



FACULDADE ARI DE SÁ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARIA ELAINE NASCIMENTO DOS SANTOS

AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE UMA VIA URBANA DE FORTALEZA-CE COM
REVESTIMENTO ASFÁLTICO DO TIPO CPA

FORTALEZA - CE

2022

MARIA ELAINE NASCIMENTO DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE UMA VIA URBANA DE FORTALEZA-CE COM
REVESTIMENTO ASFÁLTICO DO TIPO CPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil da Faculdade Ari de Sá.

Orientadora: Prof. Me. Ilania Maria Nascimento Mascarenhas.

FORTALEZA - CE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Faculdade Ari de Sá
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237a Santos, Maria Elaine Nascimento dos.

AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE UMA VIA URBANA DE FORTALEZA-CE COM
REVESTIMENTO ASFÁLTICO DO TIPO CPA / Maria Elaine Nascimento dos Santos. – 2021.
96 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade Ari de Sá, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Me. Ilania Maria Nascimento Mascarenhas.
Coorientação: Prof. Me. Leonardo Tavares de Souza.

1. Camada Porosa de Atrito. 2. Pavimento Permeável. 3. Pavimento Flexível . 4. Avaliação Funcional .
5. Índice de Gravidade Global. I. Título.

CDD 620

MARIA ELAINE NASCIMENTO DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO FUNCIONAL DE UMA VIA URBANA DE FORTALEZA-CE COM
REVESTIMENTO ASFÁLTICO DO TIPO CPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil da Faculdade Ari de Sá.

Orientadora: Prof. Me. Ilania Maria Nascimento
Mascarenhas.

Prof. Me. Ilania Maria Nascimento Mascarenhas
Orientadora
Faculdade Ari de Sá

Prof. Leonardo Tavares de Souza
Membro da Banca Examinadora
Faculdade Ari de Sá

Prof. Alisson Stefli Thill
Membro da Banca Examinadora
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

FORTALEZA - CE

2022

Dedico esta conquista aos meus pais, meu porto seguro. À minha esposa, que está presente em todas as fases da minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela minha vida e pela determinação a mim concebida para a realização de mais este objetivo.

Aos meus pais, por acreditarem em mim, por participar das minhas conquistas, e por, muitas vezes, renunciarem aos seus sonhos para tornar possíveis os meus.

Às minhas irmãs, pela confiança depositada.

À FAS, pelo acolhimento e oportunidade de formação acadêmica e profissional.

À minha orientadora, Ilania Maria Nascimento Mascarenhas, pelo apoio inestimável, dedicação e orientação prestada ao longo do desenvolvimento da pesquisa. Um exemplo de profissional.

Aos professores do curso de Engenharia Civil, por todos os ensinamentos transmitidos durante a graduação. Sem vocês, não seria possível chegar até aqui.

À Ticiania Bezerra, minha esposa, pelo carinho e companheirismo ao longo desta jornada. Agradeço por tolerar e compreender meus momentos de estresse, por fazer-me rir e por sua inestimável ajuda na realização deste trabalho.

A todos os demais amigos de graduação, com os quais foram compartilhados esses anos intensos de aprendizado, sufoco, gargalhadas, aventuras e energias positivas.

Aos membros da banda, pela disposição à participação da banca examinadora e por suas contribuições.

Agradeço a todos que acreditaram e que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

“A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.
(Albert Einstein)

RESUMO

A maioria das cidades brasileiras, de médio e de grande porte, atravessou nas décadas de 1960 e 1970 um período de extraordinário crescimento urbano, o que exigiu do Governo grandes investimentos em infraestrutura e, em especial, na expansão ou mesmo criação de um sistema viário. Entretanto, o que se observa atualmente são rodovias esburacadas, repletas de problemas de execução, sem manutenção e em estado de abandono. Este trabalho aborda a Camada Porosa de Atrito (CPA) que é um tipo de revestimento asfáltico com granulometria aberta que possui propriedades drenantes. No Brasil, esse tipo de revestimento é pouco utilizado em vias de tráfego de veículos, sendo mais empregado em aeroportos. O objetivo desse trabalho é realizar uma avaliação superficial de uma via de duas pistas com um canteiro central no município de Fortaleza-CE na qual permite conhecer a real circunstância da superfície do pavimento asfáltico por meio do Índice de Gravidade Global – IGG. Para a execução do método proposto, foi necessário conhecer a condição atual da via pavimentada e efetuar o cálculo do IGG. Este é um método de fácil aplicabilidade e eficaz para vias urbanas quando se trata de análise superficial, pois o método não contabiliza a severidade dos defeitos, exceto as trincas, e leva somente em consideração a existência dos defeitos, desconsiderando, também, sua quantidade por trecho. Os valores de IGG levantados foram 111 para o sentido A e 114 para o sentido B da via, o que caracteriza como ruim em ambos os sentidos.

Palavras-chave: Camada Porosa de Atrito. Pavimento Permeável. Pavimento Flexíveis. Avaliação Funcional. Índice de Gravidade Global.

ABSTRACT

Most medium and large Brazilian cities went through a period of extraordinary urban growth in the 1960s and 1970s, which required large investments in infrastructure by the Government and in the expansion or even the creation of a road system. However, what is currently observed are potholed roads, full of execution problems, without maintenance and in a state of neglect. This work addresses the Porous Friction Layer (PFL) which is a type of asphalt coating with open granulometry that has draining properties. In Brazil, this type of coating is seldom used in vehicle traffic routes, being more used in airports. The objective of this work is to carry out a superficial evaluation of a two-lane road with a central bed in the city of Fortaleza-CE in which it allows to know the real circumstance of the surface of the asphalt pavement through the Global Gravity Index - IGG. To implement the proposed method, it was necessary to know the current condition of the paved road and calculate the IGG. This is an easily applicable and effective method for urban roads when it comes to surface analysis, as the method does not account for the severity of defects, except for cracks, and only considers the existence of defects, also disregarding their quantity per stretch. The IGG values obtained were 111 for the A direction and 114 for the B direction of the road, which characterizes it as bad in both directions.

Keywords: Porous Friction Layer. Permeable Floor. Flexible Floor. Functional Evaluation. Global Severity Index.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Avaliação das condições das rodovias, Brasil (%)	18
Figura 2 - Aumento do custo operacional conforme o estado do pavimento das rodovias, Brasil (%)	19
Figura 3 - Trecho rodovia CE-422 em 22/05/2019 - São Gonçalo do Amarante, CE	19
Figura 4 - Trecho rodovia CE-085 em 04/06/2019 - Acaraú, CE	20
Figura 5 – Camadas do pavimento asfáltico	24
Figura 6 - Distribuição de tensões nos diferentes tipos de pavimento.....	26
Figura 7 - Constituição das bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas	27
Figura 8 - Classificação dos Revestimentos de Pavimentação	27
Figura 9 - Resposta Mecânica do Pavimento Flexível.....	28
Figura 10 - Rodovia Pavimentada com CA	29
Figura 11- Formação de Névoa em Pavimento de Concreto Asfáltico Convencional, diferentemente da CPA	31
Figura 12 - Seção Típica das Camadas de Pavimentos Permeáveis	33
Figura 13 - Princípio do Funcionamento de Concreto Asfáltico Drenante em Áreas Urbanas	34
Figura 14 - Comparação entre a Superfície de Concreto Asfáltico Convencional e a de Concreto Asfáltico Drenante	34
Figura 15 - Treliça para medição das flechas de deformações excessivas	39
Figura 16 - Fissura	46
Figura 17 - Trinca isolada transversal	47
Figura 18 - Trinca isolada longitudinal	47
Figura 19 - Trinca interligada tipo jacaré.....	47
Figura 20 - Trinca interligada tipo bloco	48
Figura 21 – Afundamento plástico	48
Figura 22 – Afundamento de consolidação.....	49
Figura 23 – Corrugação ou Ondulação	49
Figura 24 - Escorregamento.....	50
Figura 25 - Exsudação	50
Figura 26 - Desgaste	51
Figura 27 – Panela ou Buraco	51
Figura 28 - Remendo	52
Figura 29 - CPA no Aeroporto Santos Dumont, RJ	53
Figura 30 - Penetração do ar nos vazios de um pavimento com revestimento denso seguido de um pavimento com revestimento poroso	58
Figura 31 - Redução do ruído para os diferentes revestimentos (DGAC e AR-OGFC).....	58
Figura 32 - Curva de absorção sonora para diferentes tipos de revestimento (misturas drenantes com $D_{máx} = 12,5\text{mm}$)	60
Figura 33 - Média da pressão sonora medida para os diferentes revestimentos e veículos.....	60
Figura 34 - Funcionalidade da CPA	63
Figura 35 - Máquina de Limpeza com Capacidade de 550 m ² /hora e Ciclo de Tempo de 3 minutos	66
Figura 36 - Estudo realizado nas Rodovias Espanholas mostrando a Evolução da Colmatação entre Pavimentos.....	67
Figura 37 - Delineamento da pesquisa realizada	68
Figura 38- Área de estudo - Avenida Virgílio Távora.....	70
Figura 39 – Extensão da Avenida Virgílio Távora	70
Figura 40 - Exemplo de demarcação da superfície para avaliação	72
Figura 41 - Levantamento dos Defeitos, Desgastes.....	77

Figura 42 - Levantamento dos Defeitos, Fissuras.....	78
Figura 43 - Levantamento dos Defeitos, Escorregamento.....	78
Figura 44 - Levantamento dos Defeitos, Remendos.....	78
Figura 45 - Levantamento dos defeitos, Panelas	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Defeitos apresentados no Procedimento DNIT PRO 006/2003	37
Tabela 2- Codificação dos defeitos e os respectivos fatores de ponderação.....	38
Tabela 3 - Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG	40
Tabela 4 - Defeitos apresentados no procedimento DNIT PRO 007/2003	41
Tabela 5- Conceituação, descrição da condição e valores do ICPF.....	42
Tabela 6 - Pesos dos defeitos em função da frequência de ocorrência	43
Tabela 7 - Índice do estado da superfície do pavimento	44
Tabela 8 - Média da pressão sonora, em dB (A), medida para os diferentes revestimentos e veículos	60
Tabela 9 - Cálculo do IGG no sentido A	79
Tabela 10 - Cálculo do IGG no sentido B	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AAUQ – Areia Asfalto Usinada a Quente
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- CA – Concreto Asfáltico
- CBQU – Concreto Betuminoso Usinado a Quente
- CNT – Confederação Nacional de Transportes
- CPA – Camada Porosa de Atrito
- DER – Departamento de Estradas de Rodagens
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagens
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
- FRN – Fundo Rodoviário Nacional
- IES – Índice do Estado de Superfície do Pavimento
- IGG – Índice de Gravidade Global
- IGGE – Índice de Gravidade Global Expedido
- IGI – Índice de Gravidade Individual
- LVC – Levantamento Visual Contínuo
- NBR – Norma Brasileira
- SGP – Sistema de Gerência de Pavimentos
- TRE – Trilhas de Roda Externa
- TRI – Trilhas de Roda Interna
- TS – Tratamento Superficial
- TSD – Tratamento Superficial Duplo
- TSS – Tratamento Superficial Simples
- TST – Tratamento Superficial Triplo
- VMD – Volume Médio Diário

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	17
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	OBJETIVOS	23
2.1	OBJETIVO GERAL	23
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
3	REFERENCIAL TEÓRICO PRELIMINAR	24
3.1	PAVIMENTO	24
3.1.1	Pavimento Flexível	27
3.2	SEGURANÇA NAS RODOVIAS	30
3.2.1	Drenagem no Pavimento e o Pavimento Drenante	32
3.3	AVALIAÇÃO DO PAVIMENTO	35
3.3.1	Avaliação Funcional.....	35
3.4	MÉTODOS DE LEVANTAMENTO	36
3.4.1	Procedimento DNIT PRO 006/2003	36
3.4.2	Procedimento DNIT PRO 007/2003	40
3.4.3	Procedimento DNIT PRO 008/2003	41
3.4.4	Procedimento DNIT PRO 009/2003	44
3.5	DEFEITOS NOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	45
3.6	CAMADA POROSA DE ATRITO (CPA)	52
3.7	PROPRIEDADES DA CPA	54
3.6.1	Propriedades Mecânicas.....	54
3.6.2	Propriedades Funcionais	57
3.8	DESVANTAGENS DA CPA	66
4	METODOLOGIA	67
4.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	67
4.2	DELINEAMENTO	68
4.3	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	69
4.3.1	Definição da Via.....	69
4.3.2	Localização e Classificação	70
4.3.3	Características do Pavimento	71
4.3.4	Avaliação Funcional do Pavimento.....	71
4.3.5	Levantamento de Dados.....	72
5	RESULTADO E DISCUSSÕES	77
5.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	80
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
6.1	CONCLUSÕES	81
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	82
	REFERÊNCIAS	83
	ANEXO A – MODELO DE PLANILHA DE INSPEÇÃO DE CAMPO PARA O MÉTODO DO IGG	87
	ANEXO B – MODELO DE PLANILHA DE CÁLCULO DO IGG	89
	APÊNDICE A – LEVANTAMENTO DOS DEFEITOS PELO MÉTODO DO IGG	91

APÊNDICE B – PLANILHAS DE CÁLCULO DO IGG PARA CADA SENTIDO94

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O processo de formação das cidades ocorre desde os tempos do período neolítico. As cidades surgiram inicialmente como pequenas aldeias às margens de rios, e com o crescimento populacional e das atividades passaram a constituir cidades mais complexas. Na maioria das vezes, a urbanização está ligada ao desenvolvimento da civilização e da tecnologia. Urbanização é o processo de mudança dos aspectos rurais de uma região para as características urbanas.

O fenômeno urbano chegou acompanhado por uma série de problemas. Entre eles, o aumento da população que por consequência demanda aumento na quantidade de veículos em circulação em uma cidade e assim surge a necessidade de expandir a malha viária.

No Brasil, uma das primeiras estradas reportadas tem início em 1560, à época do terceiro governador-geral do Brasil, Mem de Sá. Trata-se do caminho aberto para ligar São Vicente ao Planalto Piratininga. O grande impulso na construção rodoviária brasileira ocorreu nas décadas de 1940 e 1950, graças à criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) em 1946, oriundo do imposto sobre combustíveis líquidos. Destaca-se ainda a criação da Petrobras em 1953.

A pavimentação asfáltica surgiu com o objetivo de proporcionar uma melhora na locomoção dos veículos. Com esta finalidade, o pavimento é uma estrutura composta por várias camadas sobre a superfície final da terraplanagem, destinada a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima e a garantir aos usuários melhores condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. “O pavimento deve suportar os efeitos das mudanças de clima, permitir deslocamento suave, não causar desgaste excessivo dos pneus e nível alto de ruídos, ter estrutura forte, resistir ao fluxo de veículos, permitir o escoamento da água na sua superfície, possuir sistemas de drenagem eficientes para dar vazão à água da chuva e ter boa resistência a derrapagens”. (CNIT, 2019, p.41).

A implementação de rodovias no Brasil teve início em 1920, com o apoio dos Estados Unidos, ao oferecer financiamento para a abertura de estradas, e em 1937 foi criado o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) atual Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), órgão responsável pela construção, manutenção, fiscalização, e elaboração de estudos técnicos relacionados a estradas. Mas somente em 1956, no governo de Juscelino Kubitschek, foi dada maior ênfase ao setor rodoviário.

Ocorreu uma notável evolução das estradas, passando a exercer um papel fundamental na integração nacional. Isto foi possível graças ao Plano de Metas, que previa um Plano Quinquenal de Obras Viárias. A partir de 1964, os governos militares também deram prioridade ao transporte rodoviário, continuando o projeto de integração nacional com o objetivo de povoar os vazios demográficos e integrá-los às demais regiões do país, facilitar a exploração dos potenciais naturais dessas regiões e criar eixos rodoviários onde deveriam ser assentadas famílias, inclusive de outras regiões (MELLO, 2004).

Levantamentos recorrentes da Confederação Nacional do Transporte (CNT) têm considerado a grande maioria dos pavimentos do Brasil de baixo conforto ao rolamento, incluindo muitos trechos concessionados da malha federal. Na pesquisa da CNT, são avaliadas as condições de toda a malha federal pavimentada e dos principais trechos estaduais, também pavimentados. A Figura 1, na qual mostra a avaliação das condições das rodovias, em relação ao Estado Geral, Pavimento, Sinalização e Geometria da Via em 2019. Este estudo constata piora nas condições das características observadas. O estado geral apresenta problemas em 59% da extensão dos trechos avaliados, destacando que o pavimento em 52,4% das vias tiveram seus estados classificados de regulares a péssimos.

Figura 1 - Avaliação das condições das rodovias, Brasil (%)

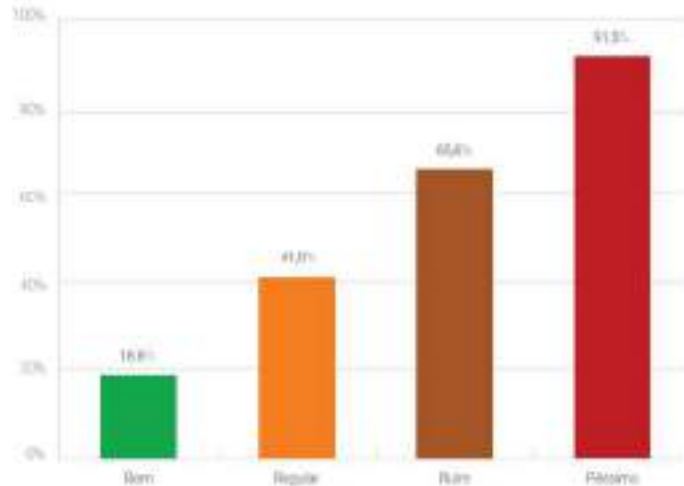


Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias (2019)

De acordo com a pesquisa CNT de Rodovias 2019, estima-se que o estado péssimo do pavimento pode quase dobrar o custo operacional do transporte rodoviário de cargas, uma vez que o adicional de custos pode chegar a até 91,5% (Figura 2). Assim,

considerando os resultados da pesquisa CNT de Rodovias 2019, calcula-se que o país gasta, em média, 28,5% a mais do que deveria para transportar seus insumos, bens de produção e bens de consumo por rodovias, apenas em razão de problemas no pavimento.

Figura 2 - Aumento do custo operacional conforme o estado do pavimento das rodovias, Brasil (%)



Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias (2019)

A má qualidade do pavimento asfáltico brasileiro, pode ser observado nas Figuras 3 e 4, o que se deve a uma série de fatores. A falta de planejamento adequado, entre elas a pouca preocupação com a drenagem superficial do pavimento, é uma das principais causas. A baixa qualidade do revestimento asfáltico em si, como espessuras de camadas subdimensionadas com o intuito de diminuir custos é outra grande causa da baixa durabilidade. Além de reparos muitas vezes feitos de maneira inadequada.

Figura 3 - Trecho rodovia CE-422 em 22/05/2019 - São Gonçalo do Amarante, CE



Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias (2019)

Figura 4 - Trecho rodovia CE-085 em 04/06/2019 - Acaraú, CE



Fonte: Pesquisa CNT de Rodovias (2019)

Pavimentos duráveis dependem, fundamentalmente, de sistemas de drenagem capazes de conduzir a água de modo eficiente para que ela não penetre no pavimento. Um ponto crítico referente à drenagem rodoviária é a manutenção dos componentes do sistema, como drenos longitudinais. A função dos drenos rasos longitudinais é receber as águas drenadas pela base drenante, conduzindo-as longitudinalmente até o local de deságue. (MANUAL DE DRENAGEM DE RODOVIAS, 2006, p.231).

Tradicionalmente, a gerência de pavimentos urbanos tem sido baseada na habilidade dos engenheiros municipais, que muitas vezes tomam as decisões de manutenção e reabilitação com base apenas na experiência acumulada, sem utilizar procedimentos formais de gerência (abordagem sistêmica) por falta de recursos, desconhecimento ou preconceito.

Os Sistemas de Gerência de Pavimento (SGP) representam uma possibilidade concreta de se avançar de um esquema de manutenção tradicional, baseado quase sempre na correção de problemas, para um sistema de manutenção planejada, onde a atuação sobre a malha viária abrange não só a solução de seus problemas imediatos, mas, também, um trabalho de prevenção que prolongue sua vida útil e garanta padrões mínimos de serviço em toda a malha que está sendo gerenciada.

A falta de informação ou até mesmo o receio de aderir a novas tecnologias faz com que, em muitos casos, as decisões sejam tomadas da mesma forma por muitos anos. Nem sempre mudanças de atitude ou de técnica são necessárias, mas, às vezes, é preciso adotar tecnologias e procedimentos mais adequados para tratar os problemas atuais enfrentados nas cidades, beneficiando a conservação das infraestruturas urbanas e minimizando outro

problema que as administrações públicas enfrentam, que é a falta de recursos.

Segundo Bernucci *et al.* (2010), a avaliação funcional de um pavimento refere-se a análise do estado da pista de rolamento e como este afeta o conforto dos usuários que por ela trafegam. Para os usuários o mais importante é o estado da superfície do pavimento, pois é nessa fase que são percebidos os defeitos e as irregularidades que afetam o seu conforto ao trafegar pela rodovia.

De acordo com Balbo (2007), a avaliação estrutural possibilita obter resultados sobre a integridade das faixas de materiais encobertos ao revestimento, cujas imperfeições, várias vezes não são descobertas pela avaliação visual do pavimento.

Nos últimos anos, uma série de avanços foram promovidos para elevar o desempenho dos pavimentos flexíveis, que são a maioria dos pavimentos construídos no Brasil. É o caso do desenvolvimento de ligantes asfálticos, como os modificados por polímeros, e dos agentes de misturas mornas, que permitem a usinagem das misturas asfálticas em temperaturas menos agressivas aos trabalhadores e ao próprio asfalto.

Na busca por alternativas que auxiliem os sistemas de drenagem, pretende-se enfocar, neste trabalho, o uso de um elemento da infraestrutura urbana existente, como aliado na diminuição do impacto negativo gerado pela impermeabilização das vias urbanas. A Camada Porosa de Atrito (CPA) é um tipo de revestimento asfáltico que possui propriedades mecânicas e hidráulicas que atende a este cenário (BENEDETTO *et al.*, 2014).

A Camada Porosa de Atrito ou o Concreto Asfáltico Poroso é a mistura asfáltica pré-misturada a quente, com características drenantes ou porosas, empregada na superfície dos pavimentos. Esse revestimento é pouco difundido no Brasil e por isso é de interesse o estudo aprofundado dos aspectos técnicos e funcionais do revestimento com o objetivo de avaliar a efetividade do método como aliado no sistema de drenagem urbana e sua real possibilidade de implementação no país (BALBO, 2007).

Ciente da importância da pavimentação, da necessidade de novas técnicas e de como a drenagem impacta na qualidade e vida útil do pavimento. Este trabalho irá avaliar uma via urbana com utilização de um revestimento permeável do tipo CPA, visando perceber como ao longo dos anos este respondeu os esforços atuantes na estrutura e como atuou como dispositivo inicial de drenagem para o pavimento.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho organiza-se em seis capítulos, cujos conteúdos estão apresentados abaixo:

Capítulo 1 – Introdução

Apresentam-se um breve histórico sobre pavimentos, dados da CNT, breve histórico sobre CPA e por fim, a sua estrutura e organização.

Capítulo 2 – Objetivos

Introduzem-se os motivos da elaboração do trabalho e os seus objetivos gerais e específicos.

Capítulo 3 – Revisão Bibliográfica

Introduzem-se conceitos necessários para a elaboração do trabalho, presentes na literatura consultada. Serão abordadas as recomendações e exigências da norma que rege a especificação de serviço do revestimento, apontando as vantagens e desvantagens de sua implementação e avaliação funcional de uma via urbana com revestimento asfáltico do tipo CPA. Essa avaliação visa evidenciar a maior capacidade de retenção de volume precipitado da CPA, em relação ao revestimento asfáltico tradicional.

Capítulo 4 – Metodologia de trabalho

Explicam-se os métodos, equipamentos e softwares utilizados na realização dos levantamentos necessários para a avaliação do pavimento de uma via urbana.

Capítulo 5 – Apresentação e análise dos resultados

Apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos.

Capítulo 6 – Conclusão

Apresentam-se as conclusões inferidas e as sugestões para trabalhos futuros.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste Trabalho de Conclusão de Curso é realizar a avaliação funcional utilizando o método IGG (Índice de Gravidade Global) de uma via urbana com revestimento asfáltico do tipo CPA.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O objetivo geral será alcançado através do desenvolvimento dos objetivos específicos listados abaixo:

- Conhecer a estrutura do pavimento da via urbana em estudo;
- Identificar os principais defeitos e/ou patologias existentes da via urbana;
- Calcular o Índice de Gravidade Global;
- Avaliar a qualidade do pavimento da via urbana em estudo.

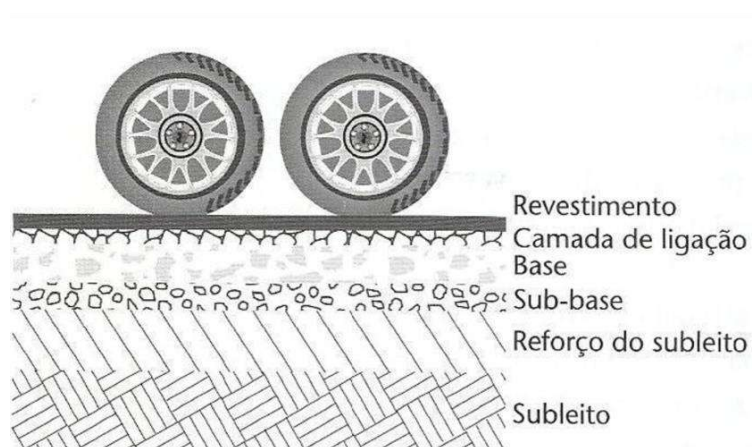
3 REFERENCIAL TEÓRICO PRELIMINAR

3.1 PAVIMENTO

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (BERNUCCI *et al.*, 2010).

O pavimento (Figura 5) é dividido em camadas de revestimento, base, sub-base, subleito e reforço de subleito. O revestimento é a camada que recebe diretamente as cargas, estáticas ou dinâmicas, e por este motivo deve ser construído por materiais mais nobres. Ele permite o contato direto pneu-pavimento, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de componentes ou diminuição da compactação, esta camada deve passar pelo processo de imprimação para que seja aderida à base. (BALBO, 2007).

Figura 5 – Camadas do pavimento asfáltico



Fonte: Bernucci at al (2008)

O glossário de termos técnicos rodoviários (DNER, 2017) as define como:

- Revestimento: camada mais acima do pavimento, que recebe diretamente as ações verticais e horizontais dos veículos, e destinada a melhorar as condições do rolamento quanto ao conforto e segurança.
- Base: camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os ao subleito, e sobre a qual se constrói o revestimento;

- Sub-base: camada corretiva do subleito e complementar à base, com as mesmas funções desta, e executada quando, por razões de ordem econômica, for conveniente reduzir a espessura de base;
- Subleito: maciço de terra que serve de fundação para o pavimento ou revestimento;

As camadas de base e sub-base, além de desempenhar a função de drenagem subsuperficial dos pavimentos, retêm parte das pressões sobre as camadas inferiores a elas. O subleito, por sua vez, suporta as cargas, oriundas do tráfego, impostas ao revestimento. E, por último, o reforço de subleito não é obrigatório, porém pode ser utilizado com o intuito de reduzir as solicitações sobre a superfície do subleito e evitar maiores espessuras de base e sub-base (BALBO, 2007).

A estrutura do pavimento baseia-se no recebimento e distribuição de esforços para amenizar as pressões das camadas inferiores, considerando as deformações naturais de cada uma delas. Toda camada do pavimento possui características próprias que permitem a acessibilidade e o transporte pela via, atendendo, basicamente, aos esforços verticais de compressão e cisalhamento impostos pelo tráfego (BALBO, 2007; FERREIRA, 2007).

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

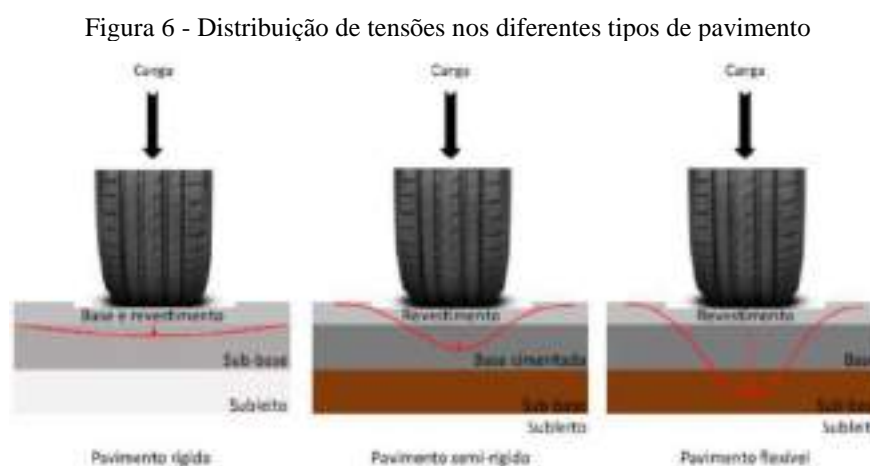
O conforto e a segurança do trânsito são garantidos pela função estrutural e funcional das camadas que constituem o pavimento. A eficiência que o conjunto das inúmeras camadas usufrui para reagir às ações climáticas e aos carregamentos aplicados pelos veículos, sem sofrer deteriorações que coloque em risco a serventia do pavimento, está ligada a função estrutural. As características de conforto e segurança da superfície da camada deteriorada do pavimento estão associadas com o papel funcional do pavimento (FRANCISCO, 2012).

A pavimentação é realizada por três tipos básicos de pavimentos: o flexível, o semirrígido e o rígido. O primeiro, pela carga solicitante, sofre deformações elásticas significativas em todas as suas camadas, como, por exemplo, pavimentos revestidos por camada asfáltica. O segundo apresenta uma base cimentada por algum aglutinante. E, por fim, o terceiro tem elevada rigidez comparada a suas demais camadas inferiores, absorvendo

grande parte do carregamento imposto, como em pavimentos constituídos de concreto (DNIT, 2006).

Para atender a esses requisitos, a estrutura do pavimento é particularmente importante. Ela deve ser constituída por camadas que distribuam as solicitações de carga, limitando as tensões e as deformações de maneira a garantir um desempenho adequado da via, por um longo período. Nesse sentido, os pavimentos são divididos em camadas, para minimizar os esforços verticais produzidos pela ação do tráfego e, conseqüentemente, oferecer proteção ao subleito (CNIT, 2019).

Pode-se observar na Figura 6 os diferentes comportamentos dos pavimentos descritos anteriormente, quando submetidos às tensões provenientes do tráfego.



Fonte: FATEC-SP (2018)

O desempenho adequado do conjunto de camadas e do subleito relaciona-se à capacidade de suporte e à durabilidade compatível com o padrão da obra e o tipo de tráfego, bem como o conforto ao rolamento e a segurança dos usuários. O desafio de projetar um pavimento reside no fato, portanto, de conceber uma obra de engenharia que cumpra as demandas estruturais e funcionais. Aliado a esses dois objetivos, o pavimento deve ainda ser projetado da forma mais econômica possível, atendendo as restrições orçamentárias (BERNUCCI *et al.*, 2010).

A estrutura do pavimento pode ser constituída por diferentes materiais, que classificam as bases e sub-bases em flexíveis e semirrígidas ou em rígidas. A constituição das mesmas encontra-se descrita na Figura 7.

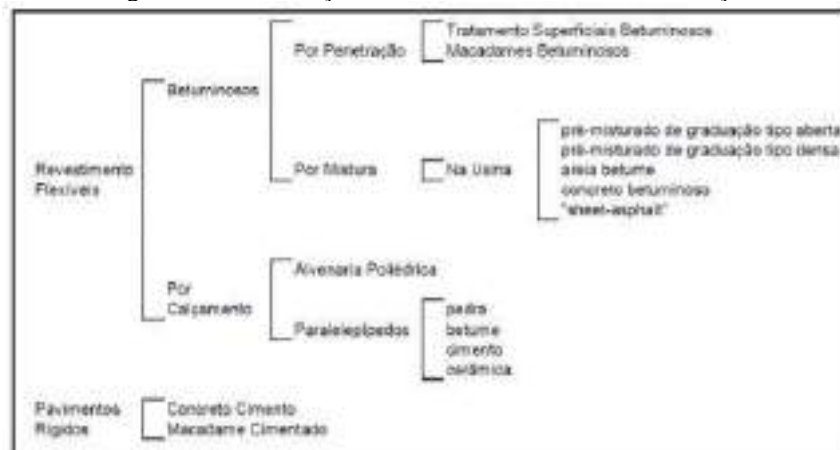
Figura 7 - Constituição das bases e sub-bases flexíveis e semirrígidas



Fonte: DNIT (2006)

Os revestimentos, por sua vez, podem ser agrupados de acordo com a classificação básica dos pavimentos em revestimentos flexíveis e pavimentos rígidos, conforme indicado na Figura 8.

Figura 8 - Classificação dos Revestimentos de Pavimentação



Fonte: DNIT (2006)

3.1.1 Pavimento Flexível

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), os pavimentos flexíveis são aqueles compostos por uma camada superficial asfáltica – revestimento, apoiadas em camadas de base, sub-base e de reforço do subleito, constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de solos, sem adição de agentes cimentantes, e que sob carregamento sofre deformação elástica em todas as camadas, ou seja, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes e com pressões concentradas (Figura 9).

Figura 9 - Resposta Mecânica do Pavimento Flexível



Fonte: BALBO (2007)

Esse tipo de pavimento pode ter resistência muito variável, na medida que, por ser realizado com material asfáltico, a espessura em sua camada de revestimento é determinante para o aumento ou diminuição da resistência (BALBO, 2007).

Por conta de seu caráter flexível, a absorção de esforços é feita de forma parcial entre as camadas verticais, porém geralmente concentradas próximo ao local onde a carga é aplicada (BALBO, 2007).

Os pavimentos flexíveis são conhecidos como pavimentos asfálticos, quando apresenta uma mistura formada por agregados e ligantes asfálticos, sendo constituído por quatro faixas principais, entre elas, revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. Denomina-se revestimento asfáltico, a camada superior que tem como objetivo resistir de forma direta às ações geradas pelo tráfego e transmiti-las de forma moderada até as camadas inferiores, assim como, aprimorar as condições de segurança e conforto e impermeabilizar o pavimento (BERNUCCI *et al*, 2010).

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

A escolha da granulometria dos agregados, de acordo com as faixas definidas pelo DNIT (2006), é realizada através do número de solicitações de tráfego e das condições climáticas.

Dentre os tipos de revestimento dos pavimentos flexíveis, existem as misturas usinadas. Para Bernucci *et al.* (2010), essa mistura de agregados e ligante é feita em uma usina estacionária, e posteriormente transportada para o local de utilização. Ainda segundo Bernucci *et al.* (2010), um dos tipos de revestimento mais utilizado no Brasil é o concreto asfáltico usinado a quente – CA, como mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Rodovia Pavimentada com CA



Fonte: RODOCON (2017)

O CA pode ser empregado como revestimento, camada de ligação – binder, regularização ou reforço do pavimento. O concreto betuminoso somente deve ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10°C, e sua execução não é permitida em dias de chuva (DNIT, 2006).

Na Especificação de Serviço do Concreto Asfáltico – 031/2006–ES (DNIT, 2006), os materiais constituintes são o agregado miúdo, o agregado graúdo, o ligante asfáltico e o fíler. A composição deste concreto asfáltico deve satisfazer a algumas tolerâncias em relação à granulometria e a percentuais dos ligantes asfálticos determinados no projeto de mistura.

O agregado miúdo pode ser areia, pó-de-pedra, uma mistura dos dois ou outro material indicado nas especificações complementares. Suas partículas individuais devem ser resistentes, sem a presença de torrões de argila e sem substâncias nocivas, apresentando uma percentagem igual ou superior a 55% de areia. Já o agregado graúdo pode ser pedra britada, escória, seixo rolado preferencialmente britado ou outro material indicado nas especificações complementares, com abrasão Los Angeles igual ou superior a 50%. O ligante asfáltico é

classificado em três tipos de cimentos asfálticos de petróleo: CAP 30/45, CAP 50/70 e CAP 85/100. O material de enchimento, fíler, deve ser constituído por materiais finamente divididos, como cimento Portland, cal extinta, pós-calcários. Quando aplicado deve estar seco e sem grumos (DNIT, 2006).

No dimensionamento de um pavimento é determinado a espessura de suas camadas, de forma que elas consigam resistir, transmitir e distribuir ao subleito as pressões resultantes da passagem dos veículos, sem que o pavimento sofra ruptura, deformações apreciáveis ou desgaste superficial em excesso (SENÇO, 2007).

Considera-se que as cargas aplicadas são estáticas, porém ele é submetido a cargas repetidas dos veículos, sofrendo por isso deformações permanentes e elásticas com intensidade proporcional ao número de solicitações (SENÇO, 2007).

As principais etapas para o dimensionamento de um pavimento compreendem: a determinação das materiais que formarão todas as camadas, especificação dos sistemas de drenagem, comparativo econômico entre as várias soluções de materiais disponíveis e do transporte necessário, investigação dos solos e materiais disponíveis, conhecimento das características climáticas da região onde será executado o projeto e conhecimento da natureza das cargas do tráfego, e que levam a fadiga dos materiais (PINTO; PREUSSLER, 2002).

O pavimento flexível, comparado ao rígido, tem uma menor condição de distribuir as pressões ao subleito, por isso é muito importante, no dimensionamento, a busca de materiais para as camadas de sub-base e reforço do subleito (SENÇO, 2007).

3.2 SEGURANÇA NAS RODOVIAS

Os dados estatísticos levantados, através de pesquisas do DER-SP comprovam a maior probabilidade de acidentes por derrapagens em pistas molhadas. O atrito de uma pista nestas condições é consideravelmente inferior àquele encontrado quando ela está seca. Esta redução se dá por não haver expulsão total da água que se encontra entre o pneu e o pavimento (CAVA, 2017).

A água presente na superfície dos pavimentos, principalmente em dias muito chuvosos onde a declividade transversal convencional de pavimentos não consegue vencer o fluxo de água, pode ocasionar o spray ou a aquaplanagem. O spray é o fenômeno de projeção da água devido ao movimento cinético dos veículos. A aquaplanagem é o fenômeno em que os veículos derrapam sobre a superfície, isso ocorre pois o excesso de água cria uma camada entre o pavimento e o pneu, de tal forma que diminui o atrito (CAVA, 2017).

As misturas asfálticas porosas foram criadas para obter uma superfície drenante que pudesse drenar águas pluviais, para que fosse evitada a formação de spray que gera insegurança na circulação dos veículos (CAVA, 2017).

A camada porosa de atrito (CPA), especificado na DNER 386/99, surge exatamente para combater esses efeitos indesejáveis do excesso de água sobre o pavimento. Dessa forma, o CPA por apresentar grande volume de vazios permite com que a água infiltre em seus poros e seja encaminhada para drenos laterais. Diferente do que muito se pensa, o pavimento drenante não tem como função a drenagem, ou seja, não deve ser adotado no lugar de bocas de lobo, bocas de leão etc. O CPA é um pavimento poroso que tem como função diminuir os riscos de aquaplanagem, aumentando o atrito entre pavimento e pneu e possibilitando ainda a redução de ruídos gerados pelos veículos (CAVA, 2017).

A CPA apresenta elevado índice de vazios, tornando-a permeável às águas pluviais e, desse modo, ocorre a redução da lâmina d'água da superfície (Figura 11). Com essa propriedade, é ainda possível reduzir a reflexão dos faróis e os sprays d'água (DUMKE, 2005; AZEVEDO & FILHO, 2014).

Figura 11- Formação de Névoa em Pavimento de Concreto Asfáltico Convencional, diferentemente da CPA



Fonte: DUMKE (2005)

Estudos em vários locais no mundo mostraram que a incidência de acidentes em pistas molhadas era bem maior quando comparada aos ocorridos em pistas secas. Nessas condições, a espessura da lâmina d'água, a rugosidade da superfície e a capacidade de evacuação da água pelos sulcos dos pneus são de grande influência na aderência pneu

pavimento e no acontecimento ou não de acidentes. A CPA, como um pavimento permeável, reduz a espessura da lâmina d'água, tornando a via, por isso, mais segura (OLIVEIRA, 2003).

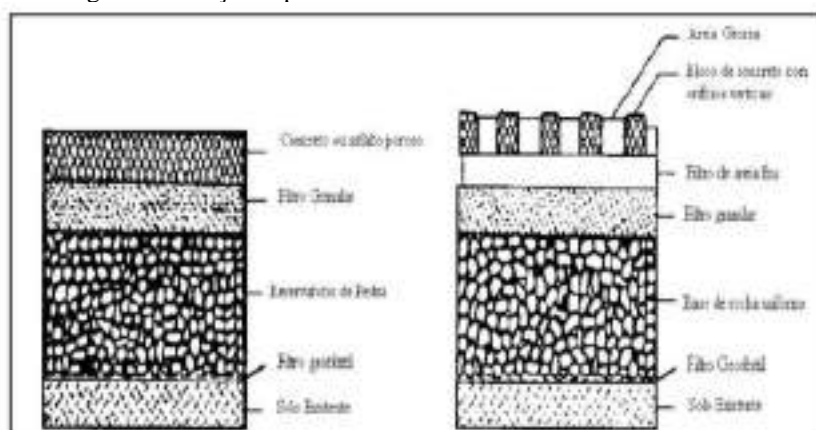
3.2.1 Drenagem no Pavimento e o Pavimento Drenante

A presença de água ocasiona dentro do pavimento uma deterioração de sua estrutura, por tanto faz-se necessário adotar métodos de drenagem dentro do próprio asfalto. Seguindo a linha de raciocínio do DNIT, as águas atravessam os revestimentos em uma taxa de 33% a 50% nos pavimentos asfálticos e de 50% a 67% nos pavimentos de concreto, que derivam em problemas na sua sub-base e base, caso seja desrespeitado a necessidade de dispositivos de drenagem.

O estudo dos pavimentos permeáveis iniciou-se na França na década de 40, possibilitando a drenagem e infiltração de água até as camadas inferiores do solo, o que ajuda a minimizar os impactos das inundações. No Brasil, essa tecnologia ainda é pouco utilizada, embora ocorram com frequência inundações nos grandes centros e, portanto, estes pavimentos poderiam ser utilizados para amenizar os impactos das chuvas (SALES, 2008; SOUZA *et al.*, 2012).

A pavimentação permeável é composta por camadas porosas (agregado miúdo ou médio) mais a camada do pavimento propriamente dita, ou por camadas perfuradas, conforme Figura 12. Elas permitem a infiltração da lâmina de água presente na superfície do pavimento para seu interior, desenvolvendo a função de micro reservatório de material granular e que posteriormente é absorvido pelo solo. Ou seja, ocorre a infiltração rápida de água na camada porosa, a água passa por um filtro de agregado e, posteriormente, por uma câmara mais profunda com agregados, adentrando no subsolo (ARAÚJO *et al.*, 2000; SALES, 2008).

Figura 12 - Seção Típica das Camadas de Pavimentos Permeáveis



Fonte: Araújo *et al.* (2000)

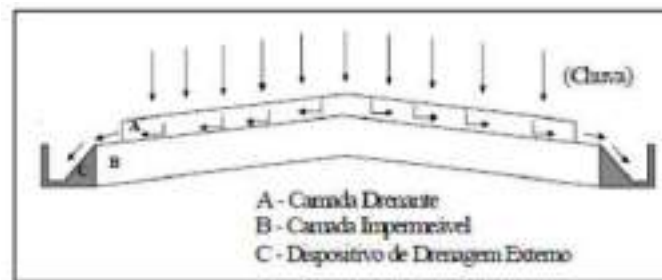
Os tipos dos pavimentos permeáveis mais utilizados são os pavimentos porosos (asfáltico ou de concreto) ou blocos de concreto vazados, preenchidos com material granular (blocos intertravados). Na camada de base, em geral, usa-se a brita e a manta geotêxtil pode ser aplicada entre camadas do pavimento, a fim de impedir a mistura de materiais entre elas. A capacidade drenante do conjunto de camadas, no entanto, deve ser compatível com a do subleito (SOUZA *et al.*, 2012).

Através desses pavimentos, é possível introduzir mais um elemento aos sistemas drenantes com a finalidade de controle de águas pluviais, assim como aumentar a segurança e conforto nas vias por diminuírem os efeitos de hidroplanagem. No âmbito ambiental, os pavimentos permeáveis colaboram na reposição do volume de água do lençol freático, todavia apresentam custo mais elevado (SALES, 2008; SOUZA *et al.*, 2012).

O concreto asfáltico drenante consiste em uma mistura asfáltica constituída por dosagem adequada de agregados minerais britados, fíler e cimentos asfálticos puros ou modificados por polímeros. Trata-se de uma técnica mais difundida em rodovias e aeroportos, mas que também pode ser usada em estacionamentos, vias expressas de pequeno tráfego e vias urbanas (OLIVEIRA, 2003; DUMKE, 2005).

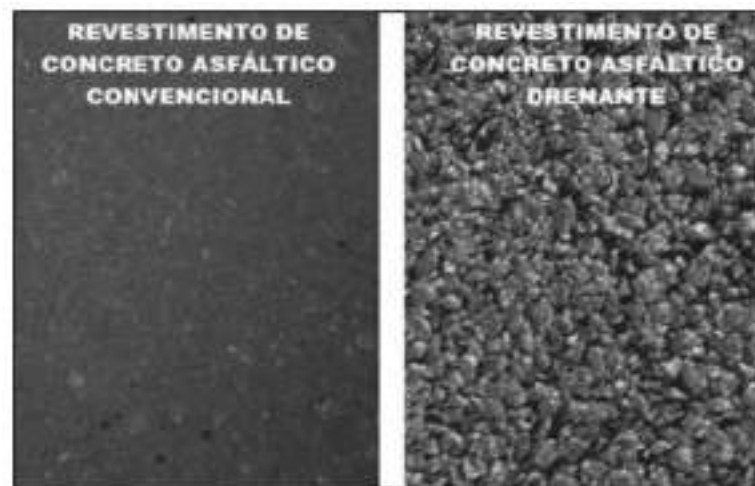
Esse tipo de pavimento é formado, normalmente, por duas camadas, a superficial com concreto asfáltico drenante e a mais profunda, composta por misturas asfálticas densas convencionais, que é impermeável, apresentando função estrutural. A água, ao passar pela primeira camada, é escoada pelo declive da segunda camada até os dispositivos de drenagem externo (Figura 13 e Figura 14). Dessa maneira, reduz-se a possibilidade de formação da lâmina d'água sobre o pavimento e o espelhamento da superfície molhada fica reduzido, não sendo capaz de provocar o reflexo dos faróis (OLIVEIRA, 2003; DUMKE, 2005).

Figura 13 - Princípio do Funcionamento de Concreto Asfáltico Drenante em Áreas Urbanas



Fonte: OLIVEIRA (2003)

Figura 14 - Comparação entre a Superfície de Concreto Asfáltico Convencional e a de Concreto Asfáltico Drenante



Fonte: DUMKE (2005)

Os pavimentos asfálticos drenantes são uma mistura que apresenta pelo menos 20% de vazios após espalhamento e compactação. Assim, são considerados de 1ª geração quando os teores de vazios se encontram em aproximadamente 20%. Os de 2ª geração já apresentam teores entre 25-28%, enquanto os de 3ª ultrapassam os 28% (OLIVEIRA, 2003).

A condução da água pelo pavimento ocorre quando os vazios se encontram interligados. Os fatores que contribuem, segundo Dumke (2005), para a drenagem pelo pavimento são o tamanho máximo do agregado, o teor de vazios, as espessuras esbeltas do revestimento, a declividade transversal, o alto volume do tráfego (mantém a porosidade pelo efeito de limpeza natural dos pneus), os locais expostos a poeiras, as interseções com vias não pavimentadas e uma condição de velocidade do tráfego baixa.

A alta percentagem de vazios dependerá, portanto, da utilização de agregados de boa qualidade e alta resistência e curvas granulométricas abertas, com ou sem descontinuidade acentuada. A quantidade suficiente de ligante, de forma a não preencher os vazios, mas assegurando uma eficiente coesão, também se torna importante para um concreto asfáltico drenante de qualidade (DUMKE, 2005).

3.3 AVALIAÇÃO DO PAVIMENTO

A avaliação de um pavimento compreende um conjunto de atividades destinadas à obtenção de dados, informações e parâmetros que permitam diagnosticar os problemas e interpretar o desempenho apresentado pelo pavimento, de modo a detectar, se possível, as necessidades atuais e futuras de manutenção e julgar as consequências da implementação de estratégias alternativas de manutenção. Os pavimentos são estruturas que em geral não apresentam ruptura súbita, mas sim deterioração funcional e estrutural acumuladas a partir de sua abertura ao tráfego (BERNUCCI *et al.*, 2010).

Para acompanhar o desempenho e definir estratégias de intervenção no pavimento é necessário avaliar o seu estado funcional e estrutural.

Segundo Bernucci *et al* (2010), a avaliação funcional de um pavimento refere-se a análise do estado da pista de rolamento e como este afeta o conforto dos usuários que por ela trafegam. Para os usuários o mais importante é o estado da superfície do pavimento, pois é nessa fase que são percebidos os defeitos e as irregularidades que afetam o seu conforto ao trafegar pela rodovia.

De acordo com Balbo (2007), a avaliação estrutural possibilita obter resultados sobre a integridade das faixas de materiais encobertos ao revestimento, cujas imperfeições, várias vezes não são descobertas pela avaliação visual do pavimento.

3.3.1 Avaliação Funcional

A avaliação funcional contempla os aspectos de conforto e qualidade do rolamento proporcionados ao usuário e está relacionada à verificação da eficiência no desempenho da função do pavimento, que é de fornecer uma superfície com serventia adequada (DANIELESKI, 2004).

A avaliação funcional de pavimentos flexíveis é realizada por meio dos seguintes serviços (DER, 2006):

- Avaliação de defeitos da superfície do pavimento através do levantamento visual contínuo (LVC);
- Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis;
- Verificação da irregularidade longitudinal de pavimentos;
- Cadastro constante dos reparos superficiais e profundos.

Há uma diversidade de métodos criados para a realização de avaliações dos pavimentos, amplamente empregados por órgãos municipais, estaduais e federais. No entanto, cada procedimento de avaliação deve ser selecionado conforme as peculiaridades do pavimento, as necessidades e os objetivos a serem alcançados. Os métodos de avaliação da condição superficial de pavimentos visam aferir e identificar os defeitos de acordo com os seguintes requisitos (MARCON; CARDOSO; APS, 1995):

- Determinação do defeito: identificação e classificação do defeito de acordo com as suas causas;
- Grau de severidade: estágio atual da evolução do defeito e degradação da área do pavimento atingido;
- Dimensão do defeito: extensão afetada em cada pavimento por determinado tipo de defeito.

No tópico 3.4 são abordados os principais métodos de avaliação funcional aplicado no Brasil.

3.4 MÉTODOS DE LEVANTAMENTO

Os métodos de levantamento da condição superficial de um pavimento flexível diferem entre si, mas os parâmetros normalmente empregados são, no geral: os tipos dos defeitos encontrados no pavimento, os níveis de severidade, a dimensão, expressos pela densidade ou frequência de ocorrência e os fatores de ponderação. Estes procedimentos possuem modelos matemáticos para, a partir do diagnóstico de defeitos, determinar um índice que exprima numericamente a condição do pavimento.

3.4.1 Procedimento DNIT PRO 006/2003

De acordo com DNIT 006/2003 – PRO (Procedimento: Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos.), tem como objetivo, através da

identificação, a contagem e a classificação dos defeitos aparentes e das medidas das deformações de trilhas de rodas, encontrar o valor do Índice de Gravidade Global (IGG), usado para determinar a degradação da pista de rolamento.

Tal procedimento é de grande serventia quando se busca não somente um parâmetro definidor das condições de superfície, mas um inventário de ocorrências e suas possíveis causas, obtendo uma avaliação mais detalhada. Os defeitos elencados por este método são apresentados na Tabela 1 abaixo (DNIT, 2003).

Tabela 1 - Defeitos apresentados no Procedimento DNIT PRO 006/2003

Defeitos	Notação
Fissuras	FI
Trincas isoladas transversais curtas	TTC
Trincas isoladas transversais longas	TTL
Trincas isoladas longitudinais curtas	TLC
Trincas isoladas longitudinais longas	TLL
Trincas interligadas tipo couro de jacaré sem erosão acentuada nas bordas	J
Trincas interligadas tipo couro de jacaré com erosão acentuada nas bordas	JE
Trincas isoladas devido a retração térmica	TRR
Trincas em bloco sem erosão acentuada nos bordos	TB
Trincas em bloco com erosão acentuada nos bordos	TBE
Afundamento plástico locais	ALP
Afundamento plásticos nas trilhas de roda	ATP
Afundamento de consolidação locais	ALC
Afundamento de consolidação nas trilhas de roda	ATC
Corrugação ou ondulação	O
Escorregamento de revestimento betuminoso	E
Exsudação	EX
Desgaste acentuado	D
Panelas	P
Remendos existentes (superficiais e/ou profundos)	R

Fonte: (DNIT, 2003b)

Os defeitos estão agrupados em oito classes, cada uma correspondente a um fator de ponderação, conforme ilustrado na Tabela 2. Dentre as principais particularidades deste método, tem-se a definição do termo de flecha na trilha de roda. A mesma é medida em milímetros e aponta a deformação permanente no sulco formado nas trilhas de roda interna (TRI) e externa (TRE), condizente com o ponto de máxima depressão dimensionada sob o centro de uma régua de 1.20m. São estabelecidos os fatores de ponderação para a média e variância das medidas das flechas com base nos seguintes critérios (DNIT, 2003):

- A tabela 2 apresenta as codificações de acordo com a coleta realizada em campo.
- Se a média for igual ou menor que 30mm, então o fator de ponderação é igual a 4/3; se maior que 30mm, o IGI é igual a 40;
- Se a média for igual ou menor que 50mm, então o fator de ponderação é igual a 1; se maior que 50mm, o IGI é igual a 50.

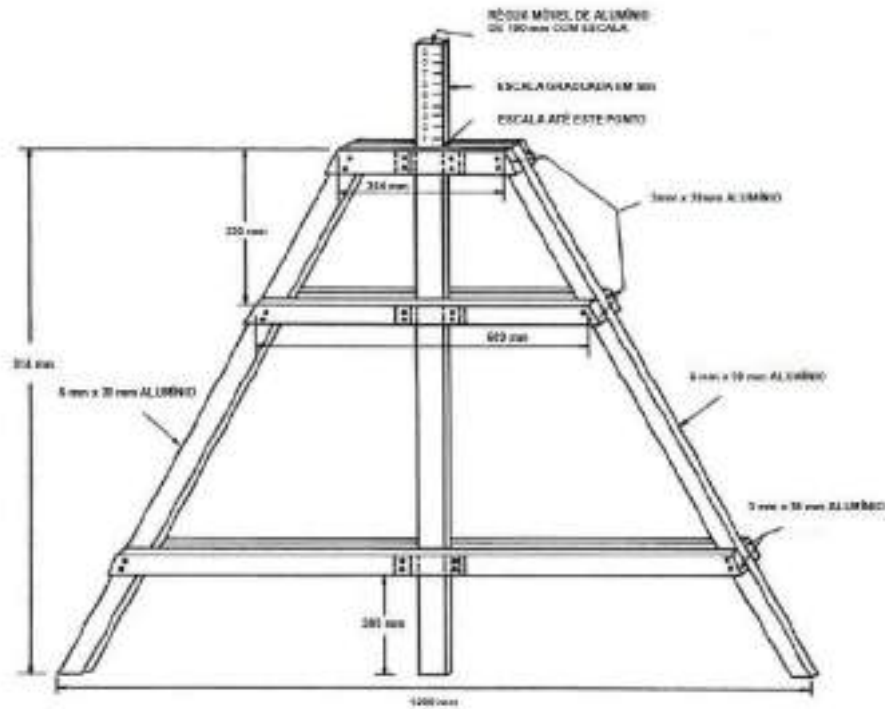
Tabela 2 - Codificação dos defeitos e os respectivos fatores de ponderação

Tipo	Codificação dos defeitos	Fator de ponderação
1	FC – 1 (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	0,2
2	FC – 2 (J e TB)	0,5
3	FC – 3 (JE e TBE)	0,8
4	ALP e ATP	0,9
5	O e P	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Fonte: (DNIT, 2003b)

O diagnóstico é realizado manualmente, por amostragem, por meio do caminhamento nas seções avaliadas. A medida da deformação permanente é realizada com o uso de uma treliça de alumínio padronizada com 1.20m de comprimento na base, dotada de régua móvel instalada em seu ponto médio para medir as flechas da trilha de roda (Figura 15).

Figura 15 - Treliça para medição das flechas de deformações excessivas



Fonte: (DNIT, 2003, p.6)

Torna-se necessário também equipamentos e materiais auxiliares para a locação e demarcação na via das estações de avaliação, como trena, giz, tinta, formulários, pincel e outros. As superfícies de avaliação devem ser localizadas do seguinte modo (DNIT, 2003):

- nas rodovias de pista simples, a cada 20m alternados em relação ao eixo da pista de rolamento (40 m em 40 m em cada faixa de tráfego);
- nas rodovias com pista dupla, a cada 20 m, na faixa de tráfego mais solicitada de cada pista.

O índice de Gravidade Individual (IGI) é realizado a partir do produto da frequência relativa pelo fator de ponderação respectivo, conforme as Equações 1 e 2. O Índice de Gravidade Global (IGG), por sua vez, é obtido por meio do somatório dos IGI's, de acordo com a Equação 3.

$$fr = \frac{fa \times 100}{n} \quad (1)$$

$$IGI = fr \times fp \quad (2)$$

$$IGG = \sum IGI \quad (3)$$

Onde:

f_r = frequência relativa de cada defeito;

f_a = frequência absoluta de cada defeito;

n = número de estações inventariadas;

f_p = fator de ponderação.

A Tabela 3 apresenta a classificação da condição do pavimento, a qual determina o seu estado de degradação. Tal classificação é obtida em função do Índice de Gravidade Global.

Tabela 3 - Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG

Intervalos do IGG	Condição do Pavimento
$0 < IGG \leq 20$	Ótimo
$20 < IGG \leq 40$	Bom
$40 < IGG \leq 80$	Regular
$80 < IGG \leq 160$	Ruim
$IGG > 160$	Péssimo

Fonte: (DNIT, 2003a)

3.4.2 Procedimento DNIT PRO 007/2003

Esta Norma define o procedimento a ser executado no levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrechos homogêneos de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para a gerência de pavimentos e estudos e projetos. Descreve a aparelhagem necessária e a maneira pela qual o levantamento deverá ser realizado (DNIT, 2003).

A normativa DNIT 007/2003 fixa as condições exigíveis no levantamento para avaliação objetiva da condição de superfície de subtrechos homogêneos, dentro de um trecho considerado homogêneo, de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para ser utilizado

na gerência de pavimentos e nos estudos e projetos, para a determinação do grau de degradação dos pavimentos (DNIT, 2003).

Os defeitos incluídos nessa especificação encontram-se listados na Tabela 4. O levantamento é feito manualmente, por amostragem, por meio do caminhamento da seção, sendo realizado em superfícies de seis metros de comprimento (DNIT, 2003c).

Considera-se como subtrechos homogêneos todo segmento de 100m de comprimento selecionado de determinada rodovia para a execução de levantamento das condições de superfície do pavimento. Para cada subtrecho, são definidos três segmentos testemunhas de 100m cada e em cada segmento testemunha duas superfícies de avaliação são inventariadas. A amostragem atinge entre 0,18% da extensão quando realizada em segmentos homogêneos de 20km e 12% para segmentos homogêneos de 300m.

Tabela 4 - Defeitos apresentados no procedimento DNIT PRO 007/2003

Defeito	Notação
Flecha na trilha de roda interna e externa	TRI/TRE
Trinca transversal	TR
Trinca longitudinal	TL
Trinca em bloco	TB
Trinca tipo couro de jacaré	TCR
Trinca irregular	TI
Panelas ou buracos	P
Remendos (tipo tapa-buracos)	R
Remendo profundo	RP
Remendo superficial	RS
Exsudação	EX
Desgaste	D
Afundamento	A
Ondulação ou corrugação	ON

Fonte: (DNIT, 2003c)

3.4.3 Procedimento DNIT PRO 008/2003

Esta Norma fixa as condições exigíveis na avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos pelo processo de Levantamento Visual Contínuo determinando-se o

ICPF – Índice de Condição de Pavimentos Flexíveis, ao mesmo tempo em que proporciona também os elementos necessários para o cálculo do IGGE – Índice de Gravidade Global Expedito e do IES – Índice do Estado de Superfície do Pavimento.

A avaliação deve ser realizada em toda a extensão. É utilizado um veículo equipado para trafegar com uma velocidade média aproximada de 40 km/h percorrendo a rodovia em um único sentido (rodovia de 2 faixas de tráfego). No caso de rodovias com 2 pistas de cada lado o levantamento será feito para cada pista em separado (DNIT,2003).

Os trechos de rodovias de pista simples serão levantados em um único sentido, levando-se em consideração simultaneamente as duas ou mais faixas de tráfego. O sentido utilizado para o levantamento em rodovias de pista simples será sempre o sentido do PNV. Em trechos de rodovias de pista dupla, o LVC será realizado separadamente para cada uma das pistas, levando-se em consideração simultaneamente as duas ou mais faixas de rolamento de cada uma dessas pistas (DNIT,2003).

O avaliador também estima o ICPF, em função dos defeitos vistos, atribuindo uma nota de 0 a 5 em função da necessidade de manutenção, conforme a Tabela 5. O ICPF final resulta do cálculo da média dos valores atribuídos por dois ou mais avaliadores (DNIT, 2003d).

Tabela 5- Conceituação, descrição da condição e valores do ICPF

Conceito	Descrição	ICPF
Ótimo	Necessita apenas de conservação rotineira	5 – 4
Bom	Aplicação de lama asfáltica – Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas	4 – 3
Regular	Correção de pontos localizados ou recapeamento - pavimento trincado, com “painelas” e remendos pouco frequentes e com irregularidade longitudinal ou transversal.	3 – 2
Ruim	Recapeamento com correções prévias - defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas - remendos superficiais ou profundos.	2 – 1
Péssimo	Reconstrução - defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão. Degradação do revestimento e das demais camadas - infiltração de água e descompactação da base	1 – 0

Fonte: (DNIT, 2003d)

O cálculo do IGGE é determinado por meio da frequência dos defeitos e seus respectivos pesos, de acordo com a Equação 4. Os defeitos são classificados em três tipos: trincas, deformações e panelas e remendos. Os pesos de cada grupo variam em função da frequência de ocorrência de defeitos, conforme apresentado na Tabela 6.

$$IGGE = (P_T \times F_T) + (P_{OAP} \times F_{OAP}) + (P_{PR} \times F_{PR}) \quad (4)$$

Onde:

F_t, P_t = frequência e peso do conjunto de trincas (t);

F_{oap}, P_{oap} = frequência e peso do conjunto de deformações (oap);

F_{pr}, P_{pr} = frequência (quantidade por quilômetro) e peso do conjunto de panelas (p) e remendos (r).

Tabela 6 - Pesos dos defeitos em função da frequência de ocorrência

Frequência	Gravidade	Panelas e Remendos		Trincas e Deformações		
		Fator Fpr (quantidade/km)	Peso	Fator Ft e Foap	Peso das trincas	Peso das deformações
A – Alta	3	≥ 5	1,00	≥ 50	0,65	1,00
M – Média	2	2 - 5	0,80	50 - 10	0,45	0,70
B - Baixa	1	≤ 2	0,70	≤ 10	0,30	0,60

Fonte: (DNIT, 2003d)

Por fim, o Índice do Estado da Superfície (IES) é obtido a partir da combinação do ICPF e do IGGE. Tal índice varia de 0 a 10 e está relacionado aos cinco níveis da condição do pavimento: ótimo, bom, regular, ruim e péssimo, conforme indicado na Tabela 7.

Tabela 7 - Índice do estado da superfície do pavimento

Descrição	IES	Código	Conceito
$IGGE \leq 20$ e $ICPF > 3,5$	0	A	Ótimo
$IGGE \leq 20$ e $ICPF \leq 3,5$	1	B	Bom
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF > 3,5$	2		
$20 \leq IGGE \leq 40$ e $ICPF \leq 3,5$	3	C	Regular
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF > 2,5$	4		
$40 \leq IGGE \leq 60$ e $ICPF \leq 2,5$	5	D	Ruim
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF > 2,5$	7		
$60 \leq IGGE \leq 90$ e $ICPF \leq 2,5$	8	E	Péssimo
$IGGE > 90$	10		

Fonte: (DNIT, 2003d)

3.4.4 Procedimento DNIT PRO 009/2003

Esta Norma fixa os procedimentos exigíveis para a avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos com base no seu Valor de Serventia Atual, indicando o grau de conforto e suavidade ao rolamento proporcionado pelo pavimento.

O Valor de Serventia Atual (VSA) é uma medida subjetiva das condições de superfície de um pavimento, feita por um grupo de avaliadores que percorrem o trecho sob análise, registrando suas opiniões sobre a capacidade do pavimento de atender às exigências do tráfego que sobre ele atua, no momento da avaliação, quanto à suavidade e ao conforto.

Estes, por sua vez, registram na ficha de avaliação seus respectivos pareceres técnicos sobre o conforto ao rolamento de um veículo trafegando em um determinado trecho e sobre o estado da superfície do pavimento. Morais (2011) afirma que a medida da serventia de um pavimento permite a análise das táticas de projeto e a execução de programas de manutenção, reabilitação e reconstrução. Portanto, a avaliação do desempenho de um pavimento depende da interação de três componentes: usuário, veículo e pavimento.

O resultado da avaliação de cada trecho estudado pode ser obtido por meio da Equação 5:

$$VSA = \frac{\sum X}{N} \quad (5)$$

Onde:

VSA = Valor de Serventia Atual;

$\sum x$ = Valores de Serventia Atual individuais, sendo atribuído por cada membro do grupo;

N = número de membros do grupo de avaliação.

Existem requisitos importantes para a avaliação do pavimento, conforme a norma do DNIT-PRO 009/2003. Destacam-se:

- O trecho de pavimento deve ser avaliado determinando o Valor de Serventia Atual como se fosse para uma rodovia de tráfego intenso e constituído de veículos comerciais e de passageiros;
- O avaliador deve considerar somente o estado atual da superfície e, conseqüentemente, pode classificar um pavimento como “bom”, embora suspeite que ele possa romper-se em futuro próximo;
- A avaliação não deve ser feita sob condições climáticas desfavoráveis, como chuva, neblina, nevoeiro etc.;
- O avaliador deve ignorar os aspectos do projeto geométrico do trecho da rodovia que está sendo avaliada (alinhamento, largura do acostamento, largura do revestimento etc.). Os trechos devem ser avaliados como se o projeto geométrico fosse adequado para qualquer tipo de tráfego;
- O avaliador não deve considerar, na avaliação, a resistência à derrapagem do revestimento;
- Os avaliadores devem considerar principalmente os “buracos”, saliências, irregularidades transversais e longitudinais da superfície. Grandes depressões resultantes do recalque de aterros devem ser ignoradas;
- Os avaliadores devem desprezar os cruzamentos ferroviários, irregularidades nos acessos das pontes e irregularidades ocasionais devidas a recalques de bueiros.

3.5 DEFEITOS NOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Nas rodovias circulam veículos de passeio e comerciais. Os veículos comerciais são os ônibus e os caminhões, cujo efeito sobre os pavimentos é mais acentuado devido ao maior efeito das cargas deslocadas. Estas cargas, de acordo com Albano (2005), são transmitidas aos pavimentos por rodas pneumáticas simples ou duplas dispostas em eixos

simples e tandem, duplos ou triplos. A ação do tráfego, não só pelo peso transportado e pela frequência com que solicita o pavimento, provoca a deterioração e o consumo da estrutura (ALBANO, 2005).

A norma DNIT 005/2003 – O TRE também fornece definições para estas patologias encontradas em revestimentos asfálticos, que seguem abaixo (BRASIL, 2003):

a) Fenda: qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas, como visto na Figura 16. Subdivide-se em fissura e trinca:

- Fissura: fenda de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível à vista desarmada de uma distância inferior a 1,50 m;

Figura 16 - Fissura



Fonte: (SindEtrans, 2018)

- Trinca: fenda existente no revestimento, facilmente visível à vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada, ilustrado na Figura 17 e Figura 18 ou trinca interligada. As trincas ditas interligadas são divididas em duas categorias: trinca couro de jacaré conforme ilustrado na Figura 19, com contornos erráticos, e trinca de bloco, ilustrado na Figura 20, com lados bem definidos aparentando blocos. Enquanto as trincas “couro de jacaré” estão associadas à repetição das cargas de tráfego (concentram-se nas trilhas de roda), as de bloco não estão relacionadas com tráfego; logo, elas aparecem em qualquer lugar, até em locais de pouco tráfego. As trincas no revestimento podem ser devido à fadiga ou não. A fadiga está relacionada com a repetição da passagem de carga de veículo comercial;

Figura 17 - Trinca isolada transversal



Fonte: NORMA DNIT 005/2003 – TER

Figura 18 - Trinca isolada longitudinal



Fonte: NORMA DNIT 005/2003 - TER

Figura 19 - Trinca interligada tipo jacaré



Fonte: NORMA DNIT 005/2003 - TER

Figura 20 - Trinca interligada tipo bloco



Fonte: NORMA DNIT 005/2003 - TER

- b) Afundamento:** deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação,
- Afundamento plástico: afundamento causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, conforme Figura 21;
 - Afundamento de consolidação: é causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito, conforme Figura 22;

Figura 21 – Afundamento plástico



Fonte: (SindEtrans, 2018)

Figura 22 – Afundamento de consolidação



Fonte: (SindEtrans, 2018)

c) Corrugação ou Ondulação: deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento;

Figura 23 – Corrugação ou Ondulação



Fonte: (SindEtrans, 2018)

d) Escorregamento: deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua. Ocorre principalmente em áreas de frenagem e de interseções, quando o veículo causa o deslizamento da massa asfáltica (baixa aderência) ou sua deformação (baixa resistência), de acordo com a Figura 24;

Figura 24 - Escorregamento



Fonte: (SindEtrans, 2018)

e) **Exsudação:** excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento, visto na Figura 25;

Figura 25 - Exsudação



Fonte: (SindEtrans, 2018)

f) **Desgaste:** efeito de arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego, visto na Figura 26;

Figura 26 - Desgaste



Fonte: (SindEtrans, 2018)

g) Panela ou Buraco: cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas, visto na Figura 27;

Figura 27 – Panela ou Buraco



Fonte: (SindEtrans, 2018)

h) Remendo: panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de “tapa-buraco”, conforme Figura 28.

Figura 28 - Remendo



Fonte: (SindEtrans, 2018)

Outros defeitos, que não constam na Norma DNIT 005/2003 – TER, são importantes e devem ser considerados para uma análise da solução de restauração: segregação, bombeamento de finos, falha de bico em tratamentos superficiais, entre outros (BERNUCCI *et al.*, 2010).

3.6 CAMADA POROSA DE ATRITO (CPA)

O revestimento conhecido como Camada Porosa de Atrito ou CPA consiste em um pré-misturado a quente com utilização de asfalto polímero e está normatizado na DNER-ES 386/99. É uma mistura executada em usina apropriada, com características específicas, constituída de agregado, material de enchimento (fíler) e cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero do tipo SBS, espalhada e comprimida a quente.

A Camada Porosa de Atrito (CPA) ou o Concreto Asfáltico Poroso é a mistura asfáltica pré-misturada a quente, com características drenantes ou porosas, empregada na superfície dos pavimentos. Atualmente, são muito utilizadas a fim de aumentar a segurança das vias e aeroportos e para diminuir o impacto ambiental com a redução dos ruídos (OLIVEIRA, 2003; BALBO, 2007).

O estudo dessas misturas teve início nos Estados Unidos (EUA) na década de 1930, porém, só na década 1970, na Europa e nos EUA, foi intensificado seu uso, com o desenvolvimento de misturas para aeroportos, a fim de permitir a passagem de água pluvial

através de seu interior. No Brasil, a primeira experiência com revestimento asfáltico drenante ocorreu em 1983 no aeroporto de Confins, em Belo Horizonte - MG, no qual se utilizou o cimento asfáltico comum. Já em 1987, no aeroporto de Santos Dumont (Figura 29), no Rio de Janeiro - RJ, iniciou-se a aplicação do cimento asfáltico modificado por polímero, enquanto, em rodovias, a primeira experiência ocorreu apenas em 1992 na Rodovia dos Bandeirantes, SP. Atualmente, porém, a CPA ainda é pouco utilizada no país, restringindo-se a aeroportos e algumas rodovias (OLIVEIRA, 2003; DUMKE, 2005; FARAH, 2009).

Figura 29 - CPA no Aeroporto Santos Dumont, RJ



Fonte: Bernucci *et al.* (2010)

O Concreto Asfáltico Poroso caracteriza-se pelo seu grande volume de vazios, o qual o torna permeável. A presença da camada asfáltica, densa, impede a infiltração de água para o interior das camadas de base e subleito. A água, na CPA, é, ao contrário, drenada lateral e internamente pelo seu revestimento. A estrutura deste pavimento consiste em mistura descontínua de agregados na base, com ou sem fíler, e de pequena quantidade de ligante asfáltico. Neste caso, o asfalto modificado é mais indicado por diminuir a desagregação e o aumento de sua durabilidade (BALBO, 2007; BERNUCCI, *et al.*, 2010).

Utilizada como camada de rolamento, a CPA é responsável pela coleta de água de chuva para seu interior e tem o objetivo de facilitar a drenagem pluvial na superfície. Esse revestimento permite que o atrito pneu-pavimento permaneça dentro das faixas aceitáveis em quaisquer condições meteorológicas, além de diminuir a espessura da lâmina d'água (OLIVEIRA, 2003; BERNUCCI, *et al.*, 2010).

As especificações que regem a CPA – mais utilizadas no setor rodoviário e aeroviário – são o — Pré-misturado a quente com asfalto polímero – camada porosa de atrito DNER-ES 386/99, — *Porous Friction Course* da FAA (*Federal Aviation Administration*) AC 150/5370-10B item P402 e — Misturas Betuminosas para camadas de rodaduras,

misturas drenantes e descontínuas PG-3 ART 543 (Espanha)l. No Brasil, atualmente, deve-se seguir as especificações do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT (antigo DNER). Adota-se o Ensaio Marshall (DNER-ME-043) para verificação das condições de vazios, o ensaio Cantabro para analisar o desgaste por Abrasão Los Angeles, e, por fim, o ensaio de resistência à tração por compressão diametral (FARAH, 2009).

3.7 PROPRIEDADES DA CPA

A CPA possui características que contribuem em suas propriedades mecânicas e funcionais, que são abordadas a seguir.

3.6.1 Propriedades Mecânicas

3.6.1.1 Propriedades de resistência

De acordo com Balbo (2007), o processo de degradação de uma mistura asfáltica aberta e muito porosa encontra-se na quantidade muito menor de pontos de ligação entre o ligante e os agregados e conseqüentemente devido à elevada permeabilidade da mistura, que permite a percolação de água e outros líquidos que degradam as ligações de asfalto. Infere-se, com isso, que é conveniente o emprego de CAP modificado com polímero para tornar o ligante mais resistente e menos suscetível à ação da água.

Conforme Homem (2002), a perda de massa é a característica mais importante da mistura de CPA, pois, quando da utilização de ligantes modificados, os efeitos decorrentes da resistência à desagregação ficam mais evidentes. Em seus estudos, as misturas asfálticas porosas executadas com ligantes modificados demonstraram um melhor comportamento à perda de massa quando comparadas com misturas feitas de ligantes convencionais, sendo que esta perda ao desgaste pode ser reduzida utilizando-se asfaltos modificados com polímeros combinados com a adição de fibras.

Segundo Khalid e Pérez-Jiménez (1996), através de pesquisa com ensaios realizados a 20°C com dois tipos diferentes de asfalto e variando de 4,2 a 6,3% os teores de ligante, descreveram que a perda ao desgaste também diminui com o aumento do teor de asfalto em qualquer tipo de asfalto, pois todos os corpos de prova demonstraram semelhante comportamento ao desgaste para o mesmo teor de ligante.

Já para Mallick *et al.*, (2000), os ensaios de perda de massa mostraram que ocorre aumento da perda ao desgaste de acordo com a diminuição da quantidade de agregados passantes na peneira 4,75mm.

Meurer Filho (2001) analisou a resistência das misturas drenantes, através do ensaio de perda de massa, em três etapas.

Primeiramente, os corpos de prova do ensaio Marshall foram preparados com curvas granulométricas definidas a partir de três tamanhos máximos de granulares (9,5 mm, 12,5 mm e 19,1 mm), sendo as amostras de mistura porosa compactadas com 75 golpes por face em teores de cimento asfáltico de 3,6%, 4%, 4,4%, 4,8% e 5,2%, demonstrando que as desagregações representadas pelas perdas no ensaio Cântabro apresentaram valores decrescentes com o aumento dos teores de cimento asfáltico e nenhum valor foi maior do que 14% devido aos materiais apresentarem bom comportamento à desagregação.

Na segunda etapa, as novas curvas granulométricas foram definidas de modo a obter brechas longas na granulometria, os teores de ligante dos corpos de prova foram 3,6%, 4% e 4,4% e a energia de compactação foi alterada para 50 golpes por causa dos problemas de esmagamento de agregados da primeira etapa, observando que para todas as granulometrias houve tendência a desgastes decrescentes com o aumento do teor de ligante, sendo os valores obtidos para 4% de CAP aos limites de 25% e constatando que a tendência dos desgastes aumentaram com o tamanho máximo dos granulares.

Na última etapa, o teor de asfalto foi, também, de 4%, mantendo os mesmos diâmetros máximos, com duas peneiras de material graúdo e três de finos, checando a percentagem de finos em aproximadamente 10%; o ensaio Cântabro apresentou perda de peso diminuindo com a elevação do teor de ligante com exceção para o tamanho máximo de 9,5 mm, constatando que as perdas aumentam com o aumento do diâmetro máximo e que para $D_{max}=9,5$ mm os valores foram pouco alterados, mas para os demais tamanhos máximos aconteceu maiores perdas, atingindo valores acima de 20% para $D_{max}=12,5$ mm chegando a 32% para $D_{max}=19,1$ mm, superior ao limite da especificação (25%).

Através do estudo, Meurer Filho (2001) concluiu que, para uma determinada granulometria, o teor de cimento asfáltico influi no comportamento das misturas drenantes quanto aos teores de vazios, quanto aos teores de vazios comunicantes e quanto às perdas no ensaio Cântabro; já nos teores de ligante crescentes as percentagens de vazios, percentagens de vazios comunicantes e as perdas no ensaio Cântabro foram decrescentes.

3.6.1.2 Propriedades de deformabilidade

Para Khalid e Pérez-Jiménez (1996), os ensaios de módulo de resiliência (MR) a 20°C para misturas porosas aplicadas na Inglaterra e Espanha, utilizando dois tipos diferentes de asfalto e variando os respectivos teores, demonstraram valores de MR que variam entre 1.600 MPa e 3.300 MPa, dependendo da formulação de cada mistura, conferindo-se a ocorrência de diminuição do MR com o aumento do teor de ligante.

De acordo com Mallick et al. (2000), os ensaios de deformação permanente realizados a uma temperatura de 64°C e 8.000 ciclos de carregamento, demonstraram melhor comportamento em misturas com asfaltos modificados com polímeros, uma vez que esta mistura apresentou as menores deformações permanentes.

Conforme Homem (2002), as misturas com teor de ligante de 4,5% e teor de fibra de 0,4% apresentaram melhor comportamento quanto à deformação permanente, pois até 4,5% de ligante, quando aumentado o teor ocorre uma diminuição da deformação permanente e, após 4,5% de ligante, qualquer aumento no teor apresenta-se num aumento da deformação permanente. Com isso, a deformação permanente foi menor para teores mais baixos de asfalto. O comportamento da deformação permanente com a adição de fibras registrou que, até 0,4% de fibra, ocorre uma diminuição da deformação permanente e, após 0,4% de fibra, ocorre o aumento da deformação permanente. Dessa forma, o “comportamento ótimo” da deformação permanente, em relação à quantidade de fibra, acontece em teores próximos a 0,4%, observando-se que o aumento do teor de ligante provoca um aumento na deformação permanente.

Segundo Dumke (2005), todas as placas das misturas investigadas em seu estudo relataram insatisfatoriedade ao ensaio, uma vez que ultrapassaram o limite de 10% de deformação em relação à espessura da placa para aplicação de 30.000 ciclos para as camadas de superfície, que é o valor estabelecido pela norma AFNOR-NF-P-98-253-1 (1993), exceto apenas pelas placas com ligantes modificados por copolímeros SBS, onde todas as granulometrias forneceram valores entre 7% e 9% de deformação em relação à espessura da placa.

Já para Guimarães *et al.* (2013), todas as placas tiveram resultados satisfatórios, uma vez que, além de atenderem o limite de 10% de deformação aos 30.000 ciclos, nenhuma delas apresentou deformação superior a 5,0%. Em todo o processo, as placas de polímero SBS deformaram-se mais do que as placas de asfalto borracha, aumentando ao longo da execução do ensaio. Acerca da deformação, todas as placas resistiram satisfatoriamente ao ensaio de

deformação permanente e, além de atenderem o limite admissível que é de 10%, nenhuma delas teve deformação superior a 5,0%. As placas de polímero SBS deformaram-se mais do que as placas de asfalto borracha do início ao final, aumentando ao longo do ensaio, observando-se que o asfalto borracho deforma bem menos que o polímero SBS, uma vez que com 5,5% de teor de ligante deformou menos que o polímero SBS; certamente, com 4,75% deformaria ainda menos.

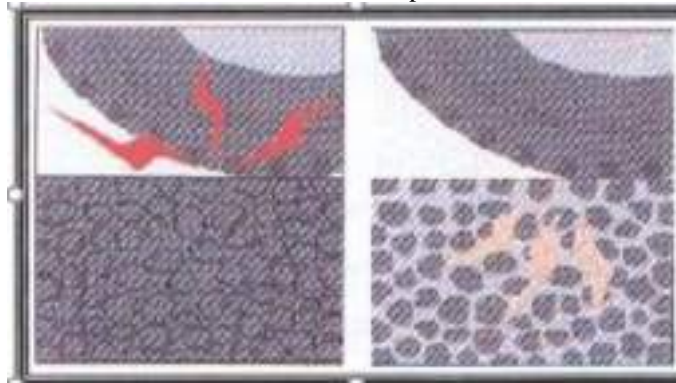
Conforme Reis (2012) observou em seus estudos, quando o teor de ligante da mistura ultra delgada foi reduzido de 5,5 para 5,0% AMP 55/75-E, o valor de 8,54% referente à deformação permanente a 60°C, 30.000 ciclos, diminuiu para 6,85%, sendo um resultado ligeiramente superior a 4,9%, referente à deformação permanente a 60°C, 30.000 ciclos para as placas do concreto asfáltico moldadas para a execução da seção de referência do trecho experimental, no teor de projeto de 4,6% de AMP 55/75-E, assim como ao limite máximo de 5,0%, estabelecido pelas diretrizes de dimensionamento europeias do Grupo COST 333 para as misturas asfálticas densas sob tráfego pesado. Dessa forma, partindo da análise dos resultados de deformação permanente no simulador de tráfego LPC, conclui-se que a estabilidade mecânica do revestimento asfáltico ultra delgado (RAUD), não deve comprometer seu desempenho funcional sob tráfego pesado.

3.6.2 Propriedades Funcionais

3.6.2.1 Propriedades acústicas

De acordo com Santos (2007), os revestimentos asfálticos do tipo CPA, embora desenvolvidos sem a finalidade de reduzir ruídos, mostram-se eficientes no processo de absorção acústica. Meurer Filho (2001) define que devido a sua elevada percentagem de vazios, o ar à frente do pneu tende a penetrar nos poros, reduzindo o bombeamento do ar neste tipo de revestimento, conforme a Figura 30; com isso, obtém-se a diminuição do ruído, cuja ordem de grandeza é dependente de diversos fatores, como o tamanho dos agregados, a espessura da camada e a porcentagem de vazios da mistura.

Figura 30 - Penetração do ar nos vazios de um pavimento com revestimento denso seguido de um pavimento com revestimento poroso

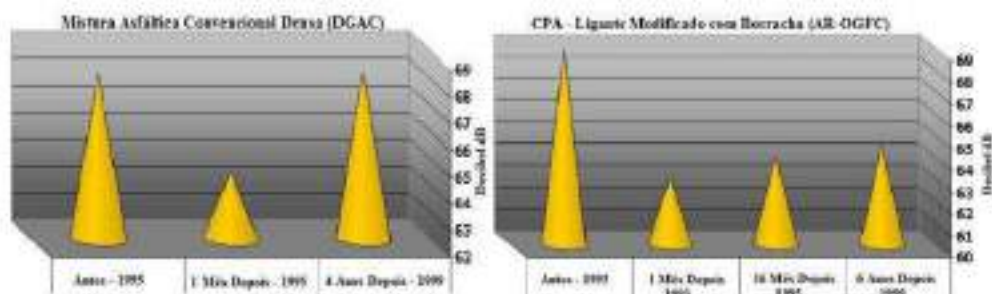


Fonte: Adaptado de ROSENO (2005)

Desta forma, uma das principais características funcionais da CPA é reduzir o ruído ao rolamento, contribuindo para amenizar o desconforto ambiental em áreas próximas de vias com revestimentos drenantes. O ruído, além de interessar ao usuário, tem se tornado um quesito para a qualidade de vida das populações na proximidade das rodovias e nas grandes cidades. No intuito de reduzir o nível de barulho que chega à vizinhança e locais próximos dessas vias, diversas soluções têm sido pesquisadas e adotadas mundo afora.

Além disso, Carlson, Zhu e Xiao (2003) investigaram medições de nível de ruídos no decorrer da vida útil de dois tipos de superfícies escolhidas para recobrimento de um pavimento de concreto de cimento Portland (Figura 31).

Figura 31 - Redução do ruído para os diferentes revestimentos (DGAC e AR-OGFC)



Fonte: (Adaptado de CARLSON, ZHU e XIAO, 2003)

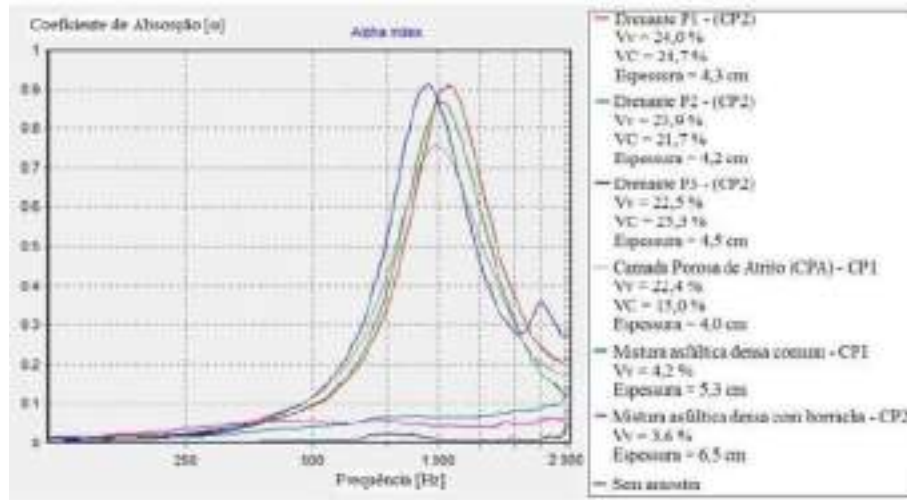
Assim, Carlson, Zhu e Xiao (2003) confeccionaram uma das suas misturas com uma mistura asfáltica convencional densa (DGAC) e outra com uma mistura de graduação aberta constituída de asfalto borracha (AR-OGFC), realizando medições de ruído antes da aplicação das camadas sobre o pavimento para determinar o nível de ruído. Após um mês da aplicação das camadas, retomaram a medição de ruído novamente,

conferindo um decréscimo de 4 dB na camada densa convencional nova e de 6 dB na camada com revestimento do tipo CPA observando, dessa forma, que ambas as camadas obtiveram redução significativa no nível de ruídos. Contudo, conforme a demonstração da Figura 3, ao término de 4 anos, a DGAC perdeu completamente a capacidade de redução de ruídos, mas a AR-OGFC manteve uma redução de 4 dB ao final de seis anos de acompanhamento.

Segundo estudos de Astrana Júnior (2006) com ensaios de absorção sonora realizados em concretos asfálticos drenantes e densos, utilizando a técnica do tubo de impedância aberto sobre a placa asfáltica drenante, conferiu-se a absorção sonora das misturas, determinando o coeficiente de absorção e observando, dessa forma, que as misturas drenantes obtiveram uma absorção sonora superior que as misturas convencionais. Contudo, pela análise da absorção sonora, os corpos de prova com tamanhos máximos de agregados iguais não apresentaram alterações de comportamento acústico para diferentes tipos de CAP nas misturas asfálticas. Assim, concluiu que a espessura da película que se forma em volta dos agregados não exerce influência na absorção sonora e que a variação do tamanho máximo dos agregados é um dos parâmetros importantes para a maximização da absorção sonora das camadas superficiais porosas investigadas.

Láo (2004) e Knabben (2012) realizaram ensaios de absorção sonora em seus estudos, com diferentes tipos de revestimento, utilizando o tubo de impedância, conferindo que os maiores coeficientes de absorção também foram encontrados nas misturas drenantes e camadas porosas de atrito (CPA), conforme Figura 32. Já para as misturas asfálticas densas encontraram os menores valores de absorção sonora (abaixo de 0,1).

Figura 32 - Curva de absorção sonora para diferentes tipos de revestimento (misturas drenantes com D_{máx} = 12,5mm)



Fonte: Adaptado de Knabben (2012)

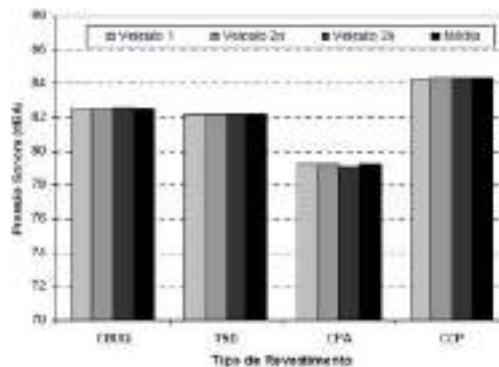
Specht et al. (2007), analisaram o ruído gerado em 4 diferentes pavimentos implantados em rodovias gaúchas pelo método Pass – By (ISO 11819-1) e obtiveram os resultados apresentados na Tabela 8 e na Figura 33.

Tabela 8 - Média da pressão sonora, em dB (A), medida para os diferentes revestimentos e veículos

Veículo (ISO 11819)	Revestimento			
	CCP	CBUQ	TSD	CPA
1 – carros	84,29	82,51	82,19	9,29
2a - veículos pesados com 2 eixos	84,33	82,52	82,18	9,27
2b - veículos pesados mais de 2	84,33	82,58	82,2	9,08

Fonte: (Adaptado de SPECHT, 2007)

Figura 33 - Média da pressão sonora medida para os diferentes revestimentos e veículos



Fonte: (Adaptado de SPECHT, 2007)

Os resultados refletem a importância das propriedades acústicas dos pavimentos, demonstrados a partir dos valores encontrados para cada tipo de revestimento. O Concreto de Cimento Portland apresentou 84,3 dB(A), sendo considerado o mais ruidoso, seguido de 82,5 dB(A) para o Concreto Asfáltico, 82,1 dB(A) para o Tratamento Superficial Duplo e 79,2 dB(A) para a CPA. A diferença mais expressiva encontrada foi entre a CPA e CCP, chegando a 5 dB(A), que representa 67% de perda na energia acústica.

Alves, Specht e Dresch (2016) relatam que cada vez mais, o ruído causado pelo tráfego rodoviário tem se tornado um quesito de preocupação em projetos de rodovias rurais e urbanas, e, com isso, os novos tipos de revestimentos como a CPA tem sido alvo de pesquisas para ajudar a solucionar esse problema. A partir de 363 medidas de NPS em 2 trechos diferentes da rodovia BR 158, os estudos através do cálculo do SPBI (*Statistical Pass-by Index*) conferiram a importância do tipo de pavimento sobre o ruído ambiental. É um índice bastante adequado para caracterização do ruído, uma vez que a média direta de medição dos valores não avalia a velocidade e a composição de tráfego de cada via. Dessa forma, como resultado, a CA foi o tipo de revestimento que apresentou os maiores valores de ruído (82,00 dBA) e a CPA apresentou menor valor (77,67dBA), registrando-se diferenças de valores entre revestimentos de 4,33 dB(A), demonstrando perda na energia acústica acima de 50%.

Conforme Teixeira (2015), atualmente, a poluição sonora é um dos principais impactos ambientais gerados pelas rodovias, fazendo países intensificarem suas pesquisas para atingir um padrão de qualidade ambiental aos seus pavimentos. O Japão, por exemplo, tem preocupação constante com o conforto acústico, pois é um país que possui uma população cada vez mais idosa; assim, adota os pavimentos porosos por possuírem propriedades acústicas que auxiliam na redução do ruído pneu/pavimento.

Ainda, Teixeira (2015) relata que os japoneses consideram o padrão de qualidade ambiental para seus pavimentos referente à poluição sonora de 70 dB durante o dia e à noite de 65dB, como medidas máximas toleráveis sem necessidade de intervenção. Órgãos da área de transporte japonês, em 2003, consideraram que o nível de poluição sonora dos pavimentos japoneses em rodovias arteriais não alcançava os padrões mínimos exigidos, procurando soluções para melhorar esse quadro. A partir de então, através de muitos estudos realizados para atender os quesitos segurança e conforto em suas rodovias, constataram que a técnica da CPA reduz os ruídos de 2dBs até 5dBs para caminhões e de 4 dBs até 7dBs para automóveis, em pavimento de referência com 13 mm de diâmetro máximo do agregado.

3.6.2.2 Propriedades hidráulicas

Conforme Guimarães *et al.* (2013), a lâmina d'água sobre o pavimento pode causar acidentes uma vez que provoca derrapagens em virtude da hidroplanagem e da viscoplanagem, prejudica a visibilidade pela névoa formada atrás dos veículos em movimento e pela reflexão luminosa durante a noite, além de acumular água nas deformações. Deste modo, para eliminar a lâmina d'água foi desenvolvida a mistura asfáltica drenante, trazendo bons resultados em muitos países.

Portanto, a CPA, desenvolvida para resolver aspectos relativos à segurança, também foi projetada tendo como objetivo principal a drenabilidade superficial da película de água sobre o pavimento, porque suas características permitem a passagem da água pelos vazios da mistura e, para uma correta análise das propriedades hidráulicas da mistura, deve-se inferir o processo em que os vazios estão distribuídos em seu interior.

Segundo o Projeto de Diretriz de Tecnologia de Pavimentação Drenante do Japão da Associação das Rodovias do Japão (1996 *apud* DUMKE, 2005), os vazios de uma mistura drenante podem ser classificados como vazios eficazes; semi-eficazes e ineficazes, ou seja, poros que contribuem para a passagem e armazenagem de água; poros que não contribuem para a passagem, mas permitem o armazenamento da água; poros que não contribuem para a passagem nem armazenamento da água, respectivamente.

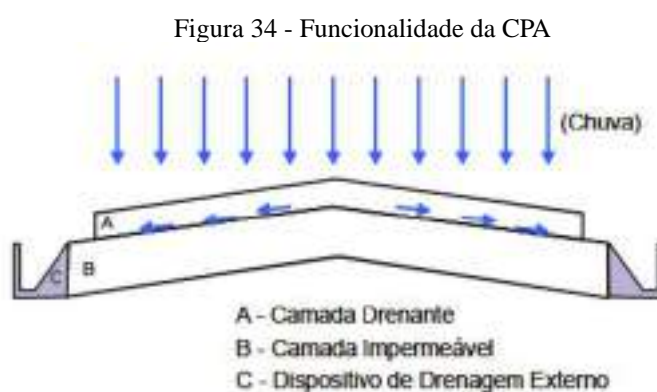
De acordo com o *Group National des Caractéristiques de Surface des Chaussées* (GNCSC, 1996 *apud* DUMKE, 2005), quando há o aumento da quantidade de poros eficazes ou vazios comunicantes na mistura, a água se infiltra verticalmente e se acumula junto à camada impermeável ao fundo, formando uma zona saturada, ocorrendo o escoamento lento transversal por percolação até o bordo, por causa do gradiente hidráulico, caso a drenagem na interface de saída for assegurada de forma devida.

Para Momm (1998), a drenabilidade de um pavimento é a capacidade de escoar a água superficial por entre suas rugosidades em função da macrotextura, dependendo da forma, tamanho e densidade dos granulares. O escoamento d'água acontece entre as rugosidades do pavimento sobre sua superfície que não é suficiente para inundar a rugosidade até recobrir todos os granulares; e sobre as rugosidades, quando a lâmina recobre toda a superfície.

Conforme Oliveira *et al.* (2003), há necessidade de um projeto adequado ao pavimento para que o revestimento poroso cumpra sua função e, para isso, é indispensável a existência de uma camada impermeável com um adequado declive transversal, com o

propósito de prevenir que a água atinja a sub-base ou que ocorra a sua estagnação no interior do revestimento poroso. Como a camada drenante encontra-se sobre a camada impermeável, permitindo o escoamento das águas pluviais pelos vazios comunicantes, a água escoar quando encontra a camada impermeável por causa das inclinações da via e dirige-se aos dispositivos de drenagem, onde é coletada, reduzindo ou até mesmo eliminando a formação da lâmina d'água sobre a superfície de rolamento, aumentando a segurança no trânsito em dias chuvosos.

A Figura 34 apresenta, de forma ilustrativa, o princípio de funcionamento dos pavimentos drenantes. Nas rodovias, o dispositivo de drenagem é substituído pelo acostamento.



Fonte: (ROSENO, 2005)

Momm (1998) destaca que o escoamento da água pluvial da superfície de um pavimento permeável dependerá da permeabilidade e dos vazios comunicantes. Meurer Filho (2001) ressalta que essa propriedade hidráulica reduz a possibilidade da formação da lâmina d'água na superfície da pista, promovendo melhorias no trânsito em relação à segurança nas condições chuvosas, como a redução da hidroplanagem, viscoplanagem e a inexistência da névoa formada pelas passagens de veículos.

Conforme Momm (2001) e o *Forum of European National Highway Research Laboratories* (FEHRL, 2006), as propriedades da CPA reduzem a espessura da lâmina d'água na superfície de rolamento; favorecem a redução do spray proveniente da água dos pneus dos veículos aumentando a distância de visibilidade; reduzem a reflexão da luz dos faróis noturnos e o espelhamento da superfície molhada por causa da drenagem da água superficial por seu interior, uma vez que o raio de luz dos faróis é refletido totalmente, impossibilitando o retorno de luz difusa em direção ao motorista. Confere-se, com isso, ganhos para a segurança, pois o motorista mantém a visibilidade necessária para manobrar

o veículo dentro dos limites da pista, contribuindo diretamente na redução do número de acidentes em dias de chuva.

Segundo Porto (1999), as diversas maneiras de se determinar a permeabilidade de um concreto asfáltico drenante, sejam na pista ou em laboratório, são baseadas na lei de Darcy, uma vez que o fluxo através da camada drenante pode ser considerado de regime laminar. De acordo com esta lei, a velocidade com que um dado volume de água atravessa uma seção transversal à direção do fluxo é diretamente proporcional ao gradiente hidráulico, sendo a constante de proporcionalidade ao coeficiente de permeabilidade do material.

Existem diversos procedimentos para a avaliação da permeabilidade, mas geralmente são realizados através de vários tipos de permeômetros, sendo os mais interessantes na avaliação do desempenho dos revestimentos drenantes os permeômetros de carga hidráulica variável e os de carga hidráulica constante.

Para Dumke (2005), o permeômetro de carga hidráulica variável funciona em regime transitório de escoamento, permitindo que certo volume de água escoe entre uma determinada área da superfície drenante. Já o permeômetro de carga hidráulica constante funciona através de equipamentos como: compressor de ar comprimido, bomba centrífuga e conjunto eletrônico, para medida do débito de água. Para ambos os aparelhos, a velocidade de percolação é diferente e o coeficiente de correlação entre eles depende da espessura e da porosidade da camada drenante.

Segundo Bolzán (2009), às vezes, fibras de celulose são adicionadas, objetivando incrementar a quantidade de ligante modificado e auxiliando a durabilidade da mistura asfáltica, sem escorrimento e segregação dos materiais. Mas, para isso, cabe à camada de revestimento ser capaz de drenar a água para coletores laterais localizados fora do pavimento; então, a camada sob a qual se apoia a camada drenante, além de impermeável, precisa ter o declínio necessário.

Em seus estudos, Dumke (2005) objetivou verificar o efeito da adição de fibras de celulose e da modificação por polímeros Eastman EE-2 por borracha moída de pneus em misturas de concreto asfáltico drenante, otimizando a permeabilidade, uma vez que é sua principal função. Observou que todas as misturas obtiveram valores aproximados nos resultados de permeabilidade, com exceção da mistura com asfalto borracha, e conferiu que aumentando o teor de ligante, o índice de vazios na mistura decresce, bem como sua permeabilidade. Sendo a permeabilidade medida na direção vertical, seus valores na mistura em asfalto borracha são sensivelmente mais baixos, podendo estar relacionados ao

provável escorrimento do ligante para a camada inferior, durante o período de repouso dos corpos de prova. Realizando uma comparação entre as granulometrias G2 ($D_{m\acute{a}x}=12,50\text{mm}$) e G1 ($D_{m\acute{a}x}=9,50\text{mm}$), observou valores de permeabilidade maiores na segunda pelo aumento de vazios intergranulares nas misturas e o aumento do tamanho máximo do agregado. Nesta mesma granulometria, obteve uma relação equivalente de permeabilidade nos resultados entre as misturas com fibras de celulose, as modificadas por polímeros Eastman EE-2 e para as misturas sem modificadores.

Ainda, Guimarães et al. (2013) analisaram as propriedades hidráulicas quanto à permeabilidade dos concretos asfálticos drenantes modificados pela adição de 4% de polímero SBS e 20% de borracha reciclada de pneus, utilizando o CAP 30/45, com a intenção de obter misturas mais resistentes ao elevado tráfego. Dessa forma, obtiveram velocidade de escoamento acima de 0,60 cm/s em todas as placas ensaiadas das misturas, atendendo à condição de serem permeáveis. Após o ensaio, constatou-se que as placas de polímero SBS obtiveram velocidade média de escoamento igual a 2,0 cm/s e a das placas de asfalto borracha igual a 0,68 cm/s, conferindo maior permeabilidade às placas de asfalto borracha.

Porto (1999) relata que a colmatção dos poros é um dos problemas que prejudicam a permeabilidade de revestimentos porosos. Estudos realizados por cinco anos e meio em um pavimento com CPA executado na Rodovia dos Bandeirantes demonstraram a ocorrência da redução por cerca de 50% do valor inicial da permeabilidade.

Por sua vez, Campos (1998) realizou ensaios de permeabilidade retirando amostras após a construção e após transcorridos 1, 2 e 5 anos, observando resultados de perda de 60% da permeabilidade inicial para uma idade de 5 anos.

Ruiz et al. (1990 *apud* ASTRANA JÚNIOR, 2006), concluíram, em estudos, que o rápido decréscimo da permeabilidade das misturas porosas com índices de vazios menores do que 20% dependiam das condições da área e do tipo de tráfego, observando que, quanto mais fechadas eram as misturas e maior era o volume de tráfego, menor era o tempo de colmatção da camada drenante.

Meurer Filho (2001) afirma que a utilização de uma camada porosa de granulometria menor sobre a camada drenante com a principal finalidade de reter as impurezas na superfície facilitando sua remoção numa operação posterior é uma maneira de se combater os efeitos prejudiciais da colmatção.

Teixeira (2015) refere que após quatro anos de uso do pavimento poroso,

estudos no Japão demonstraram sofrer uma elevada colmatção nos poros do revestimento devido aos materiais particulados provenientes do tráfego. Para sanar esse problema, utilizam o procedimento de pulverizar as vias com água em alta pressão e com equipamentos especializados que se movimentam a 20 km/h, praticamente todas as semanas, por considerar essa metodologia mais econômica e porque aumenta a vida útil do pavimento.

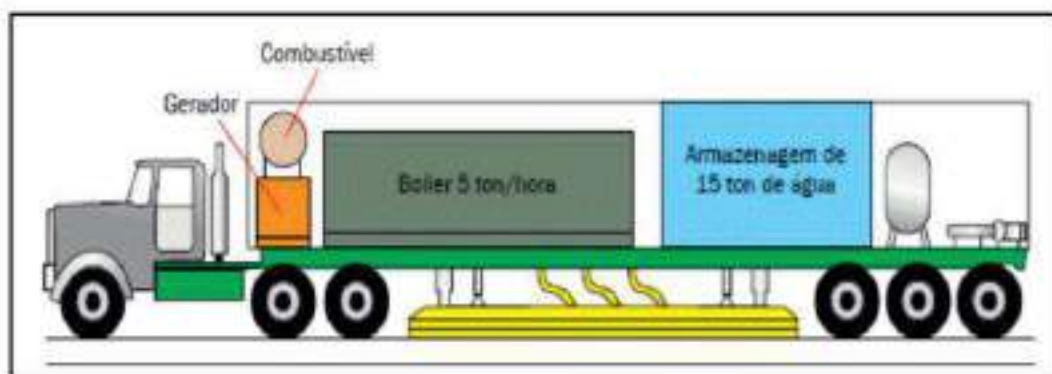
3.8 DESVANTAGENS DA CPA

A principal desvantagem da CPA é a colmatção dos poros, a qual tende a ocorrer com o passar dos anos da aplicação desse pavimento, reduzindo a capacidade de drenagem e dos ruídos. Outra desvantagem é seu preço que pode ser até 40% superior ao de um pavimento convencional (OLIVEIRA, 2003; DUMKE, 2005).

A colmatção depende, basicamente, da intensidade da poluição, tamanho e estrutura dos vazios, da declividade da camada densa e da velocidade e efeito limpante do tráfego. Essa, portanto, é maior em acostamentos do que nas faixas da via, principalmente porque não ocorre o efeito natural limpante do pneu sobre o pavimento. A fim de se evitar esta situação pode-se revestir os acostamentos com camada impermeável (DUMKE, 2005).

Atualmente, já existem equipamentos que permitem a limpeza desse pavimento. As máquinas (Figura 35) permitem a limpeza por meio da desobstrução dos vazios por jatos de água de pressão de 120 a 200 kg/cm² e posterior aspiração (FARAH, 2009).

Figura 35 - Máquina de Limpeza com Capacidade de 550 m²/hora e Ciclo de Tempo de 3 minutos



Fonte: Farah (2009)

A limpeza do pavimento asfáltico drenante tem mostrado considerável redução na perda da permeabilidade desse revestimento, podendo ser recuperada no primeiro ano cerca

de 50% e, já no segundo ano, até 70%. Um estudo realizado na Espanha em rodovias ilustra bem a importância da limpeza do pavimento (Figura 36). A manutenção deve ocorrer periodicamente, sendo recomendado uma vez ao ano (DUMKE, 2005).

Figura 36 - Estudo realizado nas Rodovias Espanholas mostrando a Evolução da Colmatação entre Pavimentos



Fonte: Dumke (2005)

4 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados neste trabalho para a obtenção dos dados necessários à avaliação funcional da Av. Senador Virgílio Távora, localizada no bairro Aldeota na cidade de Fortaleza – CE. É apresentada também uma descrição da via em estudo, bem como o processo de escolha.

4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Esta pesquisa procedeu-se por meio de um estudo de caso baseado no diagnóstico dos defeitos presentes no pavimento asfáltico da Avenida Virgílio Távora com posterior classificação de sua serventia funcional. Stake (2005) descreve três modalidades de estudo de caso: intrínseco, instrumental e coletivo. A pesquisa em questão enquadra-se no tipo intrínseco, pois, conforme a sua definição, o caso constitui o próprio objeto da pesquisa.

De acordo com sua natureza, essa pesquisa foi classificada como aplicada, uma vez que objetivou gerar conhecimentos para aplicação prática. Portanto, quanto aos objetivos, a pesquisa possui caráter exploratório e descritivo, dado a predominância de levantamento

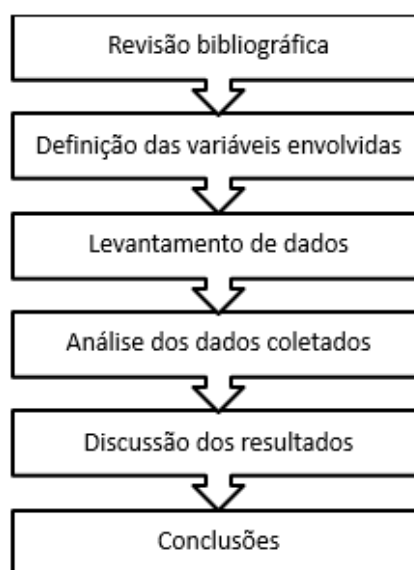
bibliográfico, pesquisa de campo, técnicas de observação sistemática para a determinação e quantificação de defeitos de pavimentos, coleta e análise de dados.

Quanto à abordagem, esta pesquisa pode ser delimitada em quanti-qualitativa. Trabalhou-se com a pesquisa qualitativa, analisando os resultados dos dados coletados e das observações realizadas para aprimorar o projeto desenvolvido, procurando atender aos objetivos propostos. Por sua vez, na pesquisa quantitativa, buscou-se expressar as relações entre variáveis, procurando identificar os elementos constituintes do objeto estudado, estabelecendo a estrutura e a evolução das relações entre os elementos.

4.2 DELINEAMENTO

Na Figura 37, o delineamento do presente estudo é apresentado e os passos para o desenvolvimento deste trabalho. A partir do contexto e existência de um problema que requer investigação pura e aplicada, iniciou-se com a formulação de uma questão de pesquisa, tal como objetivos para respondê-la. Como todo estudo de caso exige vasto conhecimento teórico, a pesquisa bibliográfica teve início desde a definição do tema e se estendeu até o final do trabalho. Foram pesquisadas diversas literaturas, abrangendo conceitos da pavimentação e suas subclassificações, a composição e a função das camadas, a nomenclatura de defeitos, bem como suas causas e consequências, e os métodos de avaliação funcional de pavimento.

Figura 37 - Delineamento da pesquisa realizada



Fonte: Autora (2021)

Posteriormente definiu-se a Avenida Virgílio Távora como objeto de estudo deste trabalho. Na sequência, após análise crítica dos sistemas de avaliação explanados na etapa de pesquisa bibliográfica foi definido o método da avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semiflexíveis preconizados pela norma DNIT-PRO 006/2003.

O levantamento de dados foi realizado na área de estudo em dias alternados e foi baseado no diagnóstico de defeitos encontrados no pavimento existente. Finalizada esta etapa, os dados foram analisados e compilados com a utilização de planilhas eletrônicas para a melhor compreensão dos resultados.

Ao final, os resultados foram elencados e discutidos, apontando para a avaliação da serventia do pavimento. A conclusão apresenta os resultados obtidos com o auxílio em processos de monitoramento das vias da cidade.

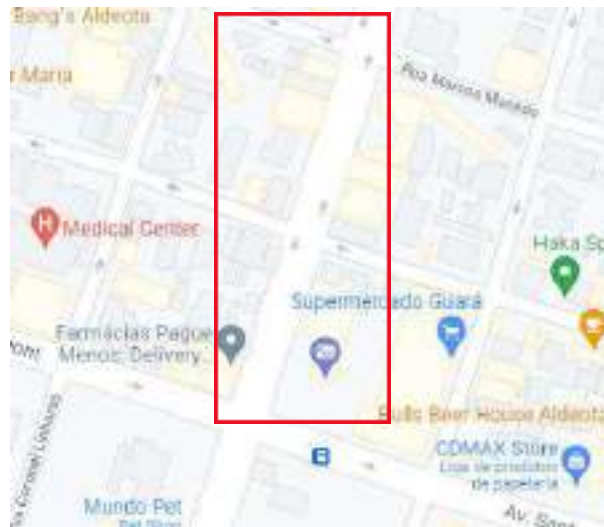
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

4.3.1 Definição da Via

A via analisada corresponde a Avenida Virgílio Távora, conforme demarcação no mapa da Figura 38. Ela foi escolhida para este estudo devido à sua importância à capital Fortaleza, uma vez que é rota de acesso à área Norte e Sul da cidade e, como caráter técnico, devido ao seu alto Volume Médio Diário (VMD) de tráfego em função de sua posição geográfica dentro da cidade.

Para fins deste trabalho, a avaliação foi realizada no trecho entre a Av. Santos Dumont e Rua Marcos Macedo, com aproximadamente 200m de extensão, nos dois sentidos de tráfego da pista de rolamento. Para tanto, convencionou-se o sentido A para o deslocamento Rua Marcos Macedo e sentido B para o deslocamento Avenida Santos Dumont.

Figura 38- Área de estudo - Avenida Virgílio Távora

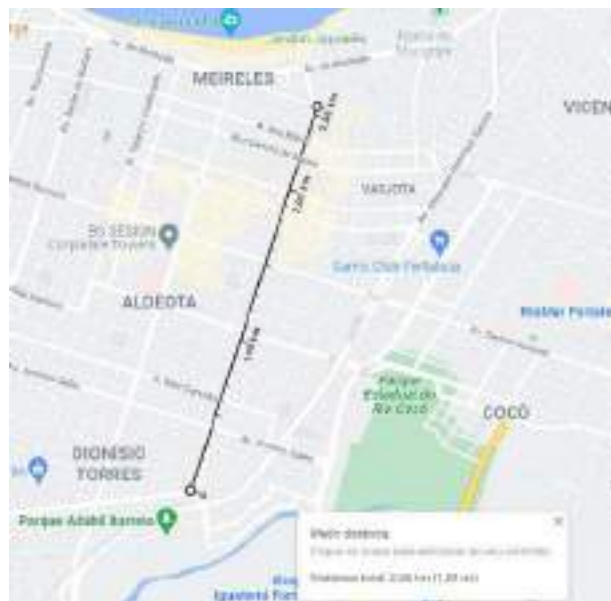


Fonte: Google Maps (2021)

4.3.2 Localização e Classificação

A avenida Virgílio Távora localiza-se na região norte de Fortaleza e está situada a cerca de 4,1km do centro da cidade. Tem início no cruzamento com a avenida Antônio Justa, nas coordenadas geográficas $40^{\circ} 45' 36.000''$ N e $73^{\circ} 59' 2.400''$ W, se estende até o cruzamento com a avenida Pontes Vieira, nas coordenadas geográficas $3^{\circ} 45' 2.662''$ S e $38^{\circ} 29' 51.369''$ W. Na Figura 39 pode-se observar o mapa de localização e extensão da Av. Virgílio Távora.

Figura 39 – Extensão da Avenida Virgílio Távora



Fonte: Google Maps (2021)

Conforme a classificação de logradouros em corredores urbanos de Fortaleza estabelecida pela Lei Municipal nº 7987/1996 que dispõe sobre o uso e a ocupação do solo no município de Fortaleza, e adota outras providências, a avenida é qualificada como Corredor de Tráfego. De acordo com a categoria funcional, suas particularidades permitem classificá-la em via arterial primária, uma vez que canaliza o tráfego oriundo de vários bairros locais para a região Sul e à espaços comerciais. Tais características tornam a avenida densa em fluxo viário, sendo utilizada majoritariamente por veículos de passeio e de transporte coletivo.

4.3.3 Características do Pavimento

Para análise do pavimento estudado na pesquisa, foi necessário conhecer e caracterizar o revestimento em questão. Buscou-se, além disso, investigar a frequência dos procedimentos de manutenção realizados atualmente na via urbana, sob jurisdição municipal.

Em pesquisa realizada com a empresa Insttale Engenharia, empresa responsável pelo revestimento da avenida em estudo, foi levantado que as avenidas Senador Virgílio Távora, Desembargador Moreira, Santos Dumont, Raul Barbosa ao longo da sua faixa alargada, Desembargador Lauro Nogueira, Dom Luís e Abolição foram as avenidas que sofreram intervenção ao longo dos últimos anos.

Segundo Gurjão (2020), a Av. Senador Virgílio Távora tem o revestimento do tipo CPA por toda sua extensão de cerca de 2,5 km, esta obra ocorreu em julho de 2018. Esta avenida possui duas faixas em cada sentido de tráfego e um canteiro central.

4.3.4 Avaliação Funcional do Pavimento

O método empregado no presente estudo para a obtenção dos objetivos propostos foi a Avaliação Objetiva de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos, preconizado pela norma do DNIT (2003b), que consiste em um levantamento sistemático de defeitos e atribuições de pesos para cada tipo de defeito identificado, o que gera, ao final, o Índice de Gravidade Global (IGG). A escolha do procedimento justifica-se pela ausência de subjetividade na avaliação do pavimento, o que não é observado em outras normas do DNIT.

4.3.5. Levantamento de Dados

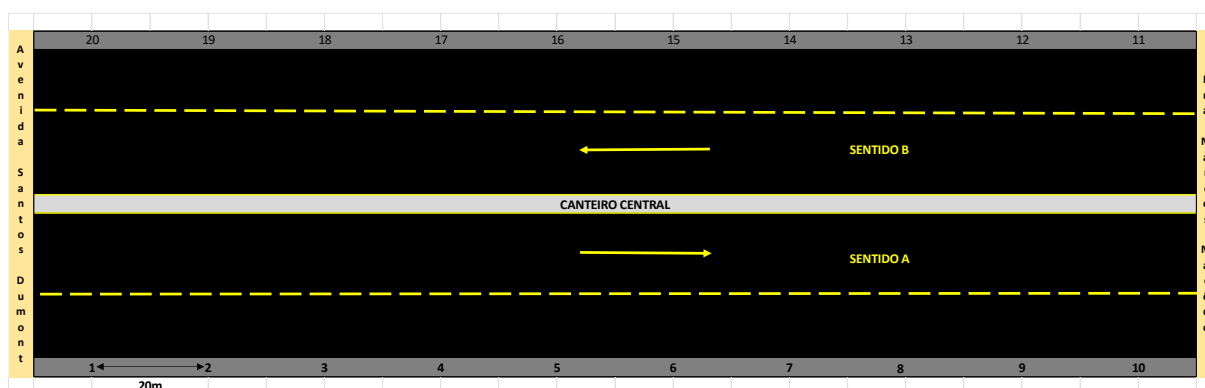
O levantamento de dados foi realizado em uma etapa que ocorreu no dia 11 de dezembro de 2021, com análise do trecho da via no sentido A e no sentido B. Para o cumprimento das instruções contidas na norma do DNIT (2003b) foi necessária a utilização dos seguintes materiais:

- Trena de 100m e giz;
- Caneta;
- Inventário de ocorrências de defeitos (no apêndice A).

O levantamento teve início com o reconhecimento geral da geometria da avenida. Para a coleta de dados para o método do IGG, a pista foi percorrida a pé. Na sequência, realizou-se o estaqueamento e demarcação das superfícies de avaliação do trecho em análise com o auxílio de trena e giz de acordo com as diretrizes do DNIT (2003b).

No caso de vias em pista dupla, as estacas devem ser demarcadas de 20 em 20 m, na faixa mais solicitada da pista, enquanto a área é delimitada por uma seção transversal 3 m à ré da estaca, uma seção transversal 3 m avante da estaca e pelo eixo de separação das faixas interna e externa. Dessa forma, a extensão analisada totalizou 400m. A Figura 40 demonstra um exemplo de demarcação de áreas para inventário dos defeitos.

Figura 40 - Exemplo de demarcação da superfície para avaliação



Fonte: Autora (2022)

Foram demarcadas as estações 1 a 10 no sentido A, o que corresponde à extensão de 200m e as estações 11 a 20 no sentido B, obtendo mais 200m de análise. Ao final, 20 estações foram totalizadas em 200m de avaliação.

Para identificação dos defeitos, deve-se adotar a definição e codificação da norma

DNIT 005/2003-TER, anotando as ocorrências observadas no Formulário de Inventário (ver Anexo A) e calculando o valor do IGG pela planilha de cálculo (ver Anexo B), ambos disponibilizados pela norma DNIT 006/2003-PRO. Também deve ser anotado o tipo de seção de terraplenagem em que a estação se encontra.

Após a retenção das informações feitas em campo, é necessário realizar um estudo prévio, de forma a separar a via em trechos que possuam patologias ou características semelhantes (BERNUCCI et al,2008). É importante frisar que o conhecimento prévio e minucioso dos defeitos existentes em pavimentos flexíveis, conforme apresentados na norma do DNIT (2003a) e elencados no inventário do estado da superfície dos pavimentos da norma DNIT (2003b), foi de suma importância para identificação e análise correta de cada um dos defeitos analisados nessa etapa.

4.3.6. Método de Cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG)

O índice de Gravidade Global foi calculado para cada segmento homogêneo a fim de explanar a condição do pavimento. Iniciou-se com a contagem da frequência absoluta de cada ocorrência, com posterior obtenção da frequência relativa.

De posse do formulário devidamente preenchido em campo, dá-se início ao cálculo do IGG. Para efeito de cálculo, deve-se considerar os seguintes tipos de ocorrência:

- Tipo 1 – Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR);
- Tipo 2 – FC-2 (J e TB);
- Tipo 3 – FC-3 (JE e TBE);
- Tipo 4 – ALP e ATP;
- Tipo 5 – O, P e E;
- Tipo 6 – EX;
- Tipo 7 – D;
- Tipo 8 – R.

4.3.6.1.Frequências Absolutas e Relativas

Frequência absoluta é o número de vezes que a ocorrência foi observada, e através deste valor obtêm-se a frequência relativa pela Equação 6.

(6)

$$f_r = \frac{f_a \times 100}{n}$$

Onde:

f_r = frequência relativa;

f_a = frequência absoluta;

n = número de estações inventariadas.

4.3.6.2. Parâmetros para as Flechas Medidas

Deve-se calcular a média aritmética da média das flechas na trilha externa e da média das flechas na trilha interna do segmento, e a média da variância das flechas na trilha externa e da variância das flechas na trilha interna do segmento, através das Equações a seguir.

(7)

$$FRI = \frac{\sum FRI_i}{n}$$

(8)

$$FRE = \frac{\sum FRE_i}{n}$$

(9)

$$F = \frac{FRE + FRI}{2}$$

Onde:

FRI_i = flecha individual da trilha interna do segmento;

FRE_i = flecha individual da trilha externa do segmento;

FRI = média das flechas da trilha interna do segmento;

FRE = média das flechas da trilha externa do segmento;

F = média aritmética da média das flechas da trilha externa e da média das flechas na trilha interna do segmento;

n = número de estações inventariadas.

4.3.6.3.Cálculo da média da variância

$$FRI_v^2 = \frac{\sum(FRI_i - FRI)^2}{n-1} \quad (10)$$

$$FRE_v^2 = \frac{\sum(FRE_i - FRE)^2}{n-1} \quad (11)$$

$$FV = \frac{FRI_v^2 + FRE_v^2}{2} \quad (12)$$

Onde:

FRI_i = flecha individual da trilha interna do segmento;

FRE_i = flecha individual da trilha externa do segmento;

FRI = média das flechas da trilha interna do segmento;

FRE = média das flechas da trilha externa do segmento;

FRI_v^2 = variância das flechas medidas na trilha interna do segmento;

FRE_v^2 = variância das flechas medidas na trilha externa do segmento;

FV = média da variância das flechas na trilha externa e da variância das flechas na trilha interna do segmento;

n = número de estações inventariadas.

4.3.6.4.Índice de Gravidade Individual (IGI)

O cálculo do IGI deve ser realizado consultando-se os fatores de ponderação (Tabela 2) de cada uma das ocorrências inventariadas, através da Equação 13.

$$IGI = f_r \times f_p \quad (13)$$

Onde:

f_r = frequência relativa;

f_p = fator de ponderação;

Para o cálculo de IGI devido a F e FV deve-se considerar:

Quando $F \leq 30$, $IGI_F = F \times \frac{4}{3}$; Quando $F > 30$, $IGI_F = 40$

Quando $FV \leq 50$, $IGI_{FV} = FV$; Quando $FV > 50$, $IGI_{FV} = 50$

4.3.6.5. Índice de Gravidade Global

De posse de todos os valores de IGI referentes às ocorrências inventariadas no pavimento, calcula-se o valor de IGG, que é a somatória de todos os valores de IGI obtidos. (Equação 14).

(14)

$$IGG = \sum IGI$$

Com o valor de IGG obtido, é possível a atribuição de um conceito de degradação ao pavimento consultando-se a Tabela 3, conforme a norma do DNIT.

5 RESULTADO E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados e as análises realizadas na pesquisa. O principal enfoque de resultados constituiu no levantamento de dados referentes às condições da superfície do pavimento. Após o levantamento, os dados foram tabulados e, posteriormente, foi calculado o IGG para as estações avaliadas.

Após uma prévia inspeção detalhada, constatou-se que a rua em estudo não apresenta flechas nas trilhas de roda interna e externa em todas as faixas, em ambos os sentidos. Nas estações de estudo foram encontrados diversos tipos de manifestações patológicas, destacando-se a presença de desgaste, como por exemplo na Figura 41, em algumas estações inventariadas nas duas pistas.

Figura 41 - Levantamento dos Defeitos, Desgastes



Fonte: (Autora)

Notou-se a presença de remendos, Figura 44, com ocorrência em 3 estações no sentido A e em 4 estações no sentido B. Também foi identificada a ocorrência de fissuras, Figura 42, em algumas estações nas duas pistas. Defeitos como escorregamento, como exemplo na Figura 43, ondulações e panelas foram observadas em ambos os sentidos.

Figura 42 - Levantamento dos Defeitos, Fissuras



Fonte: (Autora)

Figura 43 - Levantamento dos Defeitos, Escorregamento



Fonte: (Autora)

Figura 44 - Levantamento dos Defeitos, Remendos



Fonte: (Autora)

Defeitos como ondulações, remendos e desgaste afetam diretamente o conforto e a segurança do usuário ao trafegar sobre a via, pois aumentam a irregularidade da superfície do pavimento. A ocorrência de panelas configura um dos estágios mais avançados de defeito no pavimento, e caso não sejam reparadas, permitem a infiltração de grande quantidade de água na estrutura do pavimento, além de ter grande impacto no rolamento sobre a via. Trincas

também permitem a infiltração de água na estrutura do pavimento, dependendo de sua profundidade, e devido a isso deve ser feita a selagem delas. Estes defeitos estão diretamente relacionados à má execução, ação do tráfego e drenagem de água na superfície do pavimento.

Figura 45 - Levantamento dos defeitos, Painelas



Fonte: (Autora)

Analisando-se separadamente as pistas de rolamento, foram obtidos valores diferentes de IGG para cada uma delas. O sentido A apresenta IGG igual a 111 com classificação “Ruim”, enquanto o sentido B apresenta IGG igual a 114 e classificação “Ruim”, de acordo com o critério do DNIT. Os defeitos descritos foram determinantes no cálculo do valor do IGG em ambas as pistas por possuírem os maiores valores de IGI, como se pode observar nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Cálculo do IGG no sentido A

SENTIDO A					
TIPO	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA (fa)	FREQUÊNCIA RELATIVA (fr)	FATOR DE PONDERAÇÃO (fp)	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL (IGI)
1	FC – 1 (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	10	100	0,2	20
2	FC – 2 (J e TB)	0	0	0,5	0
3	FC – 3 (JE e TBE)	0	0	0,8	0
4	ALP e ATP	3	30	0,9	27
5	O, P, E	4	40	1	40
6	EX	0	0	0,5	0
7	D	2	20	0,3	6
8	R	3	30	0,6	18
NÚMERO DE ESTAÇÕES		10	IGG		111

Fonte: (Autora)

Tabela 10 - Cálculo do IGG no sentido B

SENTIDO B					
TIPO	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA (fa)	FREQUÊNCIA RELATIVA (fr)	FATOR DE PONDERAÇÃO (fp)	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL (IGI)
1	FC – 1 (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	8	80	0,2	16
2	FC – 2 (J e TB)	0	0	0,5	0
3	FC – 3 (JE e TBE)	0	0	0,8	0
4	ALP e ATP	5	50	0,9	45
5	O, P, E	2	20	1	20
6	EX	0	0	0,5	0
7	D	3	30	0,3	9
8	R	4	40	0,6	24
NÚMERO DE ESTAÇÕES		10	IGG		114

Fonte: (Autora)

5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com os números obtidos, o IGG do trecho no sentido A foi 111 e no sentido B foi de 114, classificando-a como ruim em ambos os sentidos, afirmando assim que a via necessita de reparos para um melhor conforto na sua utilização.

Os defeitos que mais apareceram na análise, são os de índice de ponderação maior no cálculo dos índices, que são as fissuras, ondulações e afundamentos, sendo que em alguns casos de painéis, a estrutura da via já estaria sendo exposta, necessitando até de reparos na estrutura da via, nesse caso. O remendo que a via possui também é mal executado, resultando até em um afundamento no local do remendo. Os bueiros presentes na via, estão afundados, devido ao recapeamento executado de forma irregular, sem o devido nivelamento do bueiro com o novo asfalto, além de os meios fios estarem de forma irregular também, sem o devido nivelamento com a calçada, apresentando o defeito de escorregamento do revestimento betuminoso.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo será abordado a conclusão do estudo em questão e sugestões para trabalhos futuros.

6.1 CONCLUSÕES

O estudo foi realizado com o objetivo de fazer a análise funcional de um determinado trecho que já possui pavimento do tipo CPA a um determinado tempo, a avenida Virgílio Távora, uma via classificada como arterial. Através do levantamento dos defeitos, constatou-se um grau de deterioração mais elevado no sentido B, no trecho analisado. A via analisada possui uma alta frequência de rodagem, é uma via tráfego intenso, é usada por veículos de grande e médio porte.

O trecho foi analisado de acordo com o método IGG por ser mais bem adequado quando se deseja um diagnóstico mais imediato e apesar de ele estudar apenas a camada superficial do pavimento, considerando somente os tipos dos defeitos e a frequência com que eles ocorrem, é um procedimento para ser melhor empregado quando se necessita de uma avaliação aparente e geral. É um método mais fácil de aplicar, avaliar e permitir uma tomada de decisão rápida por parte dos órgãos responsáveis.

Vale ressaltar que mesmo o método sendo classificado como de fácil aplicabilidade e não exigir altos custos para sua realização, requer um determinado tempo e mão de obra para ser executado. Outro aspecto negativo vinculado ao IGG é que o método não considera a dimensão e o nível de severidade dos defeitos, com exceção das trincas.

Com isso a norma DNIT 006/03 demonstrou ser uma ferramenta bastante viável para aplicação do estudo em patologias de pavimentos flexíveis. O trecho mencionado possui locais que necessitam de intervenções e atualmente existem problemas de patologias em seu pavimento, que ao longo do tempo, ocasionam danos ao tráfego da via. Seria de grande relevância se as avaliações superficiais, de uma forma geral, fossem realizadas anualmente alimentando uma base de dados para que, assim, fosse possível ter uma gerência de pavimento eficiente.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se que um número maior de seções seja inventariado, visando uma avaliação de um número maior de seções. A aleatoriedade na escolha das seções, somada a um baixo número de seções inventariadas feitas neste trabalho pode ter acarretado um diagnóstico não tão preciso sobre a real situação da via. Recomenda-se, ainda, a análise das patologias quanto à severidade e as consequências geradas, tais como: falta de segurança e as condições de trafegabilidade.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E., & GOLDENFUM, J. A. (2000). Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. *RBRH - Rev Bras de Recursos Hídricos*, 5(3), pp. 21-29.
- ASTRANA JÚNIOR, C. A. L., Estudo da absorção sonora e permeabilidade em concretos asfálticos drenantes. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.
- BALBO, J. T. (2007). Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e reestruturação. São Paulo: Oficina de Textos.
- BENEDETTO, A., & UMILIACO, A. (2014). Evolution of Hydraulic Permeability of OpenGraded Asphalt Mixes Using a Full Nomerical Simulation. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26, pp. 599-606.
- BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA Laura M. G.; CERATTI Jorge A. P.; et al. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros, V.1. Ed. Imprinta Express Gráfica, 3ª edição, Rio de Janeiro, 2010.
- BERGLUND, B.; et al. Guidelines for community noise. London, United Kingdom. 1999.
- BISTAFA, S. R. Acústica aplicada ao controle do ruído. 1 ed. São Paulo: Ed. Blucher, 2006.
- CAVA, F. H; PEIXOTO, C.F; “Análise da Relevância de Pavimentos Drenantes como Auxiliar na Minimização de Enchentes “. São Bernado do Campo, 2017.
- CARLSON, D. D.; ZHU, H.; XIAO, C. Analysis of traffic noise before and after paving with asphalt-rubber. *Asphalt Rubber 2003. Proceedings*, Brasília, Brasil: 413-428, 2003.
- COOLEY, L. A.; BROWN JR., E. R.; WATSON, D. E. Evaluation of open-graded friction course mixtures containing cellulose fibers. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n. 1723, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000, pp. 19–25.
- DANIELESKI, M. Proposta de metodologia para avaliação superficial de pavimentos urbanos: aplicação à rede viária de Porto Alegre. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- DNER. ME 138/94: determinação da resistência à tração por compressão diametral de misturas betuminosas. Rio de Janeiro: IPR, 1994.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. Glossário de Termos Técnicos Rodoviários. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2017.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. Manual de Pavimentação Rodoviária. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. Pavimentos flexíveis –

Concreto asfáltico – Especificações de serviço – Norma DNIT 031/2006–ES. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2006.

FERREIRA, J. M. (2007). Pavimentos em espaços públicos urbanos: Contribuição para a análise e concepção de soluções. Tese: Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Território, 1-85. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

DUMKE, M. P. (2005). Dissertação. Concreto Asfáltico Drenante com Fibras de Celulose, Ligante Modificado por Polímero e Asfalto-borracha, 1-104.

FARAH, H. (jul/agosto de 2009). Camada Porosa de Atrito (CPA). Asfalto em Revista, 13-16
FERNANDES, J. C. O ruído ambiental: seus efeitos e seu controle. Faculdade de Engenharia Mecânica da UNESP. Campus de Bauru, São Paulo, 2002.

FERNANDES, E.S.; DOMINGUES, F.A.A. Considerações sobre a micro e a macrotextura de pavimentos. 27ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPV, São Paulo, SP, 1993, 1: 98-119.

FERREIRA, P. N; MARCON, A. F.; MOMM, L. Avaliação da macrotextura de trechos pavimentados de rodovias estaduais situadas na região insular do município de Florianópolis.

ABPV, Campinas. 34ª Reunião Anual de Pavimentação, vol. 2, 2003, p. 552-572.

FONSECA, P. Misturas betuminosas drenantes: a experiência portuguesa. 3º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, Belo Horizonte/MG, 1998.

FRANCISCO, Ana Paula Santos. Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis. 132 p. 2012. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil – Especialização em engenharia da construção) – Escola Superior de Tecnologia e de Gestão Instituto Politécnico de Bragança, Bragança. Disponível em:

https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/8011/1/Ana%20Francisco_MEC_2012.pdf. Acesso em: 08/05/2021.

https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/resumo_de_imprensa.pdf
<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/gerencial.pdf>

GUIMARÃES, J. M. F.; et al. Desagregação e permeabilidade de concretos asfálticos drenantes com ligantes modificados. IAG279-01-2013. Programación de Trabajos Técnicos XVII Cila 2013, Casa Santo Domingo, Antigua Guatemala, Lunes, 18 de noviembre de 2013.

HOMEM, T. da R. Comportamento de misturas asfálticas porosas com ligantes modificados por polímeros e adição de fibras. Dissertação de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

MALLICK, R. B., et al. Design, construction, and performance of new-generation of open-graded friction courses. Engineering Properties of Asphalt Mixtures and the Relationship to their Performance. National Center for Asphalt Technology. Auburn University. NCAT Report no 2000-1, 2000.

MARTINS, M. M. de A. Contribuição para o estudo da atenuação seletiva do ruído de tráfego rodoviário. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

MATTOS, J. R. G. Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290/RS. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2009.

MEURER FILHO, E. Estudos de granulometria para concretos asfálticos drenantes. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC: UFSC, 2001.

MELLO, José Carlos. A Evolução do Transporte Rodoviário. Apostila da Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, 2004. Disponível em: < <https://docslide.com.br/documents/a-evolucao-do-transporte-rodoviario.html> >. Acesso em 29/04/2021.

ODA, S. Notas de aula de Pavimentação A, cursada na Universidade Federal do Rio de Janeiro no segundo semestre de 2016.

OLIVEIRA, C. G. (2003). Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante, 1-87.

Prefeitura de Fortaleza. Secretaria Municipal da Infraestrutura. Prefeitura de Fortaleza realiza obras de recapeamento asfáltico na Av. Senador Virgílio Távora. 2018. Disponível em: <<https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-realiza-obras-de-recapamento-asfaltico-na-av-senador-irgilio-tavora>>. Acesso em: 24 jun. 2021.

PINTO, Salomão; PREUSSLER, Ernesto. Pavimentação Rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. 2a ed., Rio de Janeiro: Copiarte Copiadora e Artes Gráficas Ltda, 2002.

REBOUÇAS, E.S., Comportamento de misturas asfálticas do estado de Roraima fabricados com basaltos e diferentes tipos de filer, UFRR, Boa vista/Roraima, 2011.

REIS, R. M. M. de. Investigação de campo e laboratório sobre revestimento asfáltico ultra delgado. Tese de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS: UFRGS, 2012.

ROSENO, J. L. Avaliação de uma mistura asfáltica porosa com agregados calcários e asfalto-borracha. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

SALES, T. L. (2008). Pavimento Permeável com Superfície em Blocos de Concreto de Alta Porosidade. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, 1-3.

SENÇO, W. Manual de técnicas de pavimentação. 2. Ed. São Paulo: PINI, 2007.

SANTOS, A. P. S. Estudo da eficácia na redução do ruído de tráfego em pavimentos drenantes. Dissertação de Mestrado. Portugal: Universidade do Minho, 2007.

SOUZA, L. C. L. de; ALMEIDA, M. G. de; BRAGANÇA, L. Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura. 4. reimp. São Carlos: EDUFSCar, 2012.

SPECHT, L. P. Avaliação de Misturas Asfálticas com Incorporação de Borracha Reciclada de Pneus. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2004.

SPECHT, L. P., et al. Avaliação do ruído causado pelo tráfego de veículos em diferentes rodovias. In: Anais do XXI Anpet. Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, Marcelo C. Avaliação funcional e estrutural das vias asfaltadas do campus da UFV. 111 p. Dissertação de Pós-Graduação (Engenharia Civil-Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006. Disponível em:
<http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/3810>. Acesso em: 10/04/2021

SOUZA, C. F., CRUZ, M. A., & TUCCI, C. E. (2012). Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. RBRH - Rev Bras de Recursos Hídricos, 17(2), 9-18.

STAKE, R. E. Case studies. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S (Ed.). Handbook of Quantitative Research. Thousand Oaks: Sage Publications, 2005. Cap. 17.

TEIXEIRA, L. H. Asfalto poroso no Japão. OCT Brasil 2015. Evento organizado por IBP e OTC. Asfalto em Revista. Ano VI, n. 40, publicação bimestral. Rio de Janeiro, 27-29 Outubro, 2015.

**ANEXO A – MODELO DE PLANILHA DE INSPEÇÃO DE CAMPO PARA O
MÉTODO DO IGG**

ANEXO B – MODELO DE PLANILHA DE CÁLCULO DO IGG

RODOVIA:		PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)			DATA:	FOLHA:
		TRECHO:				
		SUB-TRECHO:	REVESTIMENTO TIPO:		ESTACA OU QUILOMETRO	ESTACA OU QUILOMETRO
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES
1	FC – 1 (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)					
2	FC – 2 (J e TB)					
3	FC – 3 (JE e TBE)					
4	ALP e ATP					
5	O, P, E					
6	EX					
7	D					
8	R					
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER					
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas					
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n =	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG			Conceito
1 A) IGI = $F \times 4/3$ quando $F \leq 30$ 1 B) IGI = 40 quando $F > 30$					Operador	
					Cálculo	
					Visto	
2 A) IGI = FV quando $FV \leq 50$ 2 B) IGI = 50 quando $FV > 50$						

APÊNDICE A – LEVANTAMENTO DOS DEFEITOS PELO MÉTODO DO IGG

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																											
RODOVIA: Av. Senador Virgílio Távora										OPERADOR: Maria Elaine Nascimento dos Santos										FOLHA: 01							
TRECHO: Entre Av. Santos Dumont e R. Marcos Macêdo										REVESTIMENTO TIPO: Asfáltico										ESTACA OU QUILOMETRO		ESTACA OU QUILOMETRO					
SENTIDO A										DATA: 11/12/2021										1		20					
Estaca ou Km	Seção Terrap.	OK	TRINCAS											AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRINCAS RODAS		OBSERVAÇÕES	
			ISOLADAS						INTERLIGADAS					PLASTICO		CONSOLID		O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI mm	IRE mm		
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2		FC - 3			ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4										
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3															
1	SMC		x																					0	0		
2	SMC																								0	0	
3	SMC		x																						0	0	
4	SMC													x											0	0	
5	SMC																								0	0	
6	SMC		x																						0	0	
7	SMC		x																						0	0	
8	SMC																								0	0	
9	SMC																								0	0	
10	SMC		x																						0	0	
11	SMC																								0	0	
12	SMC		x																						0	0	
13	SMC		x																						0	0	
14	SMC													x											0	0	
15	SMC		x																						0	0	
16	SMC		x																						0	0	
17	SMC																								0	0	
18	SMC																								0	0	
19	SMC		x																						0	0	
20	SMC																								0	0	

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																									
RODOVIA: Av. Senador Virgílio Távora										OPERADOR: Maria Elaine Nascimento dos Santos										FOLHA: 01					
TRECHO: Entre Av. Santos Dumont e R. Marcos Macêdo										REVESTIMENTO TIPO: Asfáltico										ESTACA OU QUILOMETRO		ESTACA OU QUILOMETRO			
SENTIDO B										DATA: 11/12/2021										21		41			
Estaca ou Km	Seção Terrap.	OK	TRINCAS										AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRINCAS RODAS		OBSERVAÇÕES
			ISOLADAS						INTERLIGADAS				PLASTICO		CONSOLID										
			FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC - 2		FC - 3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4	O 5	P 5	E 5	EX 6	D 7	R 8	TRI mm	IRE mm	
									J 2	TB 2	JE 3	TBE 3													
21	SMC																						0	0	
22	SMC		x																	x			0	0	
23	SMC		x																x				0	0	
24	SMC																						0	0	
25	SMC														x								0	0	
26	SMC		x																	x			0	0	
27	SMC																		x				0	0	
28	SMC																						0	0	
29	SMC		x																				0	0	
30	SMC																						0	0	
31	SMC																						0	0	
32	SMC		x																				0	0	
33	SMC		x																				0	0	
34	SMC																						0	0	
35	SMC																						0	0	
36	SMC		x																	x			0	0	
37	SMC																						0	0	
38	SMC																						0	0	
39	SMC		x																				0	0	
40	SMC																						0	0	

APÊNDICE B – PLANILHAS DE CÁLCULO DO IGG PARA CADA SENTIDO

RODOVIA: Av. Senador Virgílio Távora		PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)			DATA: 11/12/2021	FOLHA: 01		
		TRECHO: Entre Av. Santos Dumont e R. Marcos Macêdo						
		SUB-TRECHO: Sentido A		REVESTIMENTO TIPO: Asfáltico	ESTACA OU QUILOMETRO	ESTACA OU QUILOMETRO		
					1	20		
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES		
1	FC – 1 (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	10	100	0,2	20			
2	FC – 2 (J e TB)	0	0	0,5	0			
3	FC – 3 (JE e TBE)	0	0	0,8	0			
4	ALP e ATP	3	30	0,9	27			
5	O, P, E	4	40	1	40			
6	EX	0	0	0,5	0			
7	D	2	20	0,3	6			
8	R	3	30	0,6	18			
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	0	0	0	0			
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	0	0	0	0			
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 20	∑ IND. GRAVID. IND. = IGG		111	RUIM		
1 A) IGI = $F \times 4/3$ quando $F \leq 30$ 1 B) IGI = 40 quando $F > 30$					2 A) IGI = FV quando $FV \leq 50$ 2 B) IGI = 50 quando $FV > 50$			
					Operador		M ^a . Elaine	
					Cálculo			
				Visto				

RODOVIA: Av. Senador Virgílio Távora		PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)			DATA: 11/12/2021	FOLHA: 01
		TRECHO: Entre Av. Santos Dumont e R. Marcos Macêdo			ESTACA OU QUILOMETRO	ESTACA OU QUILOMETRO
		SUB-TRECHO: Sentido B		REVESTIMENTO TIPO: Asfáltico	21	40
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	FREQUÊNCIA ABSOLUTA	FREQUÊNCIA RELATIVA	FATOR DE PONDERAÇÃO	ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL	OBSERVAÇÕES
1	FC – 1 (FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR)	8	80	0,2	16	
2	FC – 2 (J e TB)	0	0	0,5	0	
3	FC – 3 (JE e TBE)	0	0	0,8	0	
4	ALP e ATP	5	50	0,9	45	
5	O, P, E	2	20	1	20	
6	EX	0	0	0,5	0	
7	D	3	30	0,3	9	
8	R	4	40	0,6	24	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	0	0	0	0	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	0	0	0	0	
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n = 20	∑ IND. GRAVID. IND. = IGG		114	RUIM
1 A) IGI = $F \times 4/3$ quando $F \leq 30$ 1 B) IGI = 40 quando $F > 30$					Operador	M^a. Elaine
					Cálculo	
					Visto	
2 A) IGI = FV quando $FV \leq 50$ 2 B) IGI = 50 quando $FV > 50$						