



INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS AVANÇADO PIUMHI
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

DANIELA AGNEZINI BIAGGI

**AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DA SUPERFÍCIE DE
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS: Estudo de Caso em Piumhi – MG**

Piumhi

2022



DANIELA AGNEZINI BIAGGI

**AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DA SUPERFÍCIE DE
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS: Estudo de Caso em Piumhi – MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Civil, ofertado pelo *campus* Avançado Piumhi do Instituto Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Tobias Ribeiro Ferreira

Piumhi

2022

B576a Biaggi, Daniela Agnezini.

Avaliação das manifestações patológicas da superfície de pavimentos asfálticos : estudo de caso em Piumhi - MG [manuscrito] / Daniela Agnezini Biaggi. – 2022.
58 f. : il.

Orientador: Tobias Ribeiro Ferreira.
Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* Avançado Piumhi, 2022.

1. Pavimentos - Defeitos. 2. Rodovias. 3. Pavimentos – Manutenção e Reparos. 4. Patologia - Rodovias. I. Ferreira, Tobias Ribeiro. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Avançado Piumhi. III. Título.

CDD 625.7

DANIELA AGNEZINI BIAGGI

**AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DA SUPERFÍCIE DE
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS: Estudo de Caso em Piumhi – MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Civil, ofertado pelo *campus* Avançado Piumhi do Instituto Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 29/06/2022 pela banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Tobias Ribeiro Ferreira, Professor**, em 08/07/2022, às 23:05, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006



Documento assinado eletronicamente por **Humberto Coelho de Melo, Professor**, em 11/07/2022, às 09:45, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Pastre Pereira, Professor**, em 11/07/2022, às 13:21, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Thais de Oliveira Azevedo, Professora Substituta**, em 11/07/2022, às 14:56, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Stella Maria Gomes Tome, Professora**, em 18/07/2022, às 19:34, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1248684** e o código CRC **FA14BDD1**.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, e a minha família que sempre me apoiou em todas as minhas decisões acadêmicas, profissionais e pessoais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador Professor Mestre Tobias Ribeiro Ferreira que executou esta função com empenho e seriedade, e aos meus colegas que estiveram presentes comigo me apoiando e auxiliando durante a execução deste trabalho.

“Feliz aquele que transfere o que sabe e
aprende o que ensina.”
Cora Coralina.

RESUMO

O modal rodoviário é de extrema importância na movimentação de diversos elementos no Brasil. Ele está diretamente ligado ao desenvolvimento do país e, infelizmente, as expectativas de infraestruturas estão muito além daquilo que se observa na matriz de transportes existente. Além do alto tráfego de veículos, há agravantes como a sobrecarga de caminhões, a falta de infraestrutura de drenagem pluvial e a execução de projetos inadequados. Todos esses fatores influenciam na necessidade de manutenção do pavimento periodicamente, e por consequência, para evitar as patologias decorrentes do seu uso. A pesquisa se objetiva na análise do perfil e estado do pavimento da Avenida Francisco Machado pertencente à rodovia estadual MG - 341, definindo seus defeitos, baseados nos mais frequentes encontrados nas rodovias brasileiras, e investigando as possíveis causas destes. A análise foi realizada partindo do Índice de Gravidade Individual (IGI) processada para cada tipo de defeito e a partir do somatório deste Índice foi encontrado o Índice de Gravidade Global (IGG), resultando em uma condição péssima do pavimento afetando o conforto e a segurança dos usuários da via.

Palavras-Chave: Pavimentos - Defeitos. Rodovias. Pavimentos – Manutenção e Reparos. Patologia - Rodovias

ABSTRACT

The road modal is extremely important in the movement of several elements in Brazil. It is directly linked to the country's development and, unfortunately, infrastructure expectations are for beyond what is observed in the existing transport matrix. In addition to the high traffic of vehicles, there are aggravating factors such as overloading trucks, lack of stormwater drainage infrastructure and the execution of inadequate projects. All these factors influence the need for periodic maintenance of the pavement, and consequently, to avoid the pathologies resulting from its use. The research aims to analyze the profile and state of the pavement of Avenida Francisco Machado belonging to the MG - 341 state highway, defining its defects, based on the most frequent ones found on Brazilian highways, and investigating the possible causes of these defects. The analysis was carried out starting from the Individual Severity Index (IGI) processed for each type of defect and from the sum of this Index the Global Severity Index (IGG) was found, resulting in a terrible condition of the pavement affecting comfort and safety of road users.

Keywords: Pavement - Defects. Highways. Pavement – Maintenance and Repairs. Pathology – Highways.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pavimento Rígido.....	18
Figura 2 - Pavimento Flexível.....	19
Figura 3 - Estruturas de Pavimentos	21
Figura 4 - Trincas Isolada Transversal	22
Figura 5 - Afundamento	22
Figura 6 - Ondulação.....	23
Figura 7 - Escorregamento.....	23
Figura 8 - Exsudação	24
Figura 9 - Desgaste	24
Figura 10 - Panela.....	25
Figura 11 - Remendo.....	25
Figura 12 - Trecho em Estudo da Rodovia MG-341	34
Figura 13 - Rodovia MG-341	35
Figura 14 - Estacas 0 a 22	36
Figura 15 - Equipamentos Utilizados.....	37
Figura 16 - Trincas	40
Figura 17 - Afundamento e Demais Defeitos.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Valores das Flechas	38
Gráfico 2 - Defeitos x Frequência.....	39
Gráfico 3 - Influência dos Defeitos no Cálculo do IGG	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo entre Pavimento Rígido e Flexível.....	20
---------------------------------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator de Ponderação para Cada Tipo de Defeito	32
Tabela 2 - Conceitos de Degradação do Pavimento em Função do IGG	33
Tabela 3 - Afundamento nas Trilhas de Roda.....	38
Tabela 4 - Cálculo do Índice de Gravidade Individual das Flechas	39
Tabela 5 - Cálculo do Índice de Gravidade Individual para os Demais Defeitos.....	41
Tabela 6 - Cálculo de Índice de Gravidade Global	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
3	JUSTIFICATIVA	17
4	REFERENCIAL TEÓRICO	18
4.1	Pavimentos	18
4.1.1	<i>Pavimento Rígido</i>	18
4.1.2	<i>Pavimento Flexível</i>	19
4.1.3	<i>Comparativo entre os Pavimentos.....</i>	19
4.2	Estrutura do Pavimento	20
4.3	Projeto de Pavimentação	21
4.4	Defeitos do Pavimento	21
4.4.1	<i>Fenda</i>	21
4.4.2	<i>Afundamento</i>	22
4.4.3	<i>Ondulação ou Corrugação.....</i>	22
4.4.4	<i>Escorregamento</i>	23
4.4.5	<i>Exsudação.....</i>	23
4.4.6	<i>Desgaste</i>	24
4.4.7	<i>Panela ou Buraco</i>	24
4.4.8	<i>Remendo.....</i>	25
4.5	Causas dos Defeitos	25
4.6	Conservação do Pavimento.....	27
4.6.1	<i>Conservação Rotineira</i>	28
4.6.2	<i>Conservação Periódica</i>	28
4.6.3	<i>Conservação de Emergência</i>	28
4.7	Restauração do Pavimento.....	28
4.8	Atividades de Conservação e Restauração para Cada Tipo de Defeito ..	
4.9	Métodos de Avaliação da Superfície de Pavimentos Asfálticos.....	30
5	METODOLOGIA	34
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
6.1	Levantamento dos Dados	36

6.2	Afundamento nas Trilhas de Roda.....	37
6.3	Defeitos Visuais	39
6.4	Cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG)	42
6.5	Soluções de Reparos e Manutenção	43
7	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS.....	47
	APÊNDICE A - Inventário do estado da superfície do pavimento	49
	ANEXO A – Formulário de Inventário do estado da superfície do pavimento ...	52
	ANEXO B – Planilha de Cálculo do IGG	53
	ANEXO C – Tarefas de Conservação Corretiva Rotineira.....	54
	ANEXO D – Tarefas de Conservação Preventiva Periódica.....	57

1 INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário no Brasil é de extrema importância na movimentação de pessoas e cargas, e está diretamente ligado ao desenvolvimento do país. Esse modal pode proporcionar o avanço da economia, a conexão entre lugares e pessoas, com potencial de mobilizar uma nação inteira. Infelizmente o Brasil está muito aquém das expectativas mínimas esperadas para uma infraestrutura de transportes adequada na promoção do país.

De acordo com a pesquisa CNT (Confederação Nacional de Transportes) de Rodovias (2019) o modal rodoviário é o que dispõe da maior atividade na matriz de transporte, sendo elas, 61% no transporte de mercadorias e 95% no de pessoas, o que evidencia ainda mais a importância das rodovias para a economia. Ainda na mesma pesquisa foi apresentado que apenas 12,4% da extensão total das rodovias são pavimentadas, o que representa 213.453 quilômetros, pode-se analisar que o crescimento das rodovias pavimentadas de 2009 à 2019 em comparação com o crescimento do tráfego no mesmo período é bem desigual, fazendo com que a infraestrutura presente seja sobrecarregada nos pontos de maior tráfego.

Ainda de acordo com a pesquisa CNT de Rodovias (2019), além do alto tráfego de veículos, há agravantes como a sobrecarga de caminhões que não são previstas nos projetos, a água da chuva que pode causar longos períodos de umidade no pavimento e a execução de um projeto inadequado para as condições de clima, topografia e tráfego previstas. Todos esses fatores influenciam na necessidade de manutenção do pavimento periodicamente, para evitar as patologias que decorrem do seu uso.

Segundo Haiden (2018), patologias são defeitos decorrentes do uso e que podem ser agravados com o tempo em função dos aspectos já citados, alto tráfego, intemperismo, e o dimensionamento equivocado do pavimento, provocando a perda de sua finalidade que é proporcionar um rolamento confortável e seguro para os usuários.

Neste trabalho são definidas as patologias que podem estar presentes nos pavimentos asfálticos, também são feitas análises sobre quais dessas estão presentes no trecho durante o período de estudo e, além disso, são propostas possibilidades de restauração e manutenção.

2 OBJETIVOS

Objetivo Geral:

Este trabalho tem como objetivo geral analisar o perfil e o estado do pavimento flexível do trecho da rodovia MG-341, localizado na área urbana da cidade de Piumhi – MG.

Objetivos específicos:

- Avaliar as patologias existentes no pavimento;
- Analisar a condição do pavimento e quais deficiências estão presentes no trecho estudado;
- Classificar o estado da área em questão;
- Sugerir soluções para o reparo e manutenção do trecho.

3 JUSTIFICATIVA

As rodovias/ruas/avenidas são primordiais para a ligação entre lugares, conectando pessoas e distribuindo mercadorias, são elas que fazem a conexão entre a tranquilidade do lar e o trabalho, as compras no supermercado, e mesmo a um momento de lazer. Portanto, garantir a qualidade e segurança dessas vias é indispensável para o conforto do usuário e para a preservação dos veículos, que podem sofrer danos em uma via de má qualidade, e para ideal fluidez do trânsito.

Os projetos de infraestrutura de pavimentação são realizados considerando manutenções periódicas e preventivas, mas na realidade não é o que se vê depois que o projeto é executado. Em geral, são feitas manutenções tardias e muitas das vezes apenas medidas paliativas que não tratam o problema em definitivo, apenas disfarçam a solução.

A questão das vias públicas é abordada de forma acessória, segmentada em diversas áreas de ação municipal, sendo que em todas elas o enfoque é sempre secundário, fazendo com que o espaço da via pública seja visto apenas como suporte a outras atividades urbanas. (LIMA, RAMOS E FERNANDES JR., 2006, p.5).

Esse estudo diz muito sobre os pavimentos em uma cidade de pequeno porte em que o planejamento, dimensionamento e construção do pavimento não tem a sua devida importância, e por fim se faz necessário reparos além do previamente estabelecido em projeto.

O estudo da CNT que discorre sobre transporte rodoviário – Impactos da Qualidade do Asfalto sobre o Transporte Rodoviário (2019), diz que pavimentos com problemas prejudicam os veículos que nele trafegam, aumentam o uso de combustível e diminuem a velocidade, aumentando assim, o tempo de deslocamento. Com todas essas adversidades o custo operacional de transporte onera, o que interfere diretamente no valor dos produtos implicando também na disputa do Brasil com o mercado internacional.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Pavimentos

Segundo Bernucci, *et al.* (2008) a condição do pavimento é o elemento de maior relevância na perspectiva do usuário, pois afeta diretamente na qualidade do deslocamento e de seu veículo, pois as deformações e irregularidades prejudicam o conforto da viagem e também há a danificação de seu veículo.

De acordo com o CONFEA (2015), pavimento pode ser entendido como uma estrutura composta por várias camadas de espessuras finitas, em que cada uma possui distintas resistências e deformabilidades, apoiadas sobre o subleito, comumente chamado de infraestrutura ou terreno, destinado a resistir aos esforços verticais e horizontais e otimizar o estado do rolamento em relação ao conforto. Usualmente o pavimento é composto pelo revestimento, faixa atribuída para resistir diretamente à demanda do tráfego, impermeabilização, para conforto e segurança, base, camada disposta para resistir às ações do tráfego e transmitir ao subleito, sub-base, categoria complementar a base, e reforço do subleito, camada complementar a sub-base. O pavimento tradicionalmente pode ser dividido em rígido e flexível.

4.1.1 Pavimento Rígido

Bernucci, *et al.* (2008) diz que os pavimentos rígidos, ou concreto – cimento, são executados a partir de placas de concreto de cimento Portland, em que a espessura é determinada com base na resistência à flexão das placas e das camadas subjacentes, esse tipo de pavimento pode ser ou não armado com barras de aço, sua execução é feita a partir das placas de concreto, sub-base e o subleito. Na Figura 1 exibe-se um exemplo de Pavimento Rígido.

Figura 1 - Pavimento Rígido



Fonte: Gomez *et al.* 2008, p. 12

4.1.2 Pavimento Flexível

Os pavimentos flexíveis ou asfálticos, como são comumente chamados, são constituídos em seu revestimento de agregados e ligantes asfálticos, que podem ser por penetração ou por mistura, formando assim o revestimento asfáltico, que acrescido das camadas de base, sub-base e reforço do subleito formam o pavimento flexível.

O revestimento apresentado na Figura 2 tem a função de resistir às ações do tráfego e transmiti-las às outras camadas, as tensões e deformações solicitadas estão associadas ao trincamento por fadiga.

Figura 2 - Pavimento Flexível



Fonte: Gomez *et al.* 2008, p. 13

4.1.3 Comparativo entre os Pavimentos

Os dois tipos de pavimento apresentados têm suas características específicas que tornam a escolha de seu uso dependente de vários fatores, como localidade, custo dos materiais, cultura de utilização, entre outros. O Quadro 1 adaptado da CNT, Transporte Rodoviário (2017) expressa um comparativo entre os dois tipos.

Quadro 1 – Comparativo entre Pavimento Rígido e Flexível

	Pavimento	
	Flexível	Rígido
Investimento Inicial	Varia de acordo com os materiais utilizados e os valores por região	Também varia, mas é estimado um valor de 30% maior que o flexível
Vida Útil (com manutenção)	8 a 12 anos	25 a 30 anos
Estruturação	Mais camadas, maior espessura	Menos camadas, menor espessura
Distribuição das Tensões	Todas as camadas recebem parcelas de tensão	Placa absorve maior parte das tensões
Materiais	Derivado do Petróleo, misturado a quente	Materiais locais, misturados a frio
Drenagem	Retém água (requer maior inclinação)	Escoa melhor a água superficial

Fonte: CNT. 2017

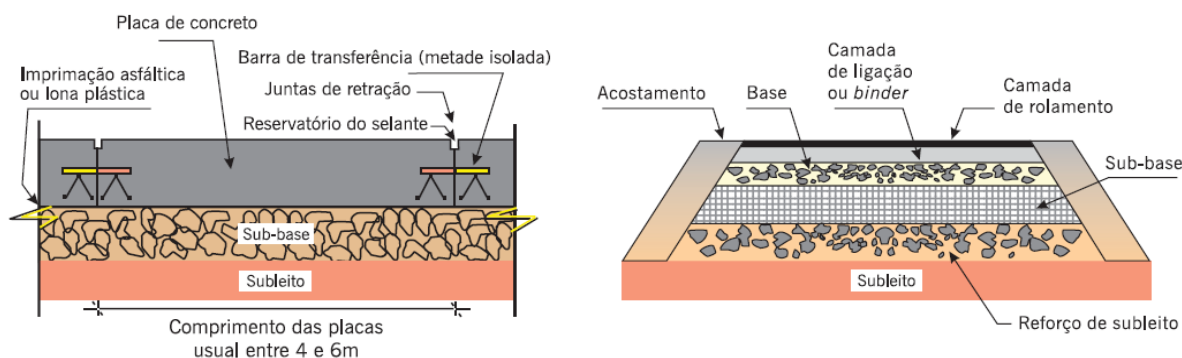
4.2 Estrutura do Pavimento

Segundo a norma do DNIT-422/2019 – ES, subleito é o terreno de fundação do pavimento, sendo equivalente às camadas finais da terraplenagem. A norma do DNIT 139/2010 – ES, define a camada de sub-base como uma camada complementar a base com a mesma aplicabilidade, sendo executada acima do subleito ou reforço do subleito. Enquanto que, a camada de base é a “camada de pavimentação destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os adequadamente a camada subjacente” (DNIT 141/2010 – ES).

Por fim, se encontra a camada do revestimento, que segundo a pesquisa da CNT, Transporte Rodoviário (2017), é a camada externa que recebe diretamente os esforços do tráfego, deve ser impermeável e garantir conforto e segurança ao usuário da via, pode ser constituído por duas ou mais camadas, sendo elas a camada de rolamento, de ligação, de nivelamento e de reforço, essa última, uma camada futura de reforço no pavimento por problemas funcionais ou estruturais, também popularmente chamada de recape.

A Figura 3 exprime as camadas constituintes do pavimento exemplificando a diferença dos dois tipos mencionados.

Figura 3 - Estruturas de Pavimentos



(a) Concreto-cimento (corte longitudinal)

Fonte: Bernucci *et al.* 2008, p. 10

(b) Asfáltico (corte transversal)

4.3 Projeto de Pavimentação

O Manual de Pavimentação do DNIT IPR - 719 (2006) estabelece que os projetos rodoviários são divididos em dois tipos: o projeto básico e o projeto executivo, o primeiro considera os componentes que caracterizam a obra, enquanto que o executivo envolve todos os componentes para a execução completa da obra. A Lei nº 8666, de 1993 diz que para uma obra rodoviária deve ser executado primeiramente o projeto básico, depois o executivo e por fim, a execução das obras.

O projeto executivo deve apresentar o projeto geométrico, onde é determinado geometricamente a pista de rolamento, o projeto de drenagem, que institui as obras de artes de dispositivos de drenagem que devem estar presentes no projeto, e o projeto de pavimentação, que compreende a análise geotécnica com estudos do subleito para reconhecimento do solo e estudos de ocorrências de materiais, ou seja, conhecimento de jazidas próximo ao local da execução da obra para a utilização dos materiais para as diversas camadas do pavimento, e o dimensionamento dos pavimentos, que determina a espessura de cada camada presente no pavimento.

4.4 Defeitos do Pavimento

A norma do DNIT 005/2003-TER, que define a terminologia dos defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos, evidencia e define os defeitos mais comumente encontrados nos pavimentos asfálticos que são dispostos nas seções a seguir.

4.4.1 Fenda

Este defeito caracteriza-se por qualquer interrupção na superfície do pavimento, podendo ser aberturas de diferentes formas e tamanhos, sendo divididas em fissuras,

que são fendas menores, sendo perceptíveis a olho nu em uma distância inferior a 1,50 metros de distância, e as trincas que são facilmente visíveis, sendo subdividas em trincas isoladas e trincas interligadas, divididas ainda em trincas curtas, que apresentam comprimento menor que um metro, e em trincas longas, que apresentam comprimento maior que um metro, na Figura 4 mostra-se uma exemplo de trinca isolada transversalmente.

Figura 4 - Trincas Isoladas Transversais



Fonte: DNIT 005/TER, 2003

4.4.2 Afundamento

Definido por uma deformação permanente por depressão, pode ser plástico, causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento, e de consolidação causado pela consolidação diferencial do pavimento. Até 6 metros é considerado afundamento local, e superior a essa extensão é considerado afundamento da trilha de roda. Na Figura 5 mostra-se um exemplo do defeito.

Figura 5 - Afundamento



Fonte: DNIT 005/TER, 2003

4.4.3 Ondulação ou Corrugação

Alteração determinada por ondulações ou corrugações transversais na

superfície do pavimento asfáltico ou semirrígido. A Figura 6 apresenta um exemplo de ondulação.

Figura 6 - Ondulação



Fonte: DNIT 005/TER, 2003

4.4.4 Escorregamento

Define-se pelo deslocamento do revestimento em relação camada de base do pavimento, caracteriza-se também pelo aparecimento de fendas em meia-lua. A Figura 7 expõe o defeito de escorregamento.

Figura 7 - Escorregamento



Fonte: DNIT 005/TER, 2003

4.4.5 Exsudação

Defeito caracterizado pelo excesso de ligante betuminoso no pavimento, causado pela migração deste pelo revestimento. Na Figura 8 apresenta-se um exemplo de exsudação no pavimento.

Figura 8 - Exsudação



Fonte: DNIT 005/TER, 2003

4.4.6 Desgaste

Falha causada pelos esforços tangenciais do tráfego dos veículos, em que há o arrancamento progressivo do agregado utilizado no processo de pavimentação, na Figura 9 mostra-se um exemplo de desgaste ocorrendo no pavimento.

Figura 9 - Desgaste

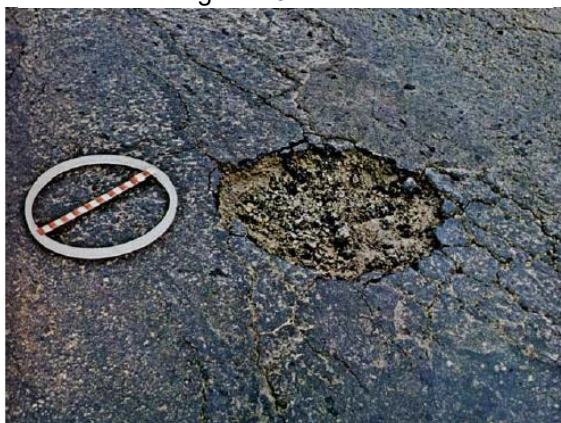


Fonte: DNIT 005/TER, 2003

4.4.7 Panela ou Buraco

Abertura que aparece no revestimento por diversas causas, sendo possível alcançar as demais camadas do pavimento, provocando desagregação destas. Na Figura 10 mostra-se o defeito descrito.

Figura 10 - Panela



Fonte: DNIT 005/TER, 2003

4.4.8 Remendo

Panela ou buraco revestido por camadas de pavimento, dividido em remendo profundo, em que há substituição do revestimento, ou remendo superficial, que se dá pela correção da superfície em área localizada. Embora seja uma ação de correção do pavimento, registra um local de fragilidade e tira o conforto de rolamento. Na Figura 11 ilustra-se o estado do defeito.

Figura 11 - Remendo



Fonte: DNIT 005/TER, 2003

4.5 Causas dos Defeitos

“O desempenho adequado do conjunto de camadas e do subleito relaciona-se a capacidade de suporte e a durabilidade compatível com o padrão da obra e o tipo de tráfego, bem como o conforto ao rolamento e a segurança dos usuários” (BERNUCCI, *et al.*, 2008, p. 403). Segundo Bernucci, *et al* (2008) qualquer veículo que se movimenta sobre a superfície é lembrado pelo pavimento, pois cada ocorrência de carga colabora para a degeneração da área. Outro aspecto que favorece a deterioração do pavimento é o clima, a água da chuva é capaz de causar a diminuição da capacidade de suporte, sendo agravada caso o pavimento já apresente fissuras, e a temperatura seja ela alta ou baixa também prejudica a superfície pois impacta

negativamente no comportamento dos materiais constituintes. Com isso, pode-se dizer que o projeto de uma rodovia não é sem validade, pois o próprio uso, acrescido de irregularidades deterioram o pavimento, as manutenções não só corretivas, mas também preventivas devem estar presentes no projeto para que a vida útil daquela área seja prolongada com qualidade.

Os pavimentos são concebidos para durarem um determinado período. Durante cada um destes períodos ou “ciclos de vida”, o pavimento inicia numa condição ótima até alcançar uma condição ruim. O decréscimo da condição ou serventia do pavimento ao longo do tempo é conhecida como deterioração do pavimento. (DNIT IPR- 720, 2006, p. 41)

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT IPR - 720 (2006) enfatiza que a compreensão de ocorrência da deterioração do pavimento é primordial para a verificação de sua causa e também de sua solução. Ela tem diversos fatores, como a capacidade de suporte, qualidade dos materiais utilizados, clima, volume de tráfego, o desgaste, por exemplo, ocorre de maneira não linear, nos primeiros anos de vida útil é mais lenta e pouco visível, e após essa fase é mais rápida e começa a ser visível aos usuários, nesta etapa é importante o início de manutenções para a conservação da rodovia, evitando uma falha estrutural que poderá danificar o pavimento permanentemente.

A partir dos defeitos mais usuais encontrados nas rodovias brasileiras já apresentados segue as principais causas de cada defeito segundo a CNT, Transporte Rodoviário (2017):

- Fissuras: Má dosagem do asfalto, excesso de finos no revestimento e a compactação inadequada, não causam problemas funcionais e nem estruturais.
- Trincas Transversais: Baixa temperatura ou ao endurecimento do asfalto, é classificado como um defeito funcional, por causar irregularidades no rolamento, e estrutural, pois enfraquece o revestimento.
- Trincas Longitudinais: Má execução da junta longitudinal, recalque diferencial, contração da capa asfáltica e propagação de trincas em camadas inferiores, identificado como defeito funcional e estrutural.
- Trincas tipo “Jacaré”: Fadiga das ações do tráfego, má qualidade de uma ou mais camadas do pavimento, baixa capacidade de suporte do solo, envelhecimento do pavimento, admite-se como defeito estrutural.

- Trincas tipo “Bloco”: Alternância entre baixas e altas temperaturas e baixa resistência à tração do asfalto, classificado como defeito funcional e estrutural.
- Afundamento Plástico: Fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento, falha na dosagem da mistura asfáltica e falha de projeto em relação a carga solicitante, classificado como defeito funcional.
- Afundamento de Consolidação: Fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento, ruptura por cisalhamento, erro de compactação e problemas de drenagem, classificado como defeito funcional.
- Ondulação: Erro de mistura asfáltica, alta umidade do solo, classificado como defeito funcional.
- Escorregamento: Falhas construtivas, admitido como defeito funcional.
- Exsudação: Ligante em excesso e poucos vazios, classificado como defeito funcional.
- Desgaste: Falha de adesividade, água aprisionada, falha de ligante e de misturas, dado como defeito funcional
- Panela: Trincas de fadiga, desintegração do pavimento, falha de compactação, alta umidade e falhas de imprimação, classificado como defeito funcional.
- Remendo: Carga de tráfego, material de qualidade baixa, ação de intempéries e má construção, classificado como defeito funcional e estrutural.

4.6 Conservação do Pavimento

Bernucci, et al. (2008, p.405) diz que “Serviços periódicos de conservação devem ser sempre realizados envolvendo técnicas reparadoras em locais específicos, como limpeza e preservação do sistema de drenagem, dos acostamentos e das áreas lindeiras à estrada.”

Segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT IPR - 720 (2006) a conservação dos pavimentos tem como definição um composto de ações com o intuito de preservar o pavimento, tendo como intenção de prolongar a vida útil do pavimento, diminuir custos de operação dos veículos e contribuir para que as rodovias funcionem permanentemente propiciando, segurança e conforto aos usuários. A conservação das rodovias se divide em três principais atividades, a conservação rotineira, a conservação periódica e conservação de emergência.

4.6.1 Conservação Rotineira

“A conservação rotineira compreende um conjunto de operações realizadas com o objetivo de reparar ou sanar um defeito.” (DNIT IPR - 720, 2006). Ainda segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT IPR – 720 (2006) as principais atividades da conservação rotineira são os remendos e selagem de trincas. Os remendos são feitos a partir do preenchimento com misturas betuminosas em buracos ou painéis no pavimento, recomposição de trincas por fadiga e reparos localizados com função de regularizar previamente a superfície, devem conter compactação, selagem nos cantos e limpeza apropriadas. A selagem das trincas é o enchimento das trincas e fissuras por meio de cimentos asfálticos, asfaltos diluídos, ou selantes especiais. Além destes reparos, envolve também corte e/ou erradicação da vegetação, limpeza de sarjetas, valetas e bueiros, no ANEXO C são apresentados todos os tipos de conservação corretiva rotineira e suas respectivas descrições.

4.6.2 Conservação Periódica

Segundo o Manual de Conservação Rodoviária do DNIT IPR – 710 (2005) esse tipo de conservação corresponde a um conjunto de serviços que evitam o surgimento ou o agravamento dos defeitos a partir da proteção ou do melhoramento da superfície do pavimento, no ANEXO D estão expostas as atividades de conservação periódica, que são realizadas com base na aplicação de uma camada de mistura asfáltica ou tratamento superficial. Alguns serviços executados para este tipo de conservação são a recomposição do revestimento com areia asfalto a quente ou a frio, recomposição com mistura betuminosa a quente ou a frio, fresagem, reciclagem de pavimentos, e micro revestimento.

4.6.3 Conservação de Emergência

O Manual de Conservação Rodoviária do DNIT IPR - 710 (2005) diz que a conservação de emergência ocorre quando há necessidade de reconstruir ou restaurar trechos que tenham sido afetados por algum evento incomum que cause um bloqueio na via. Os serviços executados para esta ocorrência são a recomposição mecanizada de aterro e remoção mecanizada ou manual de barreira em solo.

4.7 Restauração do Pavimento

Segundo o Manual de Conservação Rodoviária do DNIT IPR – 710 (2005), a restauração de um pavimento ocorre normalmente pela alteração de uma ou mais camadas presentes do pavimento com o objetivo de retomar o desempenho do pavimento em perfeitas condições. Tem o objetivo de dar a rodovia uma nova condição

estrutural, fazendo com que a rodovia inicie um novo ciclo de vida. Deve ser executado um Projeto de Engenharia e a solução pode ser desde um reforço até uma total reconstrução do pavimento. “Com a conservação rotineira adequada, mais a execução do reforço estrutural do pavimento, (...), uma rodovia pavimentada nunca se deteriorará até chegar ao mau estado, quando é necessária a restauração ou mesmo a reconstrução do pavimento” (DNIT IPR - 710, 2005). O Manual de Conservação Rodoviária do DNIT IPR - 710 (2005) diz que, o pavimento vai sendo mais solicitado na medida em que o tempo vai passando, se referindo estruturalmente e ocorrendo as medidas de conservação corretamente, quando chegar ao final de sua vida útil, o pavimento não estará em estado crítico e então, recomenda-se a restauração. Normalmente esta restauração não ocorre no tempo correto, com isso, o pavimento vai se deteriorando cada vez mais até que chegue em uma degradação severa, se tornando obrigatória e mais onerosa a restauração.

4.8 Atividades de Conservação e Restauração para Cada Tipo de Defeito

Fernandes Jr., Oda e Zerbini (2006) definem as principais atividades de conservação e restauração para cada tipo de defeito mais recorrente no pavimento das rodovias brasileiras, que são descritos a seguir.

Para as trincas transversais é indicado o uso de selante com finalidade de impedir a entrada de água para que não ocorra o enfraquecimento estrutural, as trincas longitudinais devem também utilizar o selante, e as que apresentam mais de 2 centímetros é indicado o remendo, para as trincas do tipo “jacaré” são indicados os remendos ou tratamento superficial, para áreas extensas é recomendado o recapeamento para reforço estrutural e para as trincas em blocos é indicado a aplicação de selante ou então o recapeamento também para o estágio avançado do defeito.

Para os demais defeitos, como a corrugação, deve-se realizar remendos ou recapeamento, para a exsudação é recomendado o tratamento superficial ou aplicação de areia quente, para o desgaste é indicado a capa selante ou tratamento superficial, em casos mais avançados é recomendado a reciclagem ou recapeamento, e para os buracos ou panelas o indicado são os remendos.

4.9 Métodos de Avaliação da Superfície de Pavimentos Asfálticos

Bernucci, *et al.* (2008) diz que para um levantamento estrutural da condição de um pavimento mais eficiente deve-se executar a princípio, uma avaliação objetiva superficial. “A avaliação da superfície consiste em aferir as condições funcionais e estruturais dos pavimentos por meio da identificação das patologias ou defeitos presentes na superfície do pavimento.” (VIEIRA *et. al.*, 2016, p.21).

O DNIT sugere dois métodos de avaliação da superfície de pavimentos asfálticos, a norma no DNIT 006/2003 – PRO estabelece o procedimento do método de avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos, e a norma no DNIT 007/2003 – PRO, diz sobre o procedimento do método de levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovia de pavimentos flexíveis e semirrígidos, este último, é voltado para a estudos e pesquisas de gerência de pavimentos.

Segundo a Norma do DNIT 006/2003 – PRO, o método utilizado para a avaliação, é baseado no índice de gravidade global, que é descrito como um método de investigação de defeitos em que o pavimento pode estar desde o conceito ótimo de degradação até o péssimo, também diz que o método deve ser aplicado quando se pretende obter uma listagem dos defeitos recorrentes e suas prováveis causas, além de ser um estudo preliminar para a necessidade ou não de uma avaliação estrutural.

Segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT IPR – 720 (2006) o método do Índice de Gravidade Global é derivado de um método utilizado no Canadá pelo “*Saskatchewan Department of Highways and Transportation*” denominado “*Severity Index*”, o método foi adaptado para as condições das rodovias brasileiras pelo Engenheiro Armando Martins Pereira.

Bernucci, *et al.* (2008, p.424) diz que para a catalogação dos defeitos presentes no pavimento da área em estudo deve-se ter os seguintes materiais disponíveis: planilhas para o registro dos episódios das patologias, material para marcação dos pontos de análise, treliza metálica com 1,20 metros de comprimento, com uma régua móvel instalada em seu ponto médio, para a demarcação do afundamento no pavimento e trena para medição das distâncias de 20 metros de extensão.

O procedimento da avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos segundo a norma do DNIT 006/2003- PRO é definido por uma amostra do pavimento com coleta de dados a cada 20 metros alternados de cada faixa da pista,

portanto é analisado uma amostra em cada faixa da pista a uma distância de 40 metros, em casos de pistas com duas ou mais faixas no mesmo sentido, a faixa mais solicitada visualmente é a utilizada para a análise. A amostra é coletada em um espaço de 6 metros, sendo 3 metros antes e 3 metros após a marcação da estaca.

Na planilha, disponível no ANEXO A é inserido o tipo de defeito com a sua codificação correta e a sua ocorrência, a área atingida do defeito não é relevante para o estudo, apenas a sua ocorrência ou não, para os afundamentos nas trilhas de roda é necessário a utilização da treliça metálica que deve ser medida em milímetros, e os resultados anotados também nas planilhas. A classificação dos defeitos é feita pela norma do DNIT 005/2003- TER, sendo divididas em 8 grupos, sendo eles: Trincas (Trincas Isoladas TR; Trincas Interligadas tipo Jacaré TJ; Trincas interligadas tipo bloco TB), Remendos (R), Painelas (P), Afundamento (AF), Ondulações (O), Escorregamento (E), Exsudação (EX) e Desgaste (D).

Após a identificação das ocorrências deve-se calcular a frequência absoluta (f_r) para cada tipo de defeito a partir da Equação 1:

$$f_r = \frac{f_a \times 100}{n} \quad (1)$$

Em que f_a é a frequência absoluta correspondente ao número de vezes em que o defeito apareceu, e n o número de seções inventariadas.

No caso dos afundamentos, deve-se fazer o cálculo das flechas a partir da média aritmética dos valores das flechas médias (\bar{x}) e da variância (s^2) seguindo as seguintes equações:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (2)$$

Em que x_i são valores das flechas individuais e n o número de seções inventariadas e:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

Em que s é o desvio padrão populacional dos valores das flechas medidas, tanto internas quanto externas, n é o número de amostras coletadas.

A variância populacional (s^2) é calculada a partir do valor do desvio padrão

elevado ao quadrado.

A próxima etapa do procedimento é o cálculo do índice de gravidade individual (IGI), deve ser determinado para cada ocorrência executando a equação a seguir:

$$IGI = f_r \times f_p \quad (4)$$

Dado que f_p é um fator de ponderação que se obtém a partir da Tabela 1 disponibilizada pela norma, em que cada fator depende do tipo de defeito.

Tabela 1 - Fator de Ponderação para Cada Tipo de Defeito

Ocorrência Tipo	Codificação de ocorrências de acordo com a Norma DNIT 005/2002-TER "Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia" (ver item 6.4 e Anexo D)	Fator de Ponderação f_p
1	Fissuras e Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR)	0,2
2	FC-2 (J e TB)	0,5
3	FC-3 (JE e TBE) NOTA: Para efeito de ponderação quando em uma mesma estação forem constatadas ocorrências tipos 1, 2 e 3, só considerar as do tipo 3 para o cálculo da frequência relativa em percentagem (f_r) e Índice de Gravidade Individual (IGI); do mesmo modo, quando forem verificadas ocorrências tipos 1 e 2 em uma mesma estação, só considerar as do tipo 2.	0,8
4	ALP, ATP e ALC, ATC	0,9
5	O, P, E	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Fonte: DNIT 006/PRO, 2003

Para o fator de ponderação das flechas é analisado a média aritmética das médias das flechas (F), seguindo a Equação 5.

$$F = \frac{TRE + TRI}{2} \quad (5)$$

Em que TRE é a média das flechas da trilha externa e TRI a médias das flechas a trilha interna.

Se o valor encontrado for igual ou menor que 30, o f_p é 4/3, se for maior, o Índice de Gravidade Individual é igual a 40. Para a variância, se a média (FV) calculada, seguindo a Equação 6, for igual ou menor que 50, o f_p é igual a 1, se for maior o Índice de Gravidade Individual é 50.

$$FV = \frac{TREv + TRIv}{2} \quad (6)$$

Em que $TREv$ é a variância das flechas da trilha externa e $TRIv$ é a variância

das flechas da trilha interna.

Por fim, para determinar o nível de degradação do pavimento em função do método apresentado, deve-se executar o cálculo do índice de gravidade global (IGG) a partir da equação:

$$IGG = \Sigma IGI \quad (7)$$

Onde ΣIGI corresponde ao somatório de todos os índices de gravidade individuais.

O cálculo do IGG é executado a partir do auxílio de uma tabela disponibilizada pela norma presente no ANEXO B. Com o valor do IGG é possível determinar o nível de degradação do pavimento, a partir das seguintes nomenclaturas: ótimo, bom, regular, ruim e péssimo, de acordo com a Tabela a 2.

Tabela 2 - Conceitos de Degradação do Pavimento em Função do IGG

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

Fonte: DNIT 006/PRO, 2003

O Índice de Gravidade Global (IGG) descrito pelo Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT IPR – 720 (2006) possibilita a identificação da condição geral do pavimento, sendo possível assim a análise mais precisa de possíveis restaurações e conservações no pavimento.

5 METODOLOGIA

Este estudo apresenta carácter qualitativo, em que o objetivo da pesquisa é explicativa, os procedimentos executados são revisão bibliográfica, estudo documental de normas com ênfase nas normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e a pesquisa de campo, por meio de levantamento de dados através da observação dos defeitos encontrados no pavimento flexível do trecho objeto de estudo, utilizando o método do Índice de Gravidade Global determinado pelo DNIT.

O local de análise escolhido para o presente estudo é um trecho da rodovia MG-341, localizado na área urbana da cidade de Piumhi – MG, mais especificamente do km 3 ao km 4. Segundo o Boletim Rodoviário DER/MG (2020) a rodovia tem início na cidade de Piumhi a partir da MG-050 e finaliza em Sacramento - MG na BR-464, ela passa pela cidade de São Roque de Minas – MG, que tem como atrativo turístico a Serra da Canastra, o que atrai um grande tráfego para a rodovia, tanto de transporte comercial como de particular, como o trecho escolhido se localiza dentro da área urbana, além do tráfego rodoviário, há também o tráfego urbano, o que sobrecarrega o trecho ocasionando vários defeitos no pavimento, se tornando motivo de estudo.

As Figuras 12 e 13 indicam o trecho objeto de estudo, e a rodovia MG-341 em sua total extensão, respectivamente.

Figura 12 - Trecho em Estudo da Rodovia MG-341



Fonte: Google Earth, 2022

Figura 13 - Rodovia MG-341



Fonte: Google Earth, 2022

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Levantamento dos Dados

O levantamento dos dados foi feito no dia 30 de abril de 2022. O cadastro foi feito a partir de uma planilha disponibilizada pela norma DNIT 006/2003 – PRO que se encontra no ANEXO A, na qual são anotados todos os defeitos visuais encontrados no trecho como também os valores dos afundamentos das trilhas de roda. O trecho foi dividido em duas partes, uma para cada sentido da via, na primeira parte mediu-se as estacas pares, incluindo o zero, e a segunda as estacas ímpares. A Figura 14 representa um croqui das duas partes com as referentes estacas.

Figura 14 - Estacas 0 a 49



Fonte: Google Earth, 2022

Para cada faixa a distância entre as estacas foi de 40 m e foi medida com uma trena de 30 m, totalizando ao todo 50 estacas, incluindo a estaca 0, equivalendo a uma distância de 980 metros. Cada estaca e seus pontos auxiliares foram marcados com giz branco, com auxílio de uma régua de 30 cm de comprimento, no lado externo da via, e os pontos auxiliares foram medidos com uma trena de 8 m. Foi realizado o registro fotográfico de todas as estacas e todos os defeitos presentes no pavimento, como também a medição das flechas a partir da treliça metálica e o registro fotográfico das mesmas, a planilha com a marcação dos defeitos e das flechas está inserida no APÊNDICE A que foi baseado no formulário da norma do DNIT 006/2003 - PRO. O percurso foi realizado a pé, sendo executado inicialmente a análise da direita do quilômetro 3 ao quilômetro 4, posteriormente a faixa da esquerda, e por fim, a medição dos afundamentos de trilha de roda. A Figura 15 mostra todos os equipamentos

utilizados na coleta dos dados, sendo eles: treliça metálica, planilha, giz branco, trenas de 8 e 30 metros e régua de 30 centímetros.

Figura 15 - Equipamentos Utilizados



Fonte: Arquivo Próprio

6.2 Afundamento nas Trilhas de Roda

A avaliação do afundamento na trilha de roda é realizada pela treliça metálica especificada na norma DNIT 006/2003 – PRO, encontrada na Figura 15, e é medido em milímetros. Foram identificados 8 pontos em que havia o defeito, sendo todos localizados no lado externo da via, para o cálculo foi determinada a média e a variância populacional considerando todos os pontos com defeito, segue a Tabela 3 com os valores medidos em milímetros.

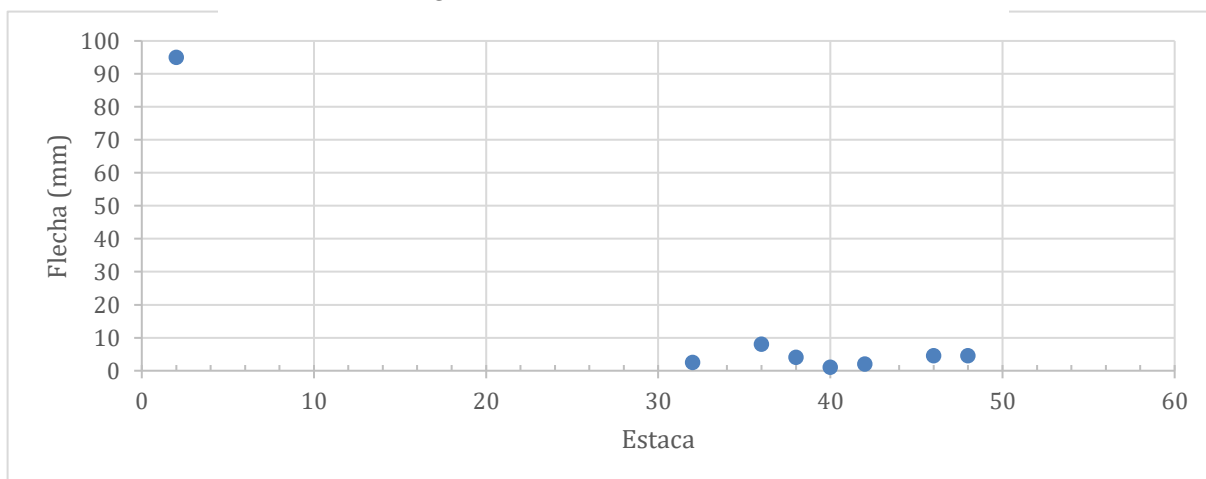
Tabela 3 - Afundamento nas Trilhas de Roda

Estaca	TRI (mm)	TRE (mm)
2	0	95
32	0	2,5
36	0	8
38	0	4
40	0	1
42	0	2
46	0	4,5
48	0	4,5
Média	0	15,1875
Desvio Padrão	0	30,231335
Variância	0	913,93359

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

Por meio do Gráfico 1 é possível analisar que há uma disparidade entre o valor de flecha da estaca 2 com os demais valores, e essa discrepância faz com que a variância aumente, ultrapassando o valor estipulado pela norma para a utilização do fator de ponderação e, conseqüentemente aumentando o Índice de Gravidade Individual.

Gráfico 1 - Valores das Flechas



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

Com a média e a variância calculadas é possível calcular a média aritmética da média das flechas na trilha externa e da média das flechas na trilha interna do segmento (F) e a média da variância das flechas na trilha externa e da variância das flechas na trilha interna do segmento (FV), seguindo as Equações 5 e 6.

$$F = \frac{TRE + TRI}{2}$$

$$F = \frac{15,1875 + 0}{2} = 7,59$$

$$FV = \frac{TREv + TRIv}{2}$$

$$FV = \frac{913,933 + 0}{2} = 456,96$$

Analisando os resultados, pode-se observar que a média aritmética deu um valor abaixo de 30, estipulado pela norma, portanto utiliza-se o fator de ponderação de 4/3, já para a média da variância o valor encontrado foi acima de 50, portanto adota-se o Índice de Gravidade Individual como 50, a Tabela 4 representa o cálculo do IGI.

Tabela 4 - Cálculo do Índice de Gravidade Individual das Flechas

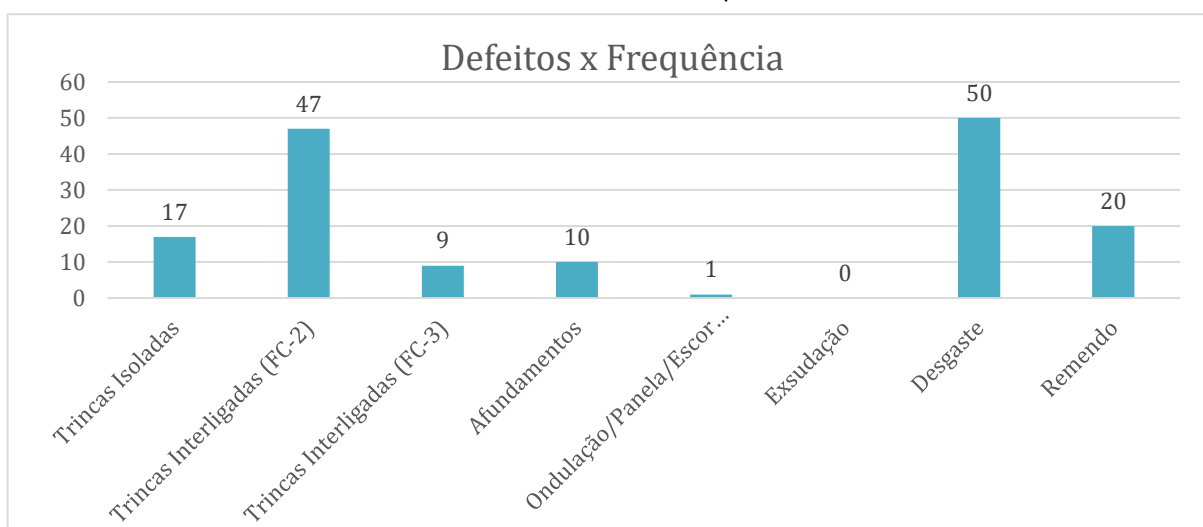
Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	TER	TRI	F	fp	IGI
	15,1875	0	7,59	1,3333	10,125
Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv	TRIv	F	fp	IGI
	913,933	0	456,96	-	50

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

6.3 Defeitos Visuais

Para o cálculo a planilha disponibilizada pelo DNIT 006/2003 – PRO, divide os defeitos em 8 tipos, que foram apresentados na tabela 2, o Gráfico 2 a seguir, ilustra com a frequência absoluta dos defeitos encontrados no trecho estudado.

Gráfico 2 - Defeitos x Frequência



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

É possível observar que dos oito tipos de defeitos citados pela norma, sete deles estão presente no pavimento estudado. A patologia que mais se manifestou foi o desgaste, com 100% de frequência, seguido pelas trincas interligadas do tipo FC-2,

caracterizada pela trinca de jacaré, ocupando aproximadamente 96% do trecho estudado, os remendos com uma porcentagem aproximada de 41%, trincas isoladas, tanto transversais quanto longitudinais ocupando uma porcentagem de 35%, os afundamentos com 20%, trincas interligadas do tipo FC-3, representada pela trinca de jacaré com erosão acentuada nas bordas das trincas, com 18% e os defeitos do tipo ondulação, panela e escorregamento, com a manifestação de apenas uma panela, ocupando 2% do trecho estudado.

Na Figura 16 expõe-se os defeitos caracterizados como trincas isoladas e interligadas identificadas no trecho da pesquisa.

Figura 16 - Trincas



a) Fissura – Estaca 2



b) Trinca Longitudinal – Estaca 19



d) Trinca Transversal – Estaca 20



c) Trinca "Jacaré" – Estaca 6



e) Trinca "Jacaré" com erosão acentuada – Estaca 8

Fonte: Arquivo Próprio

A Figura 17 apresenta os exemplos de defeitos de afundamentos e demais defeitos como panela, desgaste e remendo que foram encontrados no trecho da rodovia.

Figura 17 - Afundamento e Demais Defeitos



a) Afundamento – Estaca 2



c) Panela – Estaca 2



b) Desgaste – Estaca 21



d) Remendo – Estaca 15

Fonte: Arquivo Próprio

A partir dos dados coletados e analisados é possível realizar o cálculo do Índice de Gravidade Individual, com o auxílio da Tabela 5.

Tabela 5 - Cálculo do Índice de Gravidade Individual para os Demais Defeitos

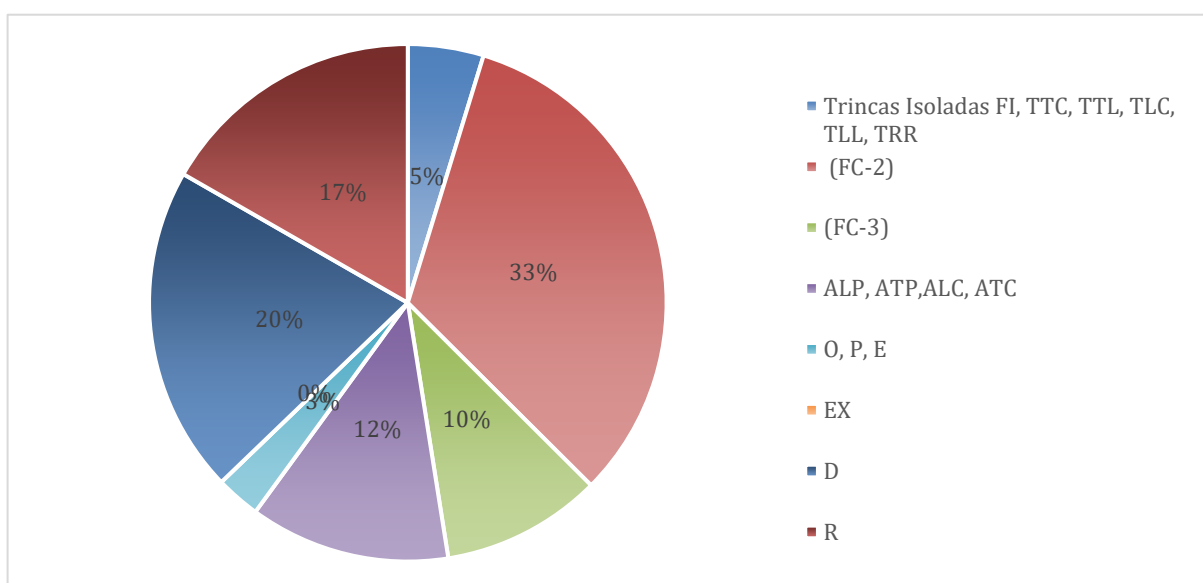
Item	Natureza do Defeito	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	Trincas Isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	17	34	0,2	6,80
2	(FC-2) J, TB	47	94	0,5	47

3	(FC-3) JE, TBE	9	18	0,8	14,40
4	ALP, ATP, ALC, ATC	10	20	0,9	18
5	O, P, E	2	4	1	4
6	EX	0	0	0,5	0
7	D	50	98	0,3	29,40
8	R	20	40	0,6	24

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

Com o Gráfico 3 é possível verificar a influência que cada defeito causa no Índice de Gravidade Global após a consideração dos fatores de ponderação.

Gráfico 3 - Influência dos Defeitos no Cálculo do IGG



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

Observa-se que a trinca interligada do tipo jacaré, mesmo sendo a segunda com mais frequência, tem maior influência para o cálculo do IGG, seguido pelo desgaste no pavimento que aparece em 100% do trecho estudado, isso se deve ao fator de ponderação utilizado no cálculo.

6.4 Cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG)

Com todos os dados coletados e calculados é possível determinar o índice de Gravidade Global a partir da soma dos Índices de Gravidade Individuais, a Tabela 6 expõe os dados.

Tabela 6 - Cálculo de Índice de Gravidade Global

Item	Defeito	IGI
1	Trincas Isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	6,80
2	(FC-2) J, TB	47
3	(FC-3) JE, TBE	14,40
4	ALP, ATP, ALC, ATC	18
5	O, P, E	4
6	EX	0
7	D	29,40
8	R	24
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	10,125
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	50
	IGG	203,72
	Conceito	Péssimo

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2022

Para o trecho em questão o Índice de Gravidade Global resultou em um valor de 203,72, sendo considerado por norma uma condição péssima ($IGG > 160$) de rolamento, segurança e conforto aos usuários da via.

O resultado final além de impactar no conforto e na segurança do usuário da via, segundo o estudo da CNT (2017), é um fator importante para a análise e estudos de procedimentos de restauração e conservação da via, em conjunto com uma avaliação estrutural do trecho.

6.5 Soluções de Reparos e Manutenção

Segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT IPR - 720 (2006) a avaliação dos pavimentos flexíveis necessita do conhecimento de vários processos, sendo eles, a avaliação das condições de superfície, das condições

estruturais, condições de rugosidade longitudinais, avaliação das solicitações do tráfego e condições de aderência pneu/pavimento. Levando em consideração os dados coletados é possível sugerir soluções para a melhoria da condição do pavimento estudado, mas sem descartar a necessidade dos demais estudos.

Atentando-se para os três defeitos que mais influenciaram na avaliação objetiva da superfície do pavimento, a variância da trilha de roda, a trinca interligada tipo jacaré e o desgaste é possível propor soluções com base nestes defeitos.

Para os afundamentos a solução segundo o Manual de Conservação Rodoviária do DNIT IPR – 710 (2005) seria um tipo de conservação corretiva rotineira em que a base defeituosa é removida mecanicamente ou manualmente e é inserido um material de suporte que aguarde a carga solicitada do pavimento e introduzindo um revestimento com mistura asfáltica. Para as trincas interligadas do tipo jacaré os reparos adequados são através de camadas asfálticas adicionais, como a recomposição do revestimento com areia asfalto a frio ou a quente ou então com mistura betuminosa também a frio ou a quente, ou recapeamento, que pode ocorrer através da reciclagem de pavimentos, que “Consiste no reaproveitamento de camadas betuminosas deterioradas – as quais através de processos específicos, são devidamente recuperadas, em termos de granulometria e de ligante betuminoso.” (DNIT IPR - 710, p. 104, 2006), como a trinca em questão é encontrada em 96% do pavimento no trecho estudado, o recapeamento seria abrangendo a área toda do trecho. Para o desgaste o serviço adequado seria a introdução de lama asfáltica que consiste de agregados miúdos, material de enchimento, água e emulsão asfáltica, com o objetivo de impermeabilizar e rejuvenescer o pavimento do desgaste ocorrido.

7 CONCLUSÃO

A Avenida Francisco Machado é um trecho importante da rodovia MG-341, pois liga uma outra rodovia estadual (MG-050), diretamente a um dos lugares turísticos mais importantes do estado, a cidade de São Roque, onde está localizada a Serra da Canastra, portanto, é um trecho em que há presença de muitos veículos leves e pesados de passeios, além de veículos de carga média e pesada que abastecem as cidades. E por ser um trecho urbano, em que possui restaurantes, clube, mercados, lojas e oficinas, em geral, há também os veículos que trafegam dentro da cidade, sobrecarregando assim a via em questão.

A partir dos estudos de campo realizados, em conjunto com os estudos bibliográficos foi possível concluir que a rodovia se encontra em péssimo estado, pois o Índice de Gravidade Global do trecho foi de 206,65, e a classificação para estado péssimo do pavimento se encontra no $IGG > 160$, desta maneira é visível que a rodovia não possui atividades de conservação e restauração corretamente, necessitando de uma maior atenção e investimento dos órgãos públicos.

O Boletim rodoviário (2020) do DER, diz que o trecho apesar de ser caracterizado como uma rodovia, é de responsabilidade da prefeitura, portanto a mesma foi procurada a fim de adquirir dados oficiais referentes à Avenida, foi informado que não há projetos de execução arquivados, como também arquivos registrados de conservação e possíveis restaurações, ao longo do estudo em campo foi possível analisar se houveram operações de conservação, por meio dos remendos que foram identificados, mas não foi possível estipular quando essas operações ocorreram e tampouco a periodicidade delas.

Os defeitos que mais influenciaram no resultado da condição do pavimento variaram de acordo com a classe de impacto ao pavimento. O defeito da trinca de “jacaré” com 96% de frequência no trecho, é um defeito de classe estrutural, o que compromete a capacidade do pavimento de suportar a carga que foi prevista em projeto, podendo afetar as demais camadas do pavimento. O desgaste, que foi encontrado em todo o trecho, se caracteriza como um defeito de classe funcional, o que implica na qualidade e segurança de rolamento no pavimento. Com isso, é possível concluir que o pavimento se encontra em uma situação crítica pois há comprometimento tanto estruturais quanto funcionais, afetando assim a segurança dos usuários e onerando os custos de restauração.

O afundamento da trilha de roda que alcançou um valor considerável no cálculo do Índice de Gravidade Global se deu devido a uma estaca com o valor do afundamento muito alto, sendo quase 12 vezes maior em relação as demais estacas que apresentaram o defeito, com isso, a variância, que faz a relação da disparidade dos valores isolados com a média total, foi um valor consideravelmente alto, influenciando assim no cálculo do IGG. Este ponto interfere significativamente no conforto dos usuários da via, mas é um ponto isolado que não ocorre nos outros pontos do trecho, o que se reflete, no Índice de Gravidade Individual da média, que foi um valor baixo, não influenciando de maneira significativa no cálculo do IGG.

A partir do estudo realizado deste trabalho surgiram sugestões para trabalhos futuros, destacam-se algumas possibilidades:

- Realizar a comparação do método estudado (Índice de Gravidade Global) com o método PCI (*Paviment Conditions Index*) citado no corpo do texto;
- Fazer o estudo com estimativas de custo para as manutenções em pavimentos;
- Realizar uma comparação sobre os impactos em curto, médio e longo prazo da falta de manutenção versus os transtornos que a manutenção causa enquanto é executada;
- Realizar um mapeamento das vias da cidade de Piumhi- MG identificando os tipos de pavimentos existentes;
- Fazer uma avaliação estrutural do mesmo trecho e identificar a necessidade de um novo aporte estrutural;
- Estudo sobre as patologias de outros tipos de pavimentações.

REFERÊNCIAS

- BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro, 2008.
- BRASIL. **Lei nº 8666**, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o Art. 37, inciso XXI da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Brasília, 1993.
- Confederação Nacional de Transportes. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019**. Brasília, DF: CNT: SEST SENAT, 2019.
- Confederação Nacional de Transportes. Transporte Rodoviário: **Impactos da Qualidade do Asfalto sobre o Transporte Rodoviário**. Brasília, 2019.
- Confederação Nacional de Transportes. Transporte Rodoviário: **Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram**. Brasília, 2017.
- Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia. **Pavimentação Urbana**. 1. ed. Brasília, 2015.
- DNIT. **Manual de Conservação Rodoviária**. Publicação IPR – 710. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.
- DNIT. **Manual de Pavimentação**. Publicação IPR – 719. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. Publicação IPR – 720. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.
- FERNANDES JÚNIOR, José Leomar; ODA, Sandra; ZERBINI, Luiz Francisco. **Defeitos e Atividades de Manutenção e Reabilitação em Pavimentos Asfálticos**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes. São Carlos, 2006.
- HADEN, Amanda Maria Hermann. **Manifestações patológicas de pavimento asfáltico: estudo de caso-Rodovia PR-323–Km 175 a Km 179**. Maringá: UNICESUMAR- Centro Universitário de Maringá, 2018.
- LIMA, J. P.; RAMOS, Rui AR; FERNANDES JUNIOR, José Leomar. **A prática de gestão de pavimentos em cidades médias brasileiras**. Braga, Portugal, 2006.

NORMA DNIT 005/2003 – TER. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos** – Terminologia. Publicação IPR. Rio de Janeiro, 2003.

NORMA DNIT 006/2003 – PRO. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos** – Procedimento. Publicação IPR. Rio de Janeiro, 2003.

NORMA DNIT 007/2003 – PRO. **Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos** – Procedimento. Publicação IPR. Rio de Janeiro, 2003.

NORMA DNIT 139/2010 – ES. **Pavimentação – Sub-base estabilizada granulometricamente** - Especificação de serviço. Publicação IPR. Rio de Janeiro, 2010.

NORMA DNIT 141/2010 – ES. **Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente** - Especificação de serviço. Publicação IPR. Rio de Janeiro, 2010.

NORMA DNIT 422/2019 – ES. **Pavimentação – Solo Cal – Adição de cal para Melhoria de Subleito** – Especificação de Serviço. Publicação IPR. Rio de Janeiro, 2019.

TAVARES, Ivan Elidio de Pinho; CAMPOS, Luís Guilherme Ferreira Chaves; SANTIAGO, Maristania Mendes; GOMES, Ricardo Paulino. **Boletim Rodoviário DER/MG 2020**. Departamento de Estradas de Rodagem. Minas Gerais, 2020.

VIEIRA, Suyanne Alves; PINHO JUNIOR, Antonio Adilson EufRASINO de; OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda de; AGUIAR, Marcos Fábio Porto de. **Análise Comparativa de Metodologias de Avaliação de Pavimentos Através do IGG e PCI**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Construção Civil. Universidade de Fortaleza, Centro Ciências Tecnológicas. Fortaleza, 2016.

ANEXO B – Planilha de Cálculo do IGG

RODOVIA:		PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)						Data:		Folha:	
TRECHO:		SUB-TRECHO:						Estaca ou Quilômetro		Estaca ou Quilômetro	
		REVESTIMENTO TIPO:						Índice de gravidade individual		Observações	
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação						
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR				0,2						
2	(FC - 2) J, TB				0,5						
3	(FC - 3) JE, TBE				0,8						
4	ALP, ATP, ALC, ATC				0,9						
5	O, P, E				1,0						
6	EX				0,5						
7	D				0,3						
8	R				0,6						
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE =	TRI =	F =	1 A () 1 B ()						
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv =	TRIV =	FV =	2 A () 2 B ()						
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n =	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG								Concelto
1A) IGI = $\bar{F} \times 4/3$ quando $\bar{F} \leq 30$				2A) IGI = \bar{FV} quando $\bar{FV} \leq 50$				Operator			
1B) IGI = 40 quando $\bar{F} > 30$				2B) IGI = 50 quando $\bar{FV} > 50$				Cálculo			
								Visto			

ANEXO C – Tarefas de Conservação Corretiva Rotineira

Serviço	Descrição
Reconformação da plataforma	Consiste em conformar superfície não pavimentadas, utilizando motoniveladora, sem adição de material, afim de permitir boas condições de tráfego e drenagem.
Recomposição manual de aterro	Consiste em recuperar manualmente partes erodidas dos aterros, visando restabelecer, inclusive, os perfis dos taludes, para evitar acidentes e danos ao corpo estradal.
Roçada manual	Consiste no corte da vegetação de pequeno porte na faixa de domínio, melhorando a visibilidade e aspecto da rodovia.
Capina Química	Consiste na erradicação da vegetação através da aplicação de produtos químicos, objetivando evitar sua expansão nos acostamentos e facilitar a drenagem.
Limpeza de sarjeta e meio fio	Consiste na remoção do material depositado ao longo das sarjetas e linhas d'água do meio fio, visando facilitar o escoamento das águas superficiais.
Limpeza de valeta de corte	Consiste na remoção do entulho e dos sedimentos existentes. No caso de valetas não revestidas deve se evitar a total remoção da vegetação. Apenas aquela que empeça o fluxo da água deve ser cortada.
Limpeza de bueiro	Consiste na remoção de todo material que impeça o livre funcionamento dos bueiros, restabelecendo-se o escoamento normal das águas.
Reparo de drenagem superficial de concreto	Consiste na remoção de todo material que impeça o livre escoamento das águas pela galeria.
Limpeza de drenagem da plataforma	Consiste na limpeza geral da drenagem superficial existente na plataforma da via, removendo o material resultante da limpeza, com o objetivo principal de permitir o escoamento das águas superficiais, em qualquer momento, e secundariamente, propiciar bom aspecto à rodovia.
Limpeza de drenagem fora da plataforma	Consiste na limpeza geral (mato, entulhos, solo), de todo tipo de drenagem superficial existente fora da plataforma da via, com o objetivo de permitir o livre escoamento das águas superficiais.
Recomposição de guarda corpo	Consiste na substituição ou reconstrução de guarda-corpos danificados, podendo se utilizar, eventualmente (pré-moldados). Trata-se de um serviço de alta prioridade que deve ser executado o mais rápido possível.
Selagem de trinca	Consiste no enchimento de trincas e fissuras no revestimento betuminoso ou pavimento de concreto de cimento com material asfáltico para impedir a penetração de água nas camadas inferiores do pavimento.
Tapa buraco	Consiste em reparar buraco ou depressão secundária no revestimento, de modo a evitar maiores danos ao pavimento e se obter uma superfície de rolamento segura e confortável.

Remendo profundo com demolição mecanizada	Consiste em remover a base defeituosa, substituir o material de suporte deficiente por outro com suporte adequado e reparar o revestimento com mistura asfáltica. Se necessário, executar drenagem superficial ou profunda.
Remendo profundo com demolição manual	Consiste em remover a base defeituosa, substituir o material de suporte deficiente por outro com suporte adequado e reparar o revestimento com mistura asfáltica. Se necessário, executar drenagem superficial ou profunda.
Limpeza e enchimento de juntas de pavimento de concreto de cimento Portland	Consiste em limpar as juntas dos pavimentos rígidos, calafetando-as com material apropriado que permite sua livre dilatação, evitando a penetração de água e materiais estranhos.
Renovação de sinalização horizontal	Consiste na pintura de faixas ao longo do eixo do pavimento, em seus bordos ou em faixas de circulação para fornecer/manter orientação visual ao motorista.
Recomposição de placa de sinalização	Consiste no reparo, substituição e implantação da sinalização vertical.
Limpeza de taxa refletiva monodirecional	Consiste na limpeza de taxas refletivas utilizando equipamento aplicador de água à alta pressão.
Limpeza de taxa refletiva bidirecional	Consiste na limpeza de taxas refletivas utilizando equipamento aplicador de água à alta pressão.
Reposição de taxa refletiva monodirecional	Consiste nos serviços de substituição ao longo das rodovias de taxas refletivas com pino, que sofreram avarias, o que exigirá uma substituição esparsa e descontínua.
Reposição de taxa refletiva bidirecional	Consiste nos serviços de substituição ao longo de rodovias de taxas de refletiva, com pino, que sofreram avarias, o que exigirá uma substituição esparsa e de descontínua.
Recomposição de Tela Anti-Ofuscante	Consiste na remoção das partes danificadas da tela anti-ofuscante e na recomposição para evitar o ofuscamento
Recomposição parcial de cerca com mourão de madeira	Consiste em substituir os arames e mourões que se encontram inutilizados. Esta tarefa tem alta prioridade devido ao perigo que representa para o usuário da estrada, a presença dos animais de grande porte que invadem a faixa de domínio.
Recomposição parcial de cerca – mourão de concreto	Consiste na substituição de arames e recuperação de peças isoladas, com aproveitamento parcial da extensão existente.
Substituição de balizador	Consiste na substituição ou utilização de balizador.
Recomposição de defesa metálica	Consiste na limpeza, pintura, reparo ou substituição de defesas metálicas.
Reposição de porteira	Consiste exclusivamente na substituição de porteira danificada. Os serviços de manutenção de porteiras poderão ser executados no local ou em oficina da Unidade Local ou Regional.
Reparo de Alambrado	Consiste no reparo de tela, suporte, prendedores ou base, em qualquer tipo de alambrado.

Remoção de lixo e entulho	Consiste em recolhimento, carga, transporte e descarga, em local predeterminado, de lixo e entulho, de toda espécie.
Varredura e limpeza de pista	Consiste em varrer e limpar as pistas e acostamentos, manualmente, para retirada de material terroso depositado e/ou acumulado, naquelas superfícies, por efeito do tráfego ou deficiência da drenagem superficial. Estão inclusos, nestes serviços, a carga, o transporte e a descarga do material resultante da limpeza.
Conservação manual de aceiro	Consiste na erradicação de vegetação, por meio de capina manual, nos aceiros junto às cercas da faixa de domínio.
Despraguejamento manual de gramados	Consiste na erradicação de ervas daninhas com uso de ferramentas manuais
Conservação de Árvores e Arbustos	Consiste nos tratos agrícolas às árvores ou arbustos dispostos nos bosques ou locais outros que, a critério da Residência de conservação, devam ser mantidos visando à preservação de poda, colocação de tutor, capina, adubação. Neste serviço pode ser incluído o plantio ou replantio em pequenas quantidades anuais.
Corte de árvores	Consiste no corte e remoção de árvores da faixa de domínio que estejam causando perigo à segurança de tráfego, estruturas, linhas elétricas, telefones, dutos, etc., ou que estejam mortas ou ainda, afetada por doença. O serviço, pelas suas características, requer medidas especiais para a segurança dos trabalhos e do tráfego. Inclui remoção do material resultante do corte e aplicação de venenos para evitar a rebrota.

ANEXO D – Tarefas de Conservação Preventiva Periódica

Serviço	Descrição
Recomposição de revestimento primário	Consiste em corrigir o desgaste da ação do tráfego e da erosão na pista de rolamento e acostamentos através a adoção de material selecionado, com objetivo de recompor a seção transversal e dar maior conforto e segurança ao usuário.
Limpeza de ponte	Consiste na limpeza e varredura do tabuleiro, limpeza de drenos, guarda-corpo e guarda-rodas para prover segurança do tráfego.
Caiação	Consiste na pintura de cal de sarjetas, meio fio, muros, guarda-corpos ou quaisquer outras superfícies, visando melhorar a visibilidade e aumentar a segurança dos usuários.
Capa selante com pedrisco	Consiste na aplicação de material betuminoso, seguida de imediata aplicação do agregado e tem como finalidade corrigir os revestimentos esgarçados, combater o envelhecimento dos revestimento ocasionados pela oxidação do ligante, restabelecer a impemeabilização da superfície do revestimento e servir como tratamento antiderrapante.
Lama asfáltica fina	Consiste na aplicação de uma mistura fluida de agregado miúdo, "filler", emulsão
Recomposição do revestimento com areia asfalto a frio	Consiste na aplicação de uma capa de mistura asfáltica para corrigir defeitos nas superfícies de rolamento.
Recomposição do revestimento com areia asfalto a quente	Consiste na aplicação de uma capa de mistura asfáltica para corrigir defeitos nas superfícies de rolamento.
Recomposição do revestimento com mistura betuminosa a frio	Consiste em colocar uma capa de mistura asfáltica na superfície de rolamento, para correção de defeitos do pavimento e recomposição da seção transversal, visando-se obter um rolamento seguro e confortável.
Recomposição do revestimento com mistura betuminosa a quente	Consiste em colocar uma capa de mistura asfáltica na superfície de rolamento, para correção de defeitos do pavimento e recomposição da seção transversal, visando-se obter um rolamento seguro e confortável.
Combate à exsudação com pedrisco	Consiste no espalhamento manual de agregado sobre a superfície exsudada. Visa evitar a ocorrência de subida do material betuminoso para a superfície do revestimento tornando-a lustrosa e escorregadia nos dias chuvosos.
Fresagem	É o processo pelo qual se corta parte das camadas superficiais de um pavimento existente, conferindo-lhe um novo perfil.
Reciclagem de Pavimentos	Consiste no reaproveitamento de camadas betuminosas deterioradas – as quais através de processos específicos, são devidamente recuperadas, em termos de granulometria e de ligante betuminoso.
Pintura de Ligação, com emulsão asfáltica tratada com polímero	Consiste na aplicação de emulsão asfáltica modificada por polímero sobre a superfície de base imprimada ou revestimento anterior à execução de uma camada betuminosa qualquer, objetivando promover condições de aderência entre as camadas.

Tratamento Superficial Duplo com Asfalto Polímero	Consiste em uma camada de revestimento do pavimento, constituído por duas aplicações sucessivas de ligante asfáltico modificado por polímero do tipo SSB cobertas cada uma por camada de agregado mineral.
Micro Revestimento de Pré-Misturado a Frio, com Asfalto Polímero	Consiste na associação de agregados, materiais de enchimento (filler), emulsão asfáltica modificada por polímero tipo SSB, água, aditivos se necessário, com consistência fluida, uniformemente espalhada sobre uma superfície plenamente preparada.
Concreto Betuminoso Usinado a Quente com Asfalto Polímero	Consiste em mistura executada em usina apropriada, com características específicas, constituída de agregados, material de enchimento (filler) se necessário, e cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero tipo SSB, espalhado e comprimido a quente.
Recomposição de placa de concreto	Consiste em reparar áreas danificadas de pavimentos de concreto de cimento, para evitar a propagação de defeitos na própria placa e nas placas vizinhas. Inclusive a correção de suporte deficiente.