ao tipo de defeito do pavimento, e cada defeito possui uma sigla. As siglas apresentadas na Tabela 2.2 correspondem a diferentes tipos de defeitos classificados segundo a Norma DNIT 006/2003-PRO. Seus significados específicos estão detalhados anteriormente, na Figura 2.4, onde se encontra a descrição completa de cada ocorrência.

Tabela 2.2 – Fator de Ponderação do IGG

Ocorrência Tipo	Codificação de ocorrências de acordo com a Norma DNIT 005/2002-TER "Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia"	Fator de Ponderação
1	Fissuras e Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL E TRR)	0,2
2	FC-2 (J e TB)	0,5
3	FC-3 (JE e TBE) Nota: Para defeitos de ponderação quando em uma mesma estação forem constatadas ocorrências tipos 1, 2 e 3, só considerar as do tipo 3 para o cálculo da frequência relativa em porcentagem (fr) e Índice de Gravidade Individual (IGI); do mesmo modo, quando forem verificadas ocorrências tipos 1 e 2 em uma mesma estação, só considerar as do tipo 2.	0,8
4	ALP, ATP E ALC, ATC	0,9
5	O, P, E	1
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Fonte: DNIT PRO 006/2003

2.7 AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE ATRAVÉS DO ICP

Segundo o manual original do SHRP – Strategic Highway Research Program, o Índice de Condição do Pavimento (ICP) foi desenvolvido como um instrumento padronizado para avaliar de maneira quantitativa o desempenho funcional e estrutural dos pavimentos. O método SHRP, originado nos Estados Unidos, teve como objetivo estabelecer uma metodologia padronizada para a comparação das condições de pavimentos em diversas regiões, climas e tipos de revestimento, com ênfase em critérios científicos e reproduzíveis.

O ICP é concebido com um índice numérico que varia de 0 a 100, e as notas do ICP são divididas em 5 intervalos iguais e utilizadas para definição da categoria do pavimento, conforme o Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Categoria do pavimento seguindo o ICP

Índice de condição do Pavimento	Intervalo	Categoria do pavimento
ICP de 100 a 80	01	Excelente (ótimo)
ICP de 80 a 60	02	Bom
ICP de 60 a 40	03	Regular
ICP de 40 a 20	04	Ruim
ICP de 20 a 0	05	Péssimo

Fonte: Bolina *et.al* [s.d.]

A implementação do Índice de Condição do Pavimento (ICP) começa com a coleta sistemática de dados sobre os defeitos existentes no revestimento, conduzida de acordo com os critérios estabelecidos pelo método SHRP. Em primeiro lugar, o pavimento é segmentado em unidades amostrais ou trechos homogêneos de 20 em 20 metros, onde se identificam e documentam todas as formas de manifestações patológicas, como fissuras, afundamentos, remendos, placas, desgaste, entre outros. Para cada defeito identificado, registra-se a extensão (área ou comprimento afetado) e a gravidade (baixa, média ou alta), conforme tabela 2.3. Esse procedimento pode ser realizado por meio de inspeção visual no local ou com o auxílio de equipamentos de imageamento. (SHRP, 1993)

Para cada seção inspecionada, é necessário avaliar o tipo de defeito específico encontrado e atribuir uma nota, correspondente à intensidade de degradação do mesmo, chamada de nível de severidade, que varia de 0 a 3 sendo:

- 0 = ausência de defeito;
- 1 = baixa severidade;
- 2 = média severidade;
- 3 = alta severidade.

Com as informações levantadas referente à extensão, área e nível de severidade calcula-se o Índice de Condição do Pavimento (ICP), por meio da seguinte fórmula:

$$ICP = 100 - \sum_{i=0}^n (DxS)$$

Onde:

- D é a área atingida pela deterioração i;
- S é um fator de ponderação considerando a severidade da deterioração i.

Para a avaliação e cálculos do índice através de um sistema de planilha, demonstrado em apêndice, é utilizado a tabela de referência da SHRP para grau de degradação do defeito,

conforme abaixo.

Tabela 2.4 – Fator de ponderação da severidade da deterioração do pavimento

TIPO DE PAVIMENTO	TIPO DE DEFEITO	SEVERIDADE		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
FLEXÍVEL	1.Trincas por Fadiga	0,30	0,60	0,90
	2.Trincas em Blocos	0,30	0,60	0,90
	3.Trincas Laterais	0,30	0,60	0,90
	4.Trincas Longitudinais	0,30	0,60	0,90
	5.Trincas por Reflexão	0,30	0,60	0,90
	6.Trincas Transversais	0,30	0,60	0,90
	7.Remendos	0,30	0,60	0,90
	8.Panelas	0,30	0,60	0,90
	9.Afundamento nas Trilhas de Roda	0,30	0,60	0,90
	10.Corrugação	0,30	0,60	0,90
	11.Exsudação	0,30	0,60	0,90
	12.Agregados Polidos	0,30	0,60	0,90
	13.Desagregação	0,30	0,60	0,90
	14.Desnível Pista/Acostamento	-	-	-
	15.Bombeamento	0,30	0,60	0,90

Fonte: Bolina *et.al* [s.d.]

2.8 ENSAIO DE MANCHA DE AREIA

O ensaio de mancha de areia é um método utilizado para a determinação da macrotextura superficial de pavimentos. A macrotextura está relacionada às condições de segurança viária, uma vez que influencia o escoamento superficial da água e a aderência pneu–pavimento, sobretudo em condições de pista molhada (MEDINA, 2015; ASTM, 2015). O procedimento do ensaio, bem como os critérios de execução e cálculo da profundidade média da textura superficial, são estabelecidos pela **ABNT NBR 16504:2016**.

O ensaio de mancha de areia conforme a NBR 16504/2016 tem por objetivo:

O ensaio consiste em espalhar um volume conhecido do material granular padrão sobre a superfície do pavimento asfáltico por meio de movimentos circulares uniformes do disco espalhador. A área circular coberta pelo material granular é calculada pelo diâmetro médio obtido em quatro medições igualmente espaçadas no entorno de sua circunferência. A profundidade média da macrotextura da superfície do pavimento asfáltico é calculada pela relação entre o volume do material granular padrão espalhado e a área do círculo coberta pelo material. (ABNT, 2016, p.1)

O procedimento descrito na norma determina que a areia empregada deve ter a granulometria controlada e estar totalmente seca, a fim de assegurar a confiabilidade dos resultados. O ensaio é visto como simples, econômico e de fácil aplicação em campo, sendo muito utilizado em avaliações funcionais de pavimentos asfálticos. (ABNT, 2016)

A profundidade média da macrotextura (H), medida em milímetros, é calculada com base na relação entre o volume de areia utilizado e a área da mancha resultante na superfície do pavimento. Os valores obtidos possibilitam a classificação da macrotextura do revestimento asfáltico, indicando se a superfície possui textura fina, média ou grossa, de acordo com os critérios definidos pela norma. (ASTM, 2015)

O ensaio de mancha de areia é essencial para estudos que avaliam o desempenho funcional do pavimento, pois ajuda a identificar superfícies que são excessivamente lisas ou polidas, o que pode comprometer a segurança dos usuários da via. Ademais, os resultados do ensaio oferecem suporte técnico para a determinação de intervenções corretivas, como tratamentos superficiais ou restauração do revestimento asfáltico. (MEDINA, 2015).

2.9 SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL URBANO

Drenagem pluvial nada mais é que, drenagem da água advinda das precipitações, e vale a ressalva de que drenagem urbana possui função primordial de eliminar a água da superfície do pavimento que atinge o solo, captando e conduzindo até locais que afetem menos a segurança e durabilidade do pavimento. Portanto, um sistema de drenagem deve ser bem dimensionado, bem executado e mantendo as devidas conservações diárias, caso contrário, acarretará uma série de enchentes, alagamentos, dentre outros. (CALDEIRA E LIMA, 2020)

Para um sistema de drenagem eficaz em condomínios, é importante fazer um dimensionamento seguindo dados hidrológicos da região, bem como, normas ABNT de execução de projeto de drenagem que integre técnicas de drenagem sustentável como infiltração e retenção local, usar materiais duráveis, sempre inspecionando a execução evitando assim, falhas recorrentes, e estabelecer um plano de manutenção com monitoramentos e participação comunitária. (ARCOVAN, [s.d.])

2.9.1 Drenagem pluvial e seus componentes

Para Caldeira e Lima (2020), os problemas de alagamentos, inundações, deslizamentos e perdas de rios e lagos podem ser causados pelos impactos negativos das precipitações. É nestes cenários que se destaca a relevância de um serviço eficaz de drenagem e gestão de águas pluviais urbanas, serviço esse que, quando executado de forma eficaz a drenagem proporciona diversos

benefícios, incluindo: valorização dos imóveis localizados na região beneficiada, diminuição dos custos com a manutenção de vias públicas, rápida drenagem das águas superficiais, simplificando o tráfego após as precipitações; condições adequadas para o trânsito de veículos e pedestres em áreas urbanas durante chuvas frequentes e/ou intensas; diminuição dos efeitos da chuva no meio ambiente, como erosão e contaminação de rios e lagos locais.

A drenagem urbana é composta por vários sistemas como: sarjetas, bocas de lobo, condutos de ligação, poços de visitas etc. O sistema de drenagem pluvial é subdividido em duas partes:

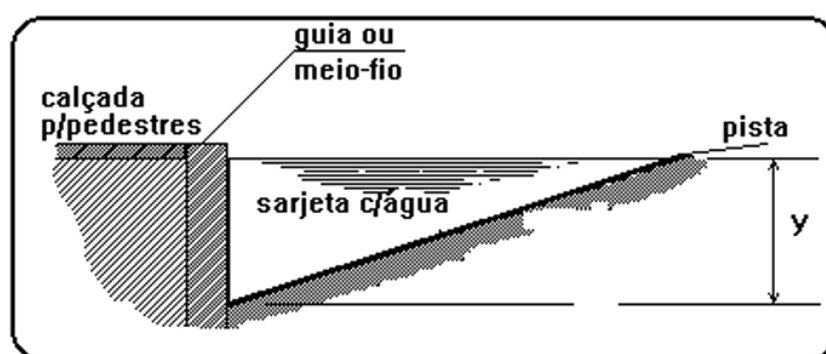
- Microdrenagem
- Macrodrenagem

Os dispositivos de microdrenagem são responsáveis pelas coletas locais de águas oriundas das chuvas (pluviais), enquanto os dispositivos de macrodrenagem são os responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais provenientes dos dispositivos de microdrenagem. (OLIVEIRA, 2001)

Em conformidade com Resplandes *et al.* (2021), a macrodrenagem é caracterizada como o curso principal que acumula grande quantidade de água, incluindo rios, riachos e canais. De uma outra perspectiva, a microdrenagem é o método local que recolhe as águas pluviais e as conduz até o sistema de macrodrenagem, sistema que incluem sarjetas, bocas de lobo, bueiros, poços de visita, galerias e rede de esgoto.

Sarjeta são pequenos canais posicionados paralelamente ao pavimento, próximo ao meio-fio, em outras palavras são escoadouros de vias urbanas que recebem águas pluviais e direcionam as bocas de lobo, como podem ser vistos na Figura 2.24. Consequentemente, **boca de lobo** é um dispositivo hidráulico responsável por coletar a água das sarjetas, como demonstrado na Figura 2.25. (SALES apud SILVEIRA, 2017)

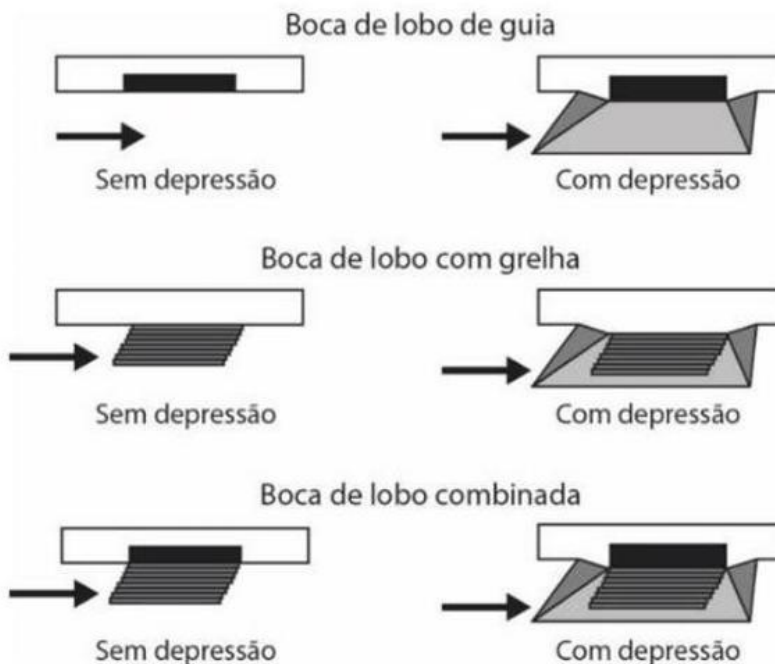
Figura 2. 24 – Sarjeta Triangular



Fonte: Oliveira (2022) apud Teixeira (2014)

Existem diversos formatos de boca de lobo, e os principais estão representados abaixo:

Figura 2. 25 – Tipos de boca de lobo



Fonte: Oliveira (2022) apud Almeida (2020)

As bocas de lobo devem ser projetadas em blocos de concreto robustos ou alvenaria revestida, em locais de captação racionais, próximos ao meio-fio, com base em estudos da vazão e capacidade hidráulica das sarjetas que irão captar a água. (OLIVEIRA, 2022)

Para Sales (2017), todos os condutos fechados que conduzem águas pluviais são conhecidos como **galerias de águas pluviais**. Têm a função de transportar a quantidade de água que escoar captada pelas bocas de lobo, para a execução do projeto das galerias, deve-se considerar todas as áreas, promovendo condições de drenagem apropriadas, como ilustrado na Figura 2.26.

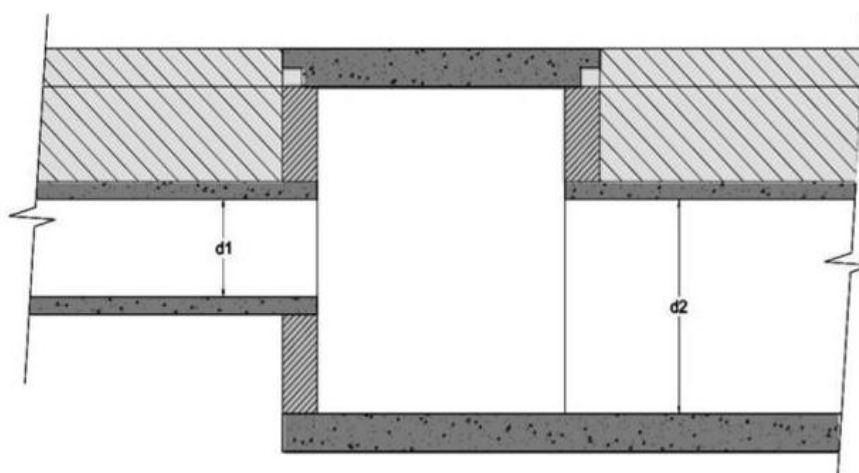
Figura 2. 26 – Galeria Pluvial



Fonte: Oliveira (2022) apud Almeida (2020)

Já os **poços de visita** têm como função permitir o acesso às canalizações para limpeza e fiscalização, promovendo um bom estado de funcionamento. Devem ser colocadas em pontos como: encontro de condutos, onde houver mudança de direção, bem como mudança de declividade, e/ou alteração de diâmetro ou seção das galerias. Sua representação está na Figura 2.27 abaixo:

Figura 2. 27 – Poços de Visitas



Fonte: Oliveira (2022)

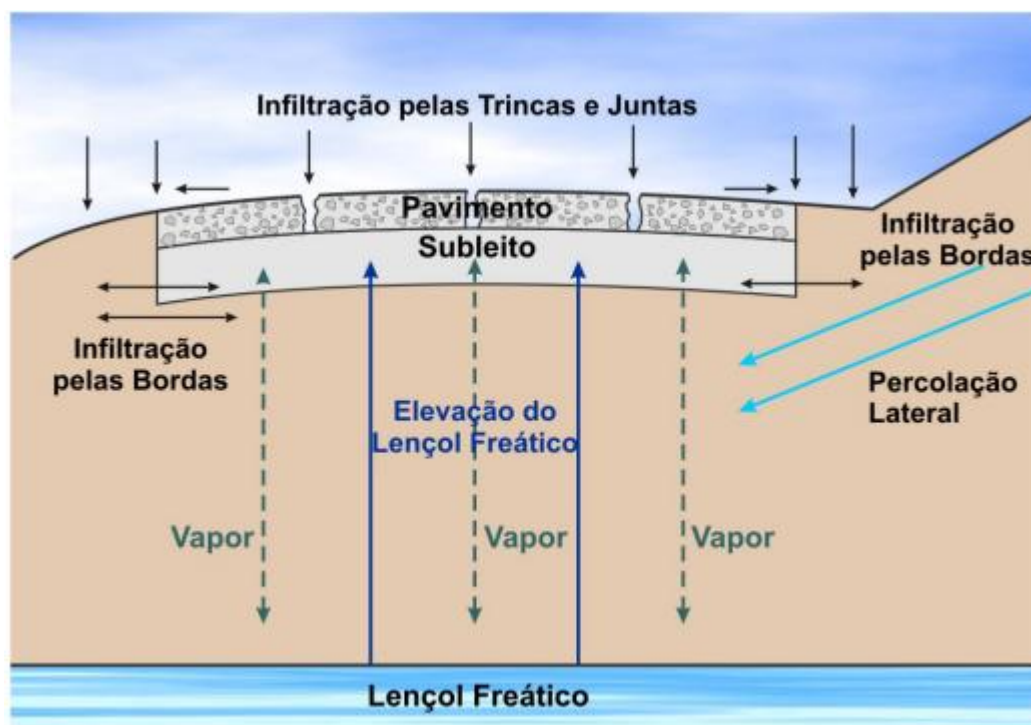
2.9.2 Efeitos da água sobre a estrutura do pavimento

A estrutura que é capaz de resistir aos esforços verticais e horizontais é denominado pavimento, o qual proporciona segurança e conforto ao usuário. Sobretudo, há diversos fatores que afetam influenciando e diminuindo a sua resistência funcional e/ou estrutural, por exemplo, a água. (CAVA, 2021)

Para Azevedo (2007), a infiltração de água pode ocorrer pelas laterais do pavimento, especialmente quando são utilizadas camadas de areia ou quando os sistemas de drenagem superficial previstos não são adequados. Também é possível que ocorra infiltração através da superfície, através das juntas e rachaduras do revestimento, ou pelos bordos, nos acostamentos. A água flui livremente na estrutura do pavimento, sendo um dos principais fatores de contenção dos pavimentos.

Diante disso, na Figura 2.28 a seguir tem-se uma sumarização de diversas fontes da água na estrutura do pavimento:

Figura 2. 28 – Origem da água nos pavimentos



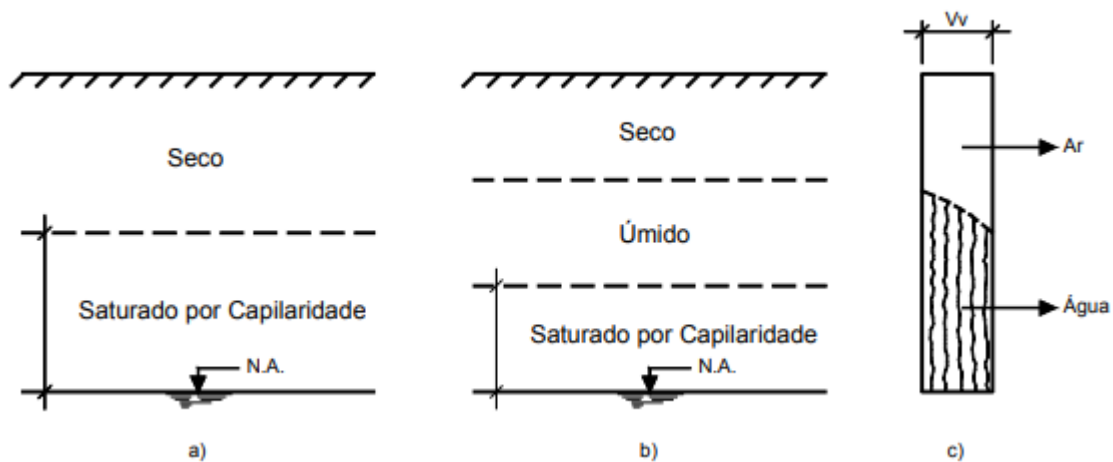
Fonte: Azevedo (2007)

A **infiltração** poderá ocorrer através de dois meios: superfície ou bordas do acostamento, e apesar das manifestações patológicas não aparecem instantaneamente, o excesso de água pode ocasionar negativamente a estrutura do pavimento. A etapa de deterioração da estrutura e a redução da vida útil do pavimento ocorrem de forma progressiva, podendo ser negligenciado por um longo período. A principal indicação da presença de água no pavimento pode ser a presença de resíduos secos, manchas próximas às trincas, além do desnível das juntas e trincas, que gera defeitos como exsudação, levando a perda de material e até afundamento e desagregação no pavimento. (AZEVEDO, 2007)

Outro fator é a **capilaridade**, e a ação da capilaridade envolve uma tensão de sucção que favorece a transferência de água entre áreas com diferentes níveis de umidade causando defeito de desagregação no pavimento. A ação da tensão superficial nos espaços vazios do solo acima da linha de saturação provoca a capilaridade. A distribuição granulométrica e a densidade do solo estabelecem a área abrangida pela ascensão capilar. (AZEVEDO, 2007)

A movimentação da água livre através da capilaridade acontece nos espaços vazios dos solos, e a movimentação da água no interior do solo também pode ser ilustrada pelos diagramas apresentados na Figura a seguir:

Figura 2. 29 – Ascensão capilar



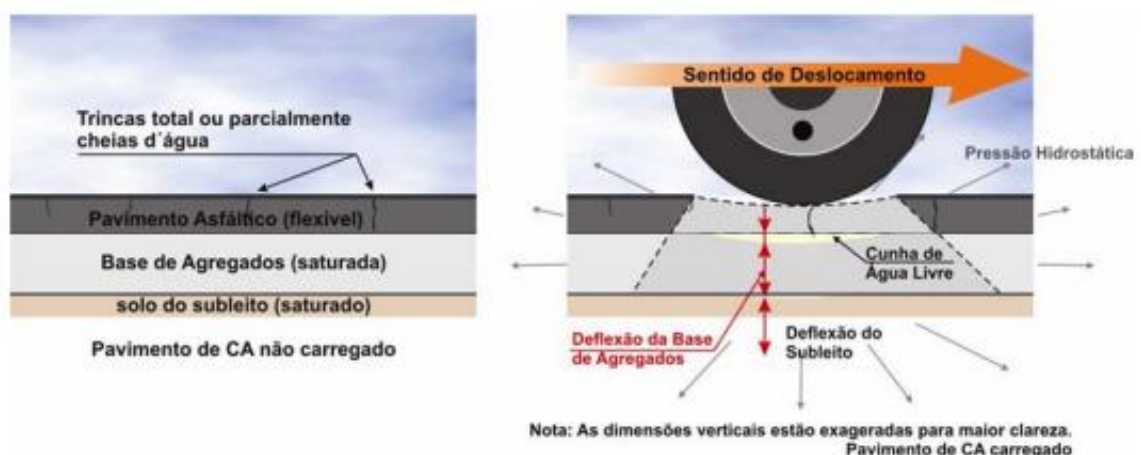
Fonte: Azevedo (2007)

A Figura 2.29 (c), indica um diagrama de variação do preenchimento dos vazios do solo com base na espessura da camada.

Com base na Figura 2.29 acima, percebe-se que os solos jamais são encontrados secos totalmente, sempre vai haver presença de água que fica retida nos vazios desse solo, no qual, é denominada umidade de equilíbrio. (AZEVEDO apud MEDINA E MOTTA, 2005)

Ademais, Azevedo (2007), outro efeito é a **água livre nos pavimentos asfálticos**, que resulta no defeito de afundamento, desagregação, exsudação e até panelas no pavimento, os danos irão surgir devido a uma elevação dos poro pressões, que desestabilizam as camadas (base, sub-base e subleito) devido a perda de suporte, com isso as poro pressões acarretam o bombeamento de finos por meio das trincas formadas na superfície do pavimento, conforme ilustrado por meio da Figura 2.30 a seguir:

Figura 2. 30 – Ação da água livre em pavimentos



Fonte: Azevedo (2007)

Por fim, a **perda de suporte**, acarretará defeitos no pavimento como trincas de bloco, panelas, rugosidade excessiva e até mesmo trincas longitudinais que ocorrerá em função de uma expansão de partículas e na redução do atrito interno do material localizado nas camadas do pavimento, causando a redução da resistência ao cisalhamento. Para Azevedo apud Vargas (1978), a expansão dos solos ocorre primeiramente através da sucção de água para dentro dos poros do solo e, posteriormente, através da absorção para o interior da estrutura cristalina dos grãos. A sucção que afasta os grãos resulta na desestruturação interna da camada do pavimento asfáltico.

A diminuição do suporte também é causada pela redução do atrito interno dos materiais. Isso pode acontecer em camadas não estabilizadas onde o aumento do teor de umidade causa um aumento na lubrificação no contato das partículas. Ao elevar esse nível de umidade no ramo seco da curva, observa-se um crescimento da densidade até atingir um valor máximo, a fim de alcançar o teor de umidade ideal. (AZEVEDO, 2007)

2.10 NORMATIVAS

As normas são utilizadas para manter um padrão de qualidade, garantem uniformidade, segurança, eficiência no trabalho e/ou pesquisas. Segue as principais normas que serão utilizadas neste trabalho:

1. **Norma TER 005/2003**, Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes (DNIT): **Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos**
2. **Norma PRO 006/2003**, Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes (DNIT): **Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos**
3. **Norma PRO 007/2003**, Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes (DNIT): **Levantamento pra Avaliação da Condição de Superfície de Subtrecho Homogêneo de Rodovias de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos para Gerencia de pavimentos e Estudos e Projetos**
4. **Norma PRO 009/2003**, Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes (DNIT): **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos**
5. **Norma ES 141/2022**, Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes (DNIT): **Pavimentação – Base estabilizada Granulometricamente**
6. **Norma ES 147/2012**, Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes (DNIT): **Pavimentação – Tratamento Superficial Duplo**

7. Norma 085/2006 – ME, Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes (DNIT): **Determinação da textura superficial – Ensaio de mancha de areia**
8. **NBR 7182/2016**, Associação Brasileira de Normas Técnicas(ABNT): **Solos – Ensaio de Compactação dos Solos**
9. **NBR 7185/2016**, Associação Brasileira de Normas Técnicas(ABNT): **Solos – Determinação da Massa Específica Natural**

3 METODOLOGIA

Inicialmente, realizou-se uma inspeção visual nas vias do condomínio Residencial Marina de Caldas, cidade de Caldas Novas, com foco no pavimento flexível e no sistema de drenagem a fim de selecionar as vias para o estudo de caso, **procedeu-se à demarcação das estações para o levantamento do Índice de Gravidade Global (IGG)**, proposto pela norma, DNIT PRO ES 006/2003, bem como do Método SHRP, paralelamente à realização do ensaio de campo mancha de areia, e uma avaliação geral da eficiência do sistema de drenagem, seu estágio de deterioração e funcionalidade.

Para realização da avaliação do desempenho superficial do pavimento flexível, foi feita uma análise utilizando o **Índice de Gravidade Geral (IGG)** do pavimento, metodologia referenciada pela norma do **Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes DNIT PRO ES 06/2003**, aplicada a pavimentos flexíveis e semirrígidos com a finalidade de conferir ao pavimento inventariado um conceito que retrate o grau de degradação atingido que varia de ótimo com $IGG < 20$ a péssimo com $IGG > 160$, conforme Tabela 2.2. Na área de interesse, houve uma seleção criteriosa das vias que apresentaram maior diversificação, bem como quantitativos mais elevados de manifestações patológicas. Essa seleção consistiu-se, inicialmente, em percorrer com a equipe de campo, todo o trecho de forma integral (no perímetro em análise), identificando as situações mais recorrentes e críticas como por exemplo, ruas com grande deterioração, ruas que possuem riscos à segurança dos usuários, recalques significativos, drenagem interferidas, bem como observar a repetição dos defeitos, que consiste em avaliar a frequência de ocorrência por trecho gerando média e alta índice de repetição, trincas múltiplas, ou ruas com defeitos de forma contínua ao longo da pista e não apenas pontuais, caso existam, selecionando os pontos que apresentaram a pior situação dentro do que foi citado, que sucedeu na realização de levantamento minucioso, com registros em planilhas e imagens das manifestações patológicas.

Na etapa de coleta dos dados foi realizado ensaio tecnológico, com o intuito de avaliar a macroestrutura do pavimento das ruas da área de estudo, com objetivo de selecionar as vias pelo grau de severidade das manifestações patológicas verificadas. Esta investigação seguiu as recomendações da **Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv)**, através da metodologia do ensaio de mancha de areia que segue as normas **DNIT ES 031/2006, DNIT 085/2006 – ME, NBR 16504/2016**, dentre outras normas de suporte auxiliar.

Visando enriquecer a análise e estabelecer uma ponte com pesquisas já desenvolvidas no âmbito institucional, além do método IGG, foi considerado a abordagem do programa SHRP

(Strategic Highway Research Program – Manual de identificação de defeitos dos pavimentos do programa estratégico de pesquisa rodoviária), utilizada por BOLINA *et al.* [s.d.], em seu trabalho de conclusão de curso. A incorporação desse método do Índice da Condição do Pavimento (ICP) visou ampliar a análise da condição funcional do pavimento em uma das ruas selecionadas, permitindo uma comparação mais abrangente entre diferentes critérios de avaliação.

O ICP ampliou a avaliação do pavimento pois, enquanto o IGG focou na quantidade e gravidade dos defeitos visíveis, o ICP considerou fatores funcionais como regularidade e conforto entre os tipos de defeitos, integrando um nível mais funcional e estrutural e não apenas superficial, além de considerar mais tipos de defeitos em relação ao IGG, refletindo melhor o impacto no desempenho, e complementando assim, a avaliação através do IGG.

Os resultados serão apresentados no Capítulo 4 – Resultados Obtidos juntamente com as devidas análises individualizadas de todos os itens investigados, destacando os pontos mais relevantes, além de confrontar os resultados e o desempenho das estruturas do pavimento com as recomendações prescritas pelas normas técnicas do **DNIT**, com o auxílio do resultado da avaliação da superfície do pavimento, conforme o ensaio de mancha de areia recomendado pela **ABPv**.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos neste estudo ofereceram dados significativos para o diagnóstico das condições superficiais do pavimento e do sistema de drenagem pluvial do condomínio em análise, à considerar que o pavimento tem 18 anos desde sua execução e não houve intervenções, apenas pequenos reparos. Com base nas informações coletadas e nas análises conduzidas, foi possível identificar manifestações patológicas associadas tanto ao sistema de drenagem quanto à camada de base do pavimento.

As avaliações foram realizadas de maneira quantitativa, utilizando tabelas de cálculo, registros fotográficos e classificação dos defeitos identificados, e qualitativa, por meio da análise técnica dos resultados obtidos em campo. Essa metodologia possibilitou uma avaliação precisa do estado atual da superfície da via.

Durante a inspeção presencial na área de estudo (Figura 4.1), foram constatados problemas relacionados ao sistema de drenagem pluvial, como previsto, além de indícios de comprometimento da camada superficial em certos pontos do pavimento. Os ensaios realizados, bem como as análises realizadas permitiram uma avaliação sólida da condição superficial, enfatizando a necessidade de intervenções específicas.

Figura 4.1 – Área do estudo de caso



Fonte: Google Earth Pro

Com base nesses resultados, o estudo aborda, nas subseções a seguir, os principais aspectos observados, os dados coletados e recomendações para melhorar o desempenho do pavimento e da drenagem, contribuindo para o desenvolvimento da infraestrutura urbana do

condomínio.

4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento dos dados foi realizado pela equipe técnica coordenada pelo professor e orientador Giovane Batalione in loco, no dias 02 a 07 de Outubro de 2024. A priori, a equipe percorreu as principais ruas do condomínio, conforme Figura 4.2, afim de selecionar as vias para o estudo de caso, no qual, através de uma inspeção visual selecionou-se vias que apresentavam uma maior diversificação bem como quantidades mais elevadas de manifestações patológicas visíveis, além de constatar que estas ruas tinham maior extensão longitudinal.

Figura 4. 2 – Inspeção visual das vias



Fonte: Equipe técnica

Através do Índice de Gravidade Geral (IGG) do pavimento, metodologia referenciada pela norma PRO 006/2003, do Departamento Nacional de Infraestrutura em Transportes (DNIT), aplicada à pavimentos flexíveis e semi-rígidos, que envolve a identificação, quantificação e avaliação de defeitos presentes em pavimentos flexíveis e semi-rígidos, e de acordo com as nomenclaturas estabelecidas pela norma DNIT TER 005/2003, vias foram selecionadas para estudo.

O método começou com uma análise completa do trecho da via selecionada em questão, identificando as situações mais críticas (como insuficiência de drenagem aparente, maior número de defeitos, bem como a recorrência dos defeitos). Os pontos que apresentaram as piores condições citadas acima, foram selecionados para um levantamento minucioso posterior, que inclui registros em planilhas e imagens das manifestações patológicas.

Este estudo minucioso é conduzido em trechos distantes com 20 metros entre si (Figura 2.23), considerando uma área correspondente à largura da faixa da pista (de maneira alternada) e englobando uma extensão de 3 metros para cada lado (ou seja, de 17 a 23 metros). A Figura 4.3 mostra a marcação de uma área elevada.

Figura 4. 3 – Marcação de área para estudo



Fonte: Equipe técnica

Seguindo essas marcações, a equipe percorreu o trecho fazendo anotações em planilhas e registrando através de imagens os defeitos existentes no pavimento em toda a sua extensão (comprimento total da rua), e em ambas as pistas (de forma alternada), conforme norma DNIT PRO 006/2003 de execução orienta.

Em planilha foram anotados o número de estações levantadas, bem como o número total de incidência do defeito; sendo calculada a sua frequência absoluta, relativa, além do Índice de Gravidade Individual (IGI) e do Índice de Gravidade Global (IGG), sendo este último, o índice utilizado para avaliar a condição de desempenho da superfície do pavimento, ambos os cálculos estão demonstrados no tópico 4.2 posteriormente.

As Figuras 4.4 e 4.5 ilustram defeitos levantados no pavimento das ruas do condomínio.

Figura 4. 4 – Registro de defeitos



Fonte: Equipe técnica

Figura 4. 5 – Medição dos defeitos



Fonte: Equipe técnica

Também em campo, foram realizados ensaios como o de mancha de areia, no intuito de avaliar a macroestrutura do pavimento das ruas do condomínio; selecionando as vias pelo grau de gravidade de verificações de manifestações patológicas. Esta investigação seguiu recomendações da Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv), através da metodologia do ensaio de mancha de areia, conforme Figura 4.6 a seguir.

Figura 4. 6 – Ensaio de Mancha de Areia in loco



Fonte: Equipe técnica

Durante a coleta de dados em campo, a equipe avaliou a situação atual dos dispositivos do sistema de drenagem pluvial em todas as ruas do condomínio, examinando as dimensões e o estado de conservação das bocas de lobo, sarjetas, meio-fio, captadores de águas pluviais e pontos de lançamento. Além disso, verificou a ausência desses dispositivos em algumas ruas.

A coleta de dados sobre os dispositivos de drenagem tornou-se uma tarefa essencial, uma vez que foi identificada uma relação entre a ausência, ineficiência e falta de manutenção desses dispositivos e o desempenho, condições superficiais, conservação e danos da pista de rolamento das vias. As Figuras 4.7 e 4.8 representam esta fase de avaliação.

Figura 4. 7 – Dispositivo de drenagem



Fonte: Equipe técnica

Figura 4. 8 – Condição interna do Bueiro



Fonte: Equipe técnica

Durante a vistoria, constatou-se que nas vias com maior quantidade de remendos e panelas, a camada de revestimento betuminoso já havia passado por uma significativa deterioração, deixando a camada de base exposta a possíveis condições climáticas.

As ruas 08 e 09 apresentaram o maior nível de deterioração do pavimento. Caracterizavam-se por vias de maior variação de cota topográfica, sistema de drenagem comprometido e apenas um ponto de captação das águas pluviais.

4.2 CÁLCULOS E ANÁLISES DOS DADOS

Este item apresentará, de forma individualizada, os resultados e análises de todos os itens investigados, seguidos de comentários que correlacionam esses itens. Serão destacados os aspectos mais relevantes, além de uma comparação entre os resultados e o desempenho das estruturas do pavimento em relação às recomendações estabelecidas pelas normas técnicas do DNIT. Também será levada em consideração a avaliação da macroestrutura do pavimento, de acordo com os resultados do ensaio de mancha de areia recomendado pela ABPv.

No item referente ao sistema de drenagem pluvial, serão feitos comentários sobre as condições observadas no local, relacionando a eficácia do sistema com as condições atuais de conservação e desempenho do pavimento.

4.2.1 Avaliação da superfície através do Índice de Gravidade Global (IGG)

Levando em consideração a norma DNIT PRO 006/2003, foi constatado que a maioria absoluta das ruas do condomínio apresentava defeitos, algumas em grau mais acentuado e em quantitativos mais elevados, defeitos como, desgastes, remendos, panelas, trincas longitudinais e transversais, foram os defeitos mais encontrados e identificados nas ruas do condomínio. As Figuras 4.9 e 4.10, ilustram os defeitos de desgaste e remendo respectivamente.

Figura 4. 9 – Desgaste da Via



Fonte: Equipe técnica

Figura 4. 10 – Remendo da Via

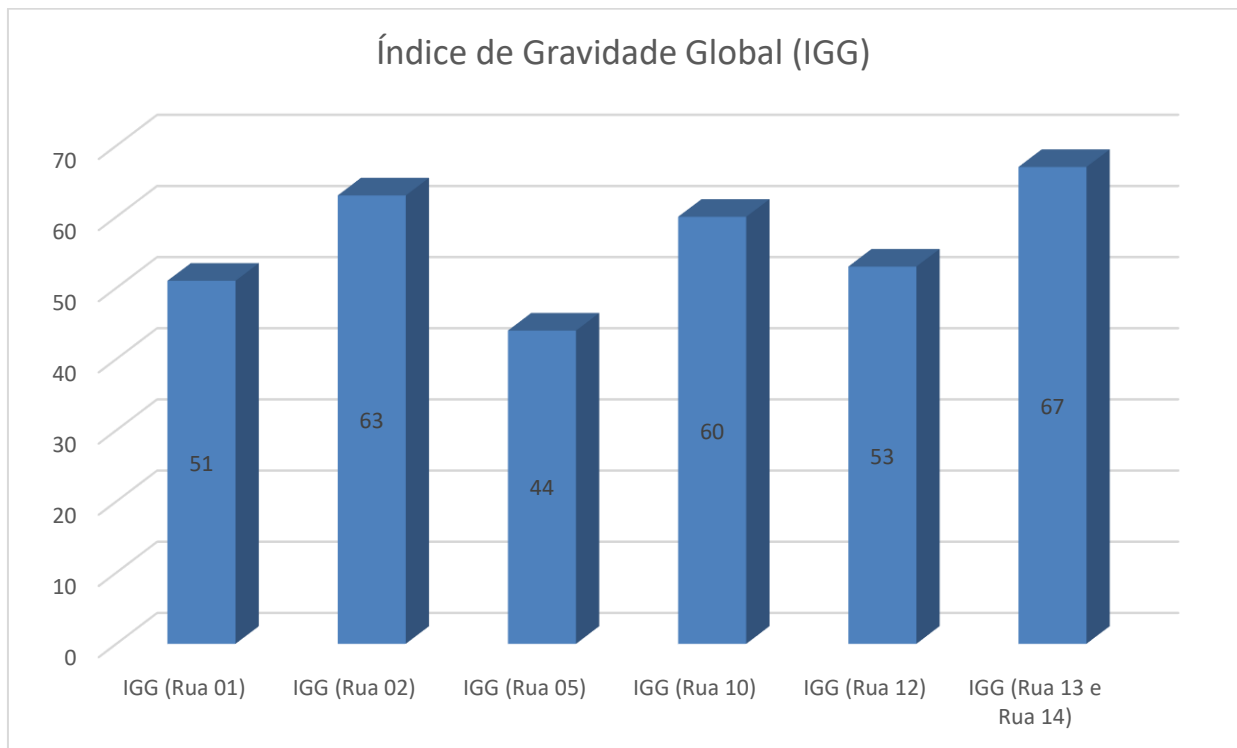


Fonte: Equipe técnica

Em relação a todos estes defeitos, destaca-se que as panelas e os remendos tem um fator de ponderação mais agravante para classificar o estado do pavimento em relação ao IGG, fatores de ponderação respectivamente iguais a 1,0 e 0,6.

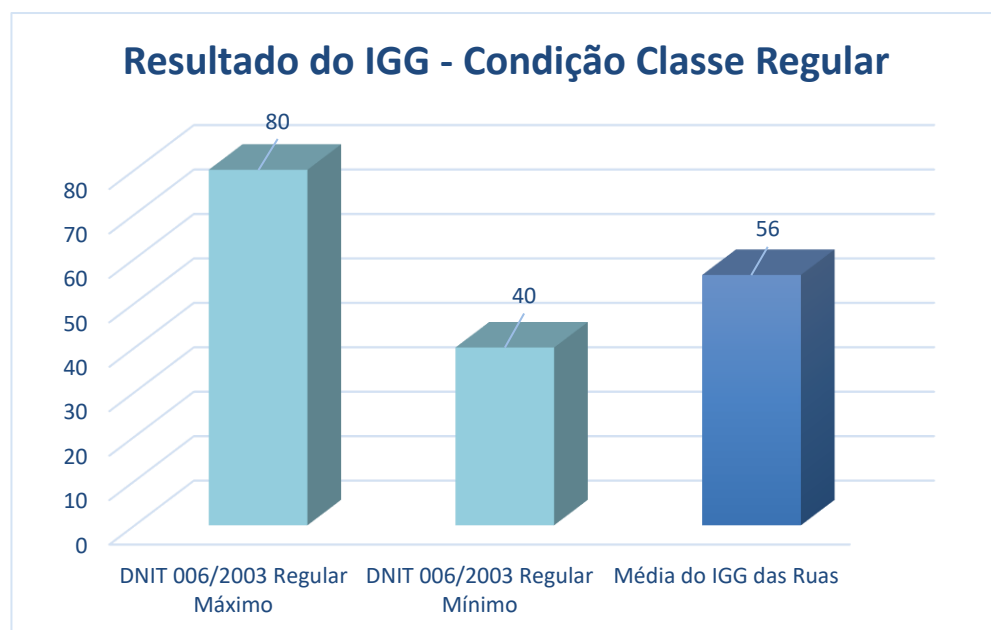
Para melhor compreensão, os resultados serão apresentados em forma de gráfico, ficando nas apêndices as planilhas de cálculos em excel, das quais foram extraídos os resultados para a produção dos gráficos.

Na Figura 4.11 a seguir, estão demonstrados os resultados obtidos para as ruas 01, 02, 05, 10, 12, 13 e 14 com IGG de classificação regular.

Figura 4. 11 – Resultado do IGG das Vias Regulares

Fonte: Excel (Autor)

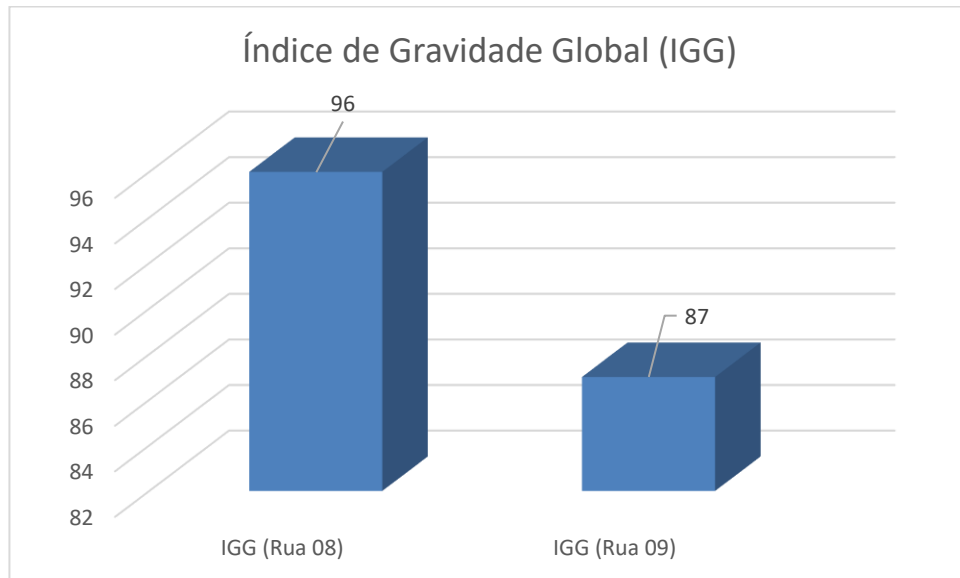
Conforme a norma DNIT PRO 006/2003, para vias regulares os valores de referência é de mínimo 40 e máximo de 80, a partir disso, na Figura 4.12 está representado a média das vias acima com relação aos valores da norma.

Figura 4. 12 – Resultado da análise do desempenho do pavimento pelo IGG

Fonte: Excel (Autor)

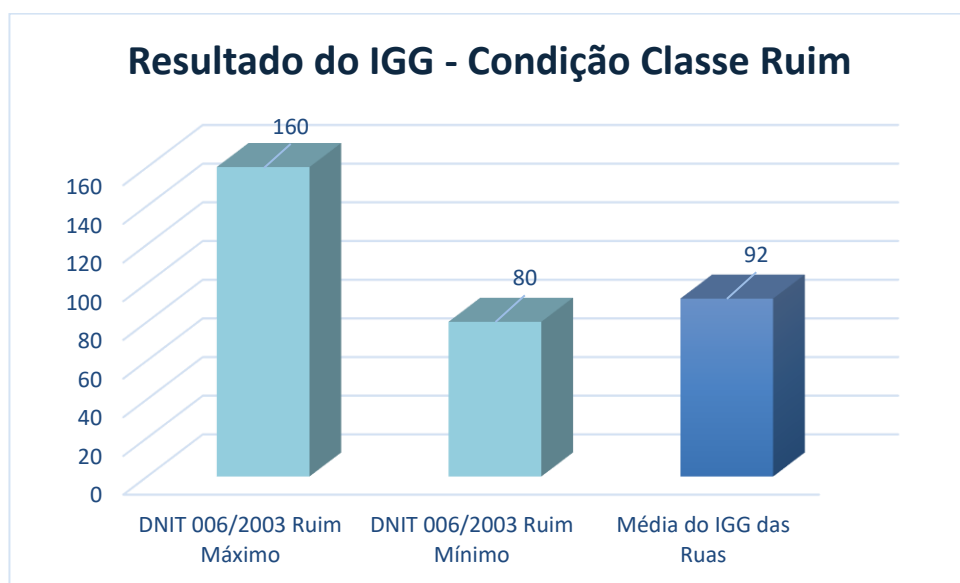
Já para as ruas 08 e 09, a Figura 4.13 estão demonstrados os resultados obtidos com IGG de classificação regular no limite, e em seguida da Figura 4.14 o resultado da média em relação aos valores da norma DNIT PRO 006/2003, que varia de mínimo 80 a máximo de 160.

Figura 4. 13 – Resultado do IGG das Vias Ruins



Fonte: Excel (Autor)

Figura 4. 14 – Resultado da análise do desempenho do pavimento pelo IGG



Fonte: Excel (Autor)

Como principal avaliação deste resultado, verifica-se que a maioria das ruas apresentaram classificação de condição regular, porém com IGG médio igual a 56; valor próximo ao limite mínimo estabelecido para as condições de superfície de um pavimento regular que é IGG igual a 40.

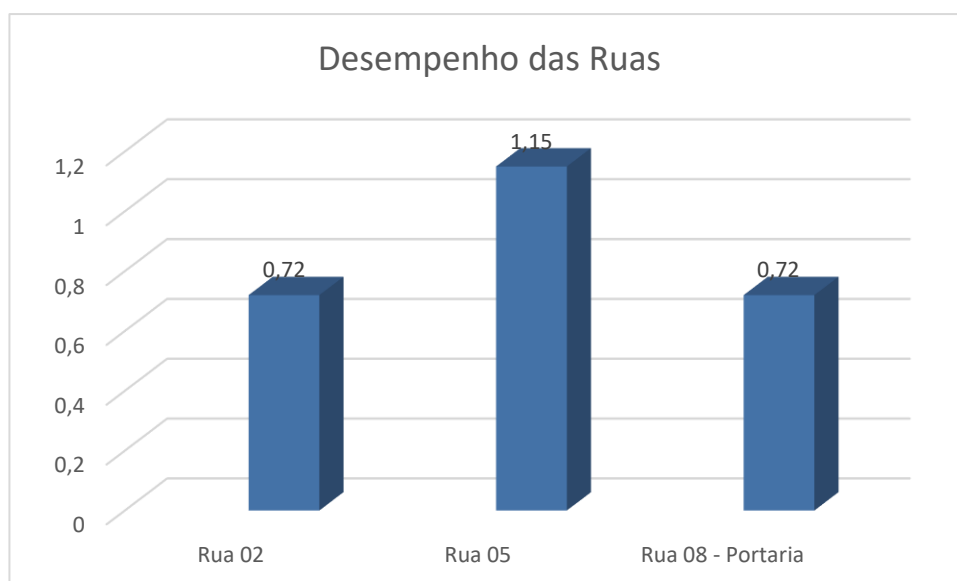
Já as ruas 08 e 09 já se enquadram na classe de condição ruim, com IGG médio de 92, ficando apenas 12 unidades acima da condição mínima aceitável, que é IGG igual a 80.

4.2.2 Avaliação da macroestrutura através do Ensaio de Mancha de Areia

Seguindo a metodologia proposta pela Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv), a equipe técnica através do ensaio de mancha de areia avaliou a macroestrutura do pavimento. A macroestrutura é um fator que contribui para o desempenho e conforto de rolamento do pavimento. Eventos de aquaplanagem, desgastes dos pneus e consumo maior de combustíveis dos veículos têm também relação com a condição e classificação da macroestrutura.

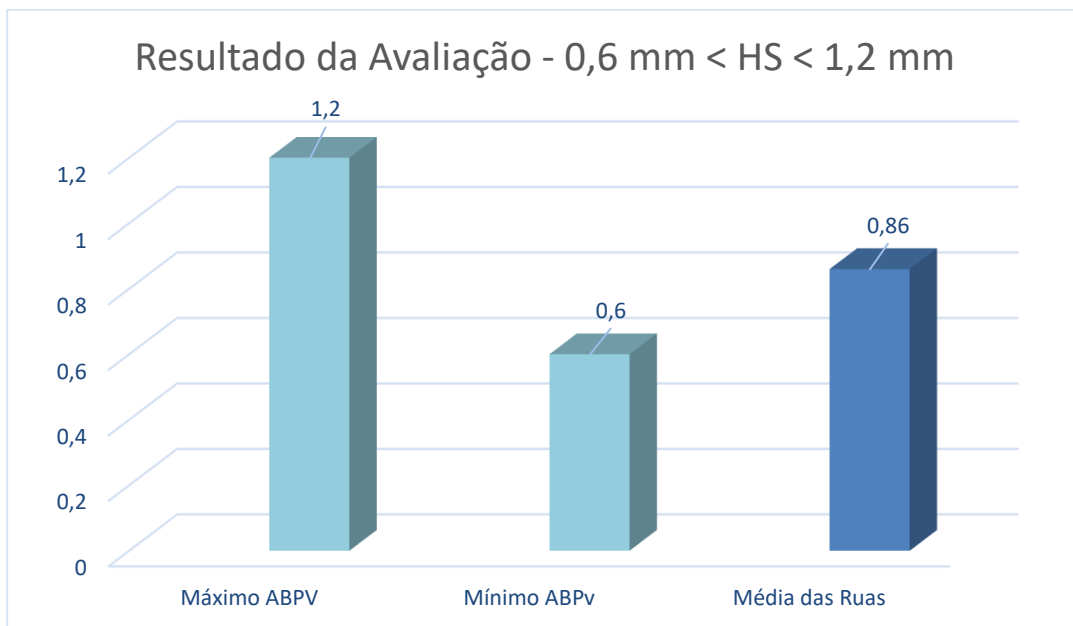
Será apresentado em forma de gráfico os resultados desta análise para melhor compreensão, estando as planilhas de cálculos (onde buscou-se os dados para elaboração dos gráficos) em apêndice a este manuscrito. Conforme a Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv), para vias os valores de referência é de mínimo 0,6 mm e máximo de 1,20 mm, a partir disso, na Figura 4.15 está representado as vias com desempenho dentro do intervalo permitido, e na Figura 4.16 o resultado da média das ruas comparados aos valores de referência da ABPv.

Figura 4. 15 – Desempenho das ruas dentro do intervalo permitido



Fonte: Excel (autor)

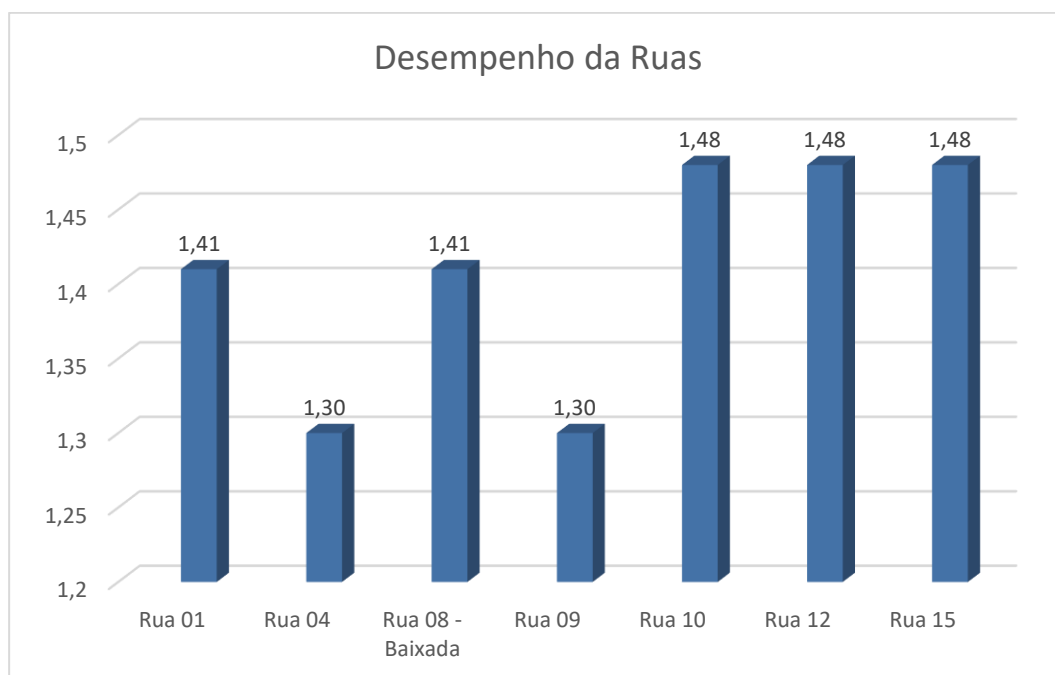
Figura 4. 16 – Resultado da avaliação da macroestrutura das ruas I



Fonte: Excel (autor)

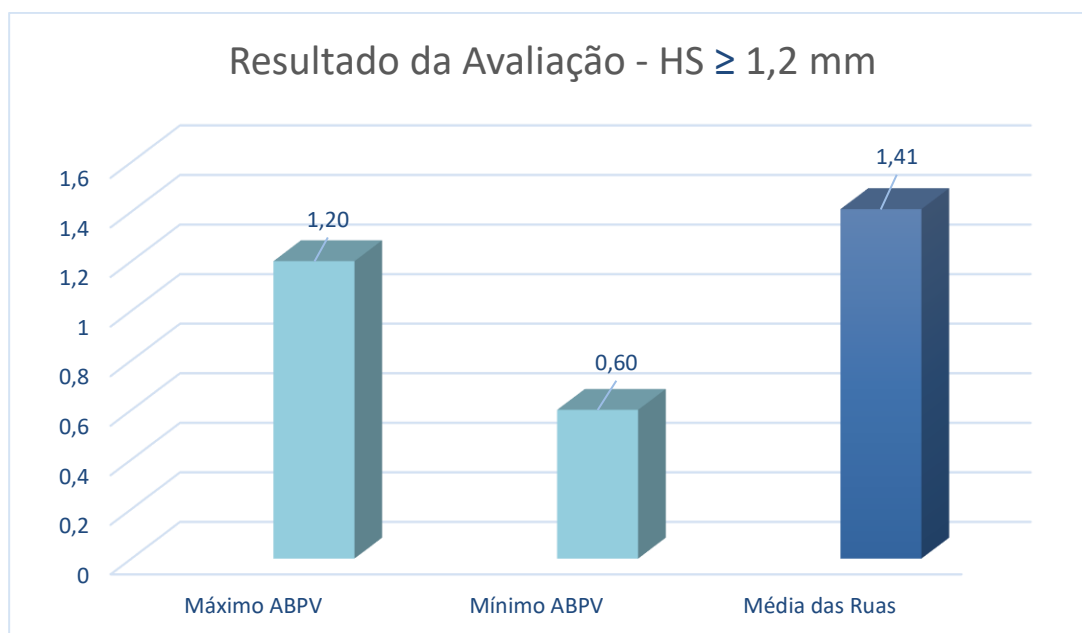
Já para as ruas cujo o desempenho calculado ficaram acima do intervalo permitido $HS > 1,20 \text{ mm}$, os resultados estão demonstrados nas Figuras 4.17 e 4.18 a seguir:

Figura 4. 17 – Desempenho das ruas acima do intervalo permitido



Fonte: Excel (autor)

Figura 4. 18 – Resultado da avaliação da macroestrutura das ruas II



Fonte: Excel (autor)

Em relação a este item, as principais análises são de que as ruas 02, 05 e 08 (perto da portaria) apresentaram valores dentro do padrão estabelecido pela ABPV (0,60 a 1,20 mm), classificação média.

Valores abaixo de 0,6 mm constitui-se em macroestruturas finas a fechadas, potencializando a condição de risco ao fenômeno aquaplanagem, quando o veículo se desloca a uma velocidade acentuada. Fato este, não preocupante aos usuários das vias do condomínio, visto que a velocidade local é limitada. Já os valores acima de 1,2 mm caracterizam textura muito aberta, causando desgaste excessivo nos pneus.

A maioria das ruas apresentaram valores na altura da mancha de areia superior a 1,20mm, fato este que, comprova o desgaste existente no pavimento, confirmado também pelo valor do IGG, e as manifestações patológicas verificadas no pavimento.

Um ponto a ressaltar nesta análise é a correlação entre os valores do IGG e o resultado da altura da mancha de areia, com as condições precárias e de falta de manutenção dos dispositivos de drenagem pluvial, bem como a sua não existência em algumas ruas do condomínio.

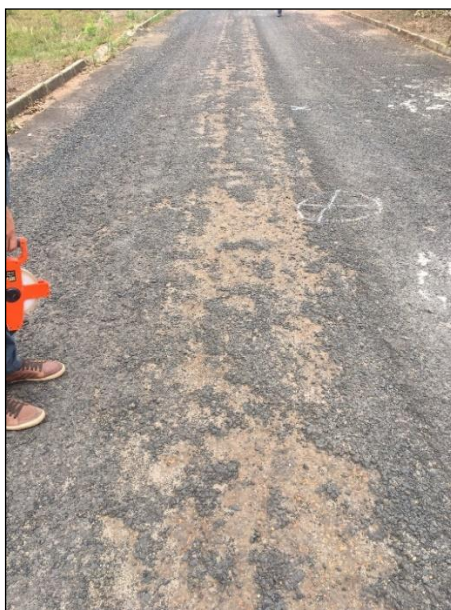
As ruas que demonstram melhor desempenho e índices mais satisfatórios de qualidade em relação as normas de desempenho do DNIT e da ABPV, possuíam instalação de bocas de lobo (embora muitas estejam visivelmente comprometidas em seu funcionamento), e também uma melhor conservação de meio-fios e de captadores de água; como exemplo as ruas 02 e 05.

Notavelmente, a maioria das manifestações patológicas verificadas no revestimento betuminoso das ruas e na camada de base, ocorreram em ruas onde o sistema de drenagem pluvial

apresentavam falhas, principalmente nas ruas localizadas em grandes desníveis topográficos (exemplo rua 08 e 09).

Na Figura 4.19 mostra o desgaste da rua, e na Figura 4.20 mostra o dispositivo de drenagem pluvial na mesma rua, no qual, comprova que, quando o dispositivo de drenagem encontra-se obstruído os desgastes são maiores.

Figura 4. 19 – Desgaste da Rua



Fonte: Equipe técnica

Figura 4. 20 – Dispositivo de drenagem



Fonte: Equipe técnica

4.2.3 Avaliação da superfície através do Índice de Condição do Pavimento (ICP)

A análise através do Índice de Condição do Pavimento (ICP), método conhecido como

Strategic Highway Research Program (SHRP) foi realizada apenas na Rua 9 do condomínio, visto que, o objetivo foi demonstrar a possibilidade de avaliar um pavimento através de outros métodos. A escolha da rua originou-se da avaliação visual no qual é a rua com mais registros dos defeitos no pavimento.

Conforme proposto pelo método SHRP, a rua foi subdividida em 12 seções de 20 metros cada, no qual os dados foram lançados em planilhas eletrônicas, a fim de, facilitar os cálculos e obter um parecer, conforme apêndice C.

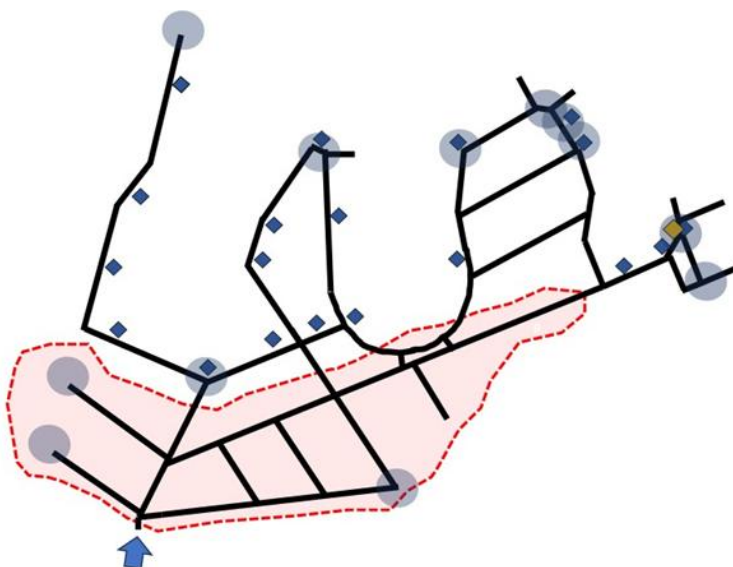
Em apêndice C, tem-se a planilha de cálculo das seções, onde verificou-se que o Índice de Condição do Pavimento (ICP) foi de 38,48, e conforme proposto pelo método SHRP (Tabela 2.1) este encontra-se no intervalo 04 o que define a categoria do pavimento como ruim, em comparação ao Método do IGG, em que a rua 9 o IGG foi de 87 (Figura 4.13), e classificação também ruim, mostra na prática como os dois métodos avaliam uma mesma rua e podem apresentar resultados similares, neste exemplo da Rua 9.

4.2.4 Avaliação do sistema de drenagem pluvial

A análise dos dispositivos de drenagem presentes no condomínio foi supervisionada com técnica do arquiteto e urbanista, integrante da equipe, que vistoriou e realizou os levantamentos de campo.

A vistoria técnica contemplou análises da estrutura construída e sua funcionalidade diante a demanda de escoamento. Alguns dos aspectos levantados nesse estudo de caso foram, boca de lobo, inclinação da pista de rolagem, logística do sistema e defeitos nos dispositivos de drenagem, conforme mapeado na Figura 4.21.

Figura 4. 21 – Mapa demonstrativo do sistema de drenagem verificado



Fonte: Equipe técnica

Os pontos em quadrado azul representam os dispositivos de drenagem denominado boca de lobo; e o quadrado amarelo, representa os dispositivos captadores de água, já a linha tracejada em vermelho, representa uma região onde não foi encontrado dispositivos de drenagem ou quantitativo extremamente reduzido, a região circular de cor azul, representa área e pontos potenciais de alagamento, por fim, as linhas pretas são as representações gráficas das ruas do condomínio.

Na Figura 4.22 abaixo, está a representação dos elementos que foram demonstrados no mapa anterior.

Figura 4. 22 – Dispositivos de drenagem levantados durante vistoria



Fonte: Equipe técnica

Foi verificado que a insuficiência, o subdimensionamento, e a manutenção precária dos sistemas de drenagem pluvial favoreceram o desgaste do pavimento, levando-o a uma condição precária. Sem a devida captação de volume de água da chuva, a mesma acumula-se na superfície do pavimento, e a medida que começa a escoar e ganha velocidade de escoamento devido a inclinação da via, resulta em um desgaste do pavimento.

A medida que as construções dos lotes vazios do residencial avançam, devido a inexistência de dispositivos de captação em pontos relevantes, ou até mesmo, devido as dimensões insuficientes, ações físicas que desgastam a estrutura do pavimento provocando desagregação e carregamento de partículas de agregados e solos vão se intensificando no condomínio. E pela falta de dispositivos de captação, a água procura um local para escoar e/ou infiltrar, não encontrando, acumula-se nos pontos mais baixos das ruas (sinalizados com círculos azul claro no mapa da Figura 4.21).

A única região do condomínio onde verificou-se a maior ocorrência do acúmulo de água durante período de precipitação intensa com existência e funcionalidade do sistema de drenagem, foi a região nordeste do condomínio, área próxima ao lago, onde foi instalado um dispositivo de

captação de água pluvial, com dimensões compatíveis ao volume de água que precipita, conforme ilustrado na Figura 4.22.

O fator relacionado à topografia, que interfere diretamente no mecanismo de escoamento e infiltração das águas pluviais, colaboram para que não tenham ocorrido até o presente momento, inundações em áreas do condomínio. Por outro lado, esse desnível topográfico colabora para o aumento de escoamento da água no pavimento, agravando então, o desgaste do revestimento asfáltico.

Devido à falta de dispositivos de drenagem no condomínio, o volume de água que escoam nas vias aumenta, causando manifestações patológicas conforme descrito anteriormente no item 2.6, potencializando a formação de defeitos patológicos mais graves, fato este, comprovado in loco pela equipe de campo, e que justificou a implementação de serviços de reparos pontuais (remendos).

As dimensões das bocas de lobo foram mensuradas, e ambas seguem o tamanho 80x80x150 cm. A dimensão de 80 cm de abertura desses dispositivos demonstram subdimensionamento, e uma solução possível, seria ampliar a dimensão de forma mais longitudinal, a fim de otimizar captação que passaria a ser linear e não pontual.

O entulho, resíduos sólidos e os sedimentos que são carregados para o interior dos bueiros interligados às bocas de lobo, foi outro problema detectado, gerando comprometimento de todos os dispositivos de captação, pois, dificulta o escoamento da água, e gera entupimento destes dispositivos, conforme ilustrado na Figura 4.23 a seguir.

Figura 4. 23 – Interior de bueiro do residencial



Fonte: Equipe técnica

Na tentativa de direcionar o fluxo da água para dentro da boca de lobo, foi construído de forma irregular uma barreira improvisada, implantada provavelmente por algum morador, e, devido a essa estrutura, o dispositivo está ineficiente para a captação da água pluvial, conforme Figura 4.24 a seguir.

Figura 4. 24 – Dispositivo de drenagem Boca de Lobo



Fonte: Equipe técnica

Outro fator relevante para o sistema de drenagem são as sarjetas, que por sua vez, são estruturas de concreto paralelas ao meio-fio com a função de conduzir águas pluviais pelo acostamento da via, porém, não foi encontrado este dispositivo em nenhuma via do condomínio. As vias foram executadas apenas com meio-fio conectado direto a capa asfáltica, fato este que, não constitui um problema, desde que haja a captação de forma adequada e não haja escoamento excessivo sobre o pavimento.

Já o meio-fio, houve variação quanto a qualidade em pontos específicos, não apresentando homogeneidade na sua integridade física, sendo constatado que em alguns pontos, o meio-fio segue estragado, e em alguns pontos, não haviam mais a peça, conforme Figura 4.25. Nesses trechos de maior deterioração do meio-fio, há um acúmulo de processos erosivos nos lotes, uma vez que, por falta de escoamento, a água infiltra no lote carregando sedimentos, causando assim, a erosão.

Figura 4. 25 – Meio-fio deteriorado



Fonte: Equipe técnica

Vale ressaltar a importância da eficiência e manutenção do sistema de drenagem no desempenho e durabilidade da estrutura do pavimento, pois, a atual situação de degradação do pavimento, afeta pontos da camada de base, bem como, acelera o aparecimento de manifestações patológicas na superfície do pavimento. Por fim, o sistema de drenagem atual no condomínio, constitui um fator potencial para os defeitos verificados na superfície do pavimento, e o sistema de drenagem deve ser revisto, com implementação de ações de desobstrução, limpeza e implementação e/ou ampliação de coletores já existentes.

5 CONCLUSÃO

O estudo de caso realizado no Condomínio Residencial Marina de Caldas teve como objetivo principal conduzir uma análise minuciosa da superfície do pavimento flexível e do sistema de drenagem pluvial do Condomínio Residencial Marina de Caldas, identificando as manifestações patológicas presentes e avaliando seus efeitos no desempenho estrutural e funcional das vias internas, com base nas normativas atuais do DNIT e na literatura técnica especializada.

Com base nos levantamentos realizados em campo, na aplicação do método do Índice de Gravidade Global (IGG), no método do Índice de Condição do Pavimento (ICP), no ensaio de Mancha de Areia e na avaliação do sistema de drenagem pluvial, foi possível diagnosticar a condição atual do pavimento de maneira técnica e normativa. Isso permitiu alcançar o objetivo proposto e fornecer subsídios concretos para decisões de manutenção e intervenção.

O que se refere ao primeiro objetivo, que envolveu a realização de uma revisão da literatura sobre pavimentos flexíveis, manifestações patológicas, índices de desempenho e importância da drenagem, foi completamente atingido. A fundamentação teórica possibilitou a compreensão dos processos de deterioração do pavimento, o papel da água na estrutura e os critérios normativos de avaliação, constituindo uma base fundamental para a interpretação correta dos resultados alcançados no estudo de caso.

Quanto ao segundo objetivo, que se refere ao registro e à organização de informações técnicas provenientes de normas e bibliografias especializadas, também foi alcançado com sucesso. O estudo organizou conceitos, critérios e metodologias de avaliação, transformando-se em um recurso de consulta estruturado que pode ajudar estudantes e profissionais da engenharia civil a entender os métodos IGG, ICP, ensaio de macrotextura e análise de drenagem urbana.

Relacionado ao terceiro objetivo, que sugeriu confrontar teoria e prática por meio de estudo de caso experimental, este foi de fato atingido. A implementação dos métodos de avaliação em campo possibilitou constatar que uma parte das vias apresenta condições classificadas como regulares a ruins, com evidências de desgaste superficial, remendos, deterioração de dispositivos de drenagem e pontos de deficiência na macroestrutura. Constatou-se que, apesar de o pavimento ainda cumprir sua função de rolamento, existem sinais evidentes da necessidade de ações preventivas para impedir que as patologias avancem para estágios estruturais mais graves.

Os principais resultados obtidos destacam que:

- A superfície do pavimento se encontra, em sua maior parte, em estado regular, mas há segmentos que foram avaliados como ruins, evidenciando um desgaste considerável,

fissuras, reparos e o surgimento de buracos;

- O pavimento asfáltico está passando por um estágio considerável de deterioração, necessitando de intervenções de manutenção tanto corretivas quanto preventivas;
- O sistema de drenagem pluvial mostrou-se insuficiente, subdimensionado e sem manutenção, sendo identificado como fator determinante para a deterioração precoce da estrutura do pavimento.

Assim, pode-se afirmar que a revitalização das vias internas do condomínio precisa levar em conta a combinação de ações de pavimentação, manutenção e drenagem, visando à preservação da integridade estrutural e à diminuição dos custos de manutenção ao longo do tempo.

Por fim, o quarto objetivo específico foi alcançado. Este objetivo tinha como foco a contribuição acadêmica por meio do desenvolvimento de um estudo aplicado em um condomínio residencial urbano. Constatou-se que há uma quantidade limitada de estudos acadêmicos focados na avaliação de pavimentos flexíveis em áreas residenciais, como condomínios, sendo a maioria concentrada em rodovias e vias urbanas de tráfego intenso. Nesse sentido, este trabalho contribui para reduzir essa lacuna e abre espaço para pesquisas futuras que explorem não apenas metodologias alternativas de avaliação da superfície, além do Índice de Gravidade Global (IGG), mas também análises mais aprofundadas das camadas de base e sub-base, possibilitando uma compreensão mais ampla e consistente do desempenho estrutural dos pavimentos em contextos residenciais.

Na perspectiva prática, este estudo tem um impacto direto no Condomínio Residencial Marina de Caldas, ao fornecer um diagnóstico técnico sólido que pode direcionar o planejamento da manutenção preventiva, a identificação de áreas críticas e a adequação dos sistemas de drenagem pluvial. A implementação das recomendações aqui descritas pode ajudar a aumentar a durabilidade do pavimento, diminuir gastos futuros com intervenções corretivas mais complexas e melhorar o conforto e a segurança dos usuários.

Para a comunidade acadêmica, o estudo oferece uma contribuição ao combinar revisão teórica, aplicação normativa e pesquisa experimental, reforçando a relevância da avaliação sistemática como instrumento de gestão da infraestrutura urbana. Ademais, funciona como um referencial metodológico para estudos futuros que envolvam a avaliação de pavimentos em contextos urbanos particulares.

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se como ações práticas:

- Implantação de um plano de manutenção preventiva periódica das vias;
- Recuperação pontual das áreas com desgaste acentuado e remendos deteriorados;

- Readequação e manutenção dos dispositivos de drenagem pluvial, incluindo limpeza e reparos estruturais;
- Monitoramento periódico da macrotextura e das condições superficiais, evitando progressão para falhas estruturais;
- Elaboração futura de estudo estrutural complementar, caso o condomínio identifique aumento significativo do tráfego ou surgimento de trincamentos por fadiga.

Conclui-se, portanto, que a avaliação técnica sistematizada do pavimento e da drenagem pluvial foi essencial para diagnosticar as condições atuais da infraestrutura. Isso demonstra que intervenções planejadas e preventivas são mais eficazes e economicamente viáveis do que ações corretivas tardias. O estudo destaca o papel crucial da engenharia civil na gestão sustentável e técnica das vias urbanas, inclusive em projetos privados, ressaltando que o planejamento, o monitoramento e a manutenção são fundamentais para a longevidade das estruturas de pavimentação.

REFERÊNCIAS

ABCP; PORTAL USP. **Composição dos pavimentos**. Disponível em: <https://www.abcd.usp.br/>. Acesso em: 10 fev. 2025.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16504: Misturas asfálticas — Determinação da profundidade média da macrotextura superficial de pavimentos asfálticos por volumetria — Método da mancha de areia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ALÉM DA INÉRCIA. **Defeitos em pavimentos flexíveis**, 2018. Disponível em: <https://AlémdaInércia.com/2018/05/16/os-15-defeitos-em-pavimentos-flexiveis/>. Acesso em: 04 mar. 2025.

ARCOVAN. **5 erros comuns em projetos de drenagem e como evitá-los**. Disponível em: <https://arcovan.com.br/5-erros-comuns-em-projetos-de-drenagem-e-como-evita-los/>. Acesso em: 16 jul. 2025.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM E965 – Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique**. West Conshohocken, 2015.

AZEVEDO, A. M. **Considerações sobre a drenagem subsuperficial na vida útil dos pavimentos rodoviários**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-14012008-115049/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração**. 5. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2008.

BEZERRA, A. M.; QUEIROZ NETO, M. L.; FLORÊNCIO, F. D. C.; OLIVEIRA, A. S.; SOUZA JUNIOR, P. L. **Drenagem urbana de água pluviais: cenário atual do sistema da cidade de Assú/RN**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7., 2016, Campina Grande. Anais [...]. Campina Grande, 2016. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/IX-040.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2025.

BOLINA, C. C. *et al.* **Métodos de avaliação visual dos defeitos superficiais de pavimentos asfálticos em vias urbanas: estudo comparativo entre SHRP e ISU**. Goiânia: IUESO, [s.d.]. Trabalho de Conclusão de Curso.

CALDEIRA, L. A. C.; LIMA, D. P. **Drenagem urbana: uma revisão de literatura**. *Engineering Sciences*, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2020.002.0001>. Acesso em: 19 fev. 2025.

CARDOSO, R. A. **Dimensionamento dos pavimentos rodoviários – Notas de aula**. 2020. Disponível em: <https://moodle.ifg.edu.br/mod/folder/view.php?id=1280092>. Acesso em: 28 fev. 2025.

CAVA, R. Além da inércia. **Entenda como a água pode danificar os pavimentos**, 2021. Disponível em: https://AlémdaInércia.com/2021/01/11/entenda-como-a-agua-pode-danificar-os-pavimentos/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 19 fev. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Por que os pavimentos do Brasil não duram?**. Brasília, 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-divulga-estudo-por-que-pavimento-rodovias-brasil-nao-duram-resultados>. Acesso em: 16 fev. 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DNIT 006/2003 PRO. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNIT_006_2003_PRO. Acesso em: 16 fev. 2025.

DOMINGUES, F. A. A. **Apostila MID: manual de identificação de defeitos de revestimentos asfálticos de pavimentos**. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1993.

FALCÃO, J. L. G. **Drenagem urbana: estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Instituto Federal de Goiás, Goiânia, 2021. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/864/1/tcc_jhuly%20Lorraine%20Gon%C3%A7alves%20Falc%C3%A3o.pdf. Acesso em: 01 mar. 2025.

FONTES, L. **Optimização do desempenho de misturas betuminosas com betume modificado com borracha para reabilitação de pavimentos**. Universidade do Minho, Lisboa, 2010.

FRAGOSO, G. A.; SILVA, F. P.; SILVA, J. C. C.; ALVES, A. F.; CARVALHO, B. G. P. **Planejamento, ordenamento e gestão integrada: diagnóstico do sistema de drenagem urbana da cidade de Belém, Pará**. In: ENEEAMB, 4.; FÓRUM LATINO, 2.; SBEA – CENTRO-OESTE, 1., 2016, Brasília. Anais [...]. Brasília, 2016. DOI: <http://doi.org/10.5151/engpro-eneeamb2016-pogi-003-5067>. Acesso em: 13 fev. 2025.

GONÇALVES, F. P. **O desempenho dos pavimentos flexíveis**, 1999. Disponível em: https://www.academia.edu/42726855/Sem_ano_prof_fernando_Puglierio_Gon%C3%A7alves_a_postila_o_desempenho_dos_pavimentos_flexiveis. Acesso em: 13 fev. 2025.

INOVA CIVIL. **Defeitos em pavimentos**. Disponível em: <https://inovacivil.com.br/primeiro-passo-pavimentacoes/>. Acesso em: 04 mar. 2025.

INSPIRED PENCIL. *Ancient Roman road layers*. **Estradas de pedra**. Disponível em: <https://ar.inspiredpencil.com/pictures-2023/ancient-roman-road-layers>. Acesso em: 07 mar. 2025.

MARTINS, L. L. **Avaliação superficial de pavimentos, usando o método IGG (Índice de Gravidade Global): um estudo de caso em um trecho na Av. Anhanguera, em Goiânia, Goiás**. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Goiás, Goiânia, 2019. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/380/1/Tcc_Lauro%20Lucio%20Martins.pdf. Acesso em: 28 fev. 2025.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos pavimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.

MOURA, E. **Apostila de projeto de pavimento. Faculdade de Tecnologia de São Paulo**, 2017. Disponível em: https://www.professoredmoura.com.br/download/Apost_Dimens_Pav_2_2017.pdf. Acesso em: 28 fev. 2025.

OLIVEIRA, A. C. A. **Drenagem pluvial e pavimentação em paralelepípedos em diversas ruas da cidade de Campina Grande**. Biblioteca Setorial do CDSA, Sumé-PB, ago. 2021. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/22866/ANA+CLEIDE+ARRAIS+DE+OLIVEIRA+-+RELAT%C3%93RIO+DE+EST%C3%81GIO+ENG.+CIVIL+2001.pdf?sequence=1>. Acesso em: 19 fev. 2025.

OLIVEIRA, H. M. **Drenagem urbana: estudo de caso Residencial Itamaracá**. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Goiás, Goiânia, 2022. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix14831/tcc_Herique%20Medeiros%20de%20Oliveira.pdf. Acesso em: 04 mar. 2025.

PEREIRA, M. P. C. **Análise comparativa entre pavimento rígido e pavimento flexível**, 2019. Disponível em: https://www.atenas.edu.br/uniatenas/assets/files/spic/monography/ANALISE_COMPARATIVA_ENTRE_PAVIMENTO_RIGIDO_E_PAVIMENTO_FLEXIVEL.pdf. Acesso em: 13 fev. 2025.

RESPLANDES, I. S.; TOLEDO, F. R. S.; RESPLANDES, H. D. A.; SANTOS, W. S.; BORGES, K.; CARVALHO, C. M. **Ausência de sistemas de drenagem urbana nos pavimentos de Santana do Araguaia-PA e seus impactos**. *The Journal of Engineering and Exact Sciences – JCEC*, v. 7, n. 1, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/12111/6517>. Acesso em: 19 fev. 2025.

SALES, A. R. **Avaliação da eficiência do sistema de drenagem urbana: estudo de caso Sousa-PB. Pombal-PB**, 2017. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/18103/ADRIELLY%20RODRIGUES%20DE%20SALES%20-%20TCC%20-%20BACHARELADO%20EM%20ENGENHARIA%20AMBIENTAL%202017.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 19 fev. 2025.

SILVA, P. O. A.; OLIVEIRA, R. F. **Patologia em pavimentos flexíveis**, 2021. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/2456>. Acesso em: 16 fev. 2025.

SINDETRANS. **Conheça os 13 principais defeitos do pavimento das rodovias**. Disponível em: <https://www.sindetransrp.com/noticias/conheca-os-13-principais-defeitos-do-pavimento-das/>. Acesso em: 26 jun. 2025.

SOUZA, R. S. **Terraplanagem e pavimentação – Notas de aula**. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/17735/material/Aula%206%20-%20Materiais%20-%20Asfalto.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2025.

STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM; NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **SHRP: Distress identification manual for the long-term pavement performance project**. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1993.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo, Editora Mc-Grow Hill do Brasil. 1978.

ZANCHETTA, F. **Aquisição de dados sobre a condição dos pavimentos visando a implementação de sistemas de gerência de pavimentos urbanos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

Rua 13;14									
Local	Tipo	Natureza do Defeito	Frequencia Absoluta		Frequencia Relativa(%)		Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual	
Rua 13;14	1	(FC1)- F;TTC;TTL;TCL;TLL;TRR	5		25		0,2	5	
Rua 13;14	2	(FC2) - J ; TB	0		0		0,5	0	
Rua 13;14	3	(FC3) - JE ; TBE	0		0		0,8	0	
Rua 13;14	4	ALP ; ATP	0		0		0,9	0	
Rua 13;14	5	O ; P	4		20		1,0	20	
Rua 13;14	6	EX	0		0		0,5	0	
Rua 13;14	7	D	20		100		0,3	30	
Rua 13;14	8	R	4		20		0,6	12	
Rua 13;14	9	F=(TRI+TER)/2	0		0		0	0	
Rua 13;14	10	FV=(TRIv+TREv)/2	0		0		0	0	
Número de Estações Inventariadas		20	TRI	0	TER	0	F	0	Observações:
Índice Geral Global		67	TRIv	0	TREv	0	FV	0	

Apêndice B – Ensaio de Mancha de Areia

Localização	Diâmetro 01(mm)	Diâmetro 02(mm)	Diâmetro 03(mm)	Diâmetro Médio(mm)	Altura da Macha de Areia HS (mm)	Macroestrutura do Pavimento.
Rua 01	160	140	150	150	1,41	Muito Grosseira e Muito aberta
Rua 02	200	230	200	210	0,72	Média
Rua 04	140	180	150	157	1,30	Muito Grosseira e Muito aberta
Rua 05	170	170	160	167	1,15	Grosseira e Aberta
Rua 08 Portaria	160	230	240	210	0,72	Média
Rua 08 Baixada	150	140	160	150	1,41	Muito Grosseira e Muito aberta
Rua 09	160	160	150	157	1,30	Muito Grosseira e Muito aberta
Rua 10	160	130	150	147	1,48	Muito Grosseira e Muito aberta
Rua 12	160	130	150	147	1,48	Muito Grosseira e Muito aberta
Rua 15	160	130	150	147	1,48	Muito Grosseira e Muito aberta

Classificação da Macroestrutura do Pavimento

Muito fina ou muito fechada $HS \leq 0,20$
Fina ou Fechada $0,20 < HS \leq 0,40$
Média $0,40 < HS \leq 0,80$
Grosseira ou Aberta $0,80 < HS \leq 1,20$
Muito Grosseira e Muito Aberta $HS \geq 1,20$
ABPV recomenda HS entre 0,6mm a 1,20mm

Apêndice C – Cálculo do ICP (SHRP)

Tipos de Defeitos	Subtipo de Defeito	Seção 01	Seção 02	Seção 03	Seção 04	Seção 05	Seção 06	Seção 07	Seção 08	Seção 09	Seção 10	Seção 11	Seção 12	Σ
1. Trincas	Trincas por Fadiga (m²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Trincas por Bloco (m²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Trincas de Borda (m²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Trincas Longitudinais nos trilhos de rodas (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Trincas Longitudinais fora dos trilhos de rodas (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Trincas de Reflexão nas Juntas – Transversais (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Trincas de Reflexão nas Juntas – Longitudinais (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Trincas Transversais – Sem nada (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2. Remendos	Trincas Transversais – Seladas (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		28,00	15,00	14,00	80,00	0,00	17,50	0,00	24,50	14,00	14,00	28,00	24,50	259,50
3. Painelas		0,00	0,15	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
4. Deformação da Superfície	Trilho da Roda (m) na sequência	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,00	14,00
	Deformação por Deslocamento da Superfície (m²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5. Defeitos da Superfície	Exudação (m³)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Agregado Polido (m³)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Desagregação (m³)	60,00	23,00	75,00	112,00	95,00	56,00	100,00	75,00	80,00	90,00	63,00	63,00	898,00
6. Miscelânea de Defeitos	Degrau da via para o acostamento (na sequência)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Água que brota e bombeada (m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Quantidade	Remendos	3	2	2	1	0	1	0	1	1	1	1	0	13
	Painelas	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Trincas de Reflexão nas Juntas – Transversais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Trincas Transversais – Sem nada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Trincas Transversais – Seladas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Deformação por Deslocamento da Superfície	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Água que brota e bombeada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

$\Sigma Di \times Si$	79,20	26,49	53,51	33,60	57,00	27,30	60,00	82,20	80,40	89,40	73,50	75,60	738
ICP = $100 - \Sigma Di \times Si$	20,80	73,51	46,49	66,40	43,00	72,70	40,00	17,80	19,60	10,60	26,50	24,40	462
INTERVALO:	04	02	03	02	03	02	03	05	05	05	04	04	

Análise Total do Trecho	ICP = $100 - \Sigma Di \times Si$	462
	Quantidade de Seções	12
	ICP	38,48

INTERVALO:	04
------------	-----------