



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS - FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CLEYDINILTON DE OLIVEIRA FERREIRA

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTO FLEXÍVEL
NA MGC 120 UBÁ X GUIDOVAL

UBÁ
2023

CLEYDINILTON DE OLIVEIRA FERREIRA

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTO FLEXÍVEL
NA MG 120 UBÁ X GUIDOVAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Fundação Presidente Antônio Carlos - FUPAC, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Msc. Livia Souza de Oliveira

**UBÁ
2023**

RESUMO

As rodovias desempenham um papel de muita responsabilidade no sistema modal do Brasil, e se encontram diretamente ligadas ao progresso socioeconômico do país. Dessa forma, é crucial assegurar que essas estradas ofereçam condições de tráfego adequadas, garantindo sempre a conformidade e o bem-estar dos usuários. Diante do exposto, o estudo visou analisar e buscar alternativas para melhorar a qualidade do pavimento flexível da MGC-120, especificamente o trajeto que se estende do quilômetro 702 ao quilômetro 714,6. Trata-se de uma via importante que conecta as cidades de Guidoal e Ubá, com saídas para outras cidades. Como metodologia foi realizada uma pesquisa bibliográfica, utilizando-se de textos retirados de livros, artigos acadêmicos, biblioteca digital, sites, cujos autores versam sobre o tema. Foi feita uma análise detalhada em um segmento de 12,6 quilômetros dessa rodovia, em que foram identificadas várias irregularidades no pavimento, incluindo afundamentos, fissuras, remendos e rachaduras. Dessa forma conclui-se que tais irregularidades foram agravadas devido a vários fatores, destacando-se, entre eles: problemas climáticos, o tráfego por parte dos habitantes locais e circulação de ônibus, carros, caminhões. Portanto, conforme a pesquisa e análise realizadas, foi possível apresentar propostas de soluções que, uma vez colocadas em prática, garantiriam a melhoria da qualidade da superfície do pavimento.

Palavras-chave: Afundamentos. Trincas. Rodovias. Drenagens.

ABSTRACT

Highways play a very responsible role in Brazil's modal system, and are directly linked to the country's socioeconomic progress. Therefore, it is crucial to ensure that these roads offer adequate traffic conditions, always guaranteeing compliance and the well-being of users. In view of the above, the study aimed to analyze and seek alternatives to improve the quality of the flexible pavement of MGC-120, specifically the route that extends from kilometer 702 to kilometer 714.6. It is an important road that connects the cities of Guidoal and Ubá, with exits to other cities. As a methodology, a bibliographical research was carried out, using texts taken from books, academic articles, digital libraries, websites, whose authors deal with the topic. A detailed analysis was carried out on a 12.6, kilometer segment of this highway, in which several irregularities in the pavement were identified, including sinking, fissures, patches and cracks. Therefore, it can be concluded that such irregularities were aggravated due to several factors, including: weather problems, traffic caused by local inhabitants and the circulation of buses, cars and trucks. Therefore, according to the research and analysis carried out, it was possible to present proposals for solutions that, once put into practice, would guarantee the improvement of the quality of the pavement surface.

Keywords: Sinks. Cracks. Highways. Drainage.

1 INTRODUÇÃO

A pavimentação asfáltica é muito importante para as pessoas que a utilizam, pois serve como uma estrada para carros e outros veículos. Sua estrutura, formada por várias camadas, ajuda a suportar o peso dos veículos. No entanto, nem sempre essa estrutura encontra-se em boas condições. Com o passar do tempo, com o uso contínuo, é comum aparecerem patologias nos pavimentos. A palavra "patologia" vem da origem grega na junção dos termos Pathos (doenças) e logos (estudo), ou seja, o estudo das doenças e problemas. Quando aplicada a pavimentos, a patologia é o estudo das falhas e problemas que ocorrem nas estradas, identificando suas causas e efeitos. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) tem normas que definem esses problemas em pavimentos asfálticos, como rachaduras, fissuras, buracos e outros.

Por isso, é fundamental que essa estrada seja mantida em bom estado durante o ano todo, independente do clima, para garantir o conforto e a segurança dos usuários. Para isso, é necessário realizar manutenções regulares e usar a estrada de forma adequada, a fim de evitar problemas e acidentes.

Na maioria das cidades brasileiras, são adotados procedimentos de avaliação e técnicas de manutenção recomendados por órgãos rodoviários. No entanto, o principal desafio enfrentado pelos órgãos públicos é a falta de recursos financeiros, o que muitas vezes impede a manutenção adequada das estradas, deixando os usuários insatisfeitos.

De acordo com a Confederação Nacional do Transporte (CNT) (2021), o Brasil tem poucas estradas pavimentadas em relação ao total. Mesmo nas vias pavimentadas, há trechos ruins (atingindo até 23,2%). A malha ferroviária é pequena e o transporte pluvial é pouco usado, deixando o transporte aéreo como única alternativa às estradas.

No país, o transporte rodoviário é dominante, representando até 75% do total, conforme a Fundação Dom Cabral (2018). A CNT (2021) afirma que a qualidade das estradas afeta de forma significativa o custo dos veículos, aumentando despesas com combustível e manutenção devido a estradas ruins e inseguras.

Assim, fica evidente que é crucial realizar manutenções regulares e apropriadas, bem como garantir o uso de forma correta da estrada. Isso ajuda a prevenir o aparecimento de problemas estruturais e a reduzir o número de acidentes.

Diante do exposto o estudo visou analisar e buscar alternativas para melhorar a qualidade do pavimento flexível da MGC-120, especificamente o trajeto que se estende do quilômetro 702 ao quilômetro 714,6, essa via desempenha um papel crucial, conectando as

idades de Guidoal e Ubá, com saídas para outras cidades. Como metodologia foi realizada uma pesquisa bibliográfica, utilizando-se de textos retirados de livros, artigos acadêmicos, biblioteca digital, sites, cujos autores versam sobre o tema.

Dessa maneira, o estudo de caso visou através de análises e pesquisas, identificar as patologias presentes nessa rodovia, apresentar algumas soluções que poderiam ser colocadas em prática, vislumbrando melhorias da qualidade da superfície do pavimento.

2 DESENVOLNIMENTO

2.1 Tipos de pavimentos

2.1.1 Rígidos

Os pavimentos rígidos, conforme descrição de Jorge (2022), têm uma camada única de concreto na parte de cima. Essa camada pode ser simples ou ter reforço de metal. Ela serve ao mesmo tempo como a parte que desgasta com o uso e como base. Isso acontece porque é muito resistente à flexão, o que ajuda o pavimento a não ceder muito, ou seja, não sofra muitas deformações, mesmo quando muitos veículos pesados passam por cima dele.

Podem ser considerados como um modelo de pavimento em que a camada de cima é muito dura comparada com as camadas abaixo. Dessa forma, entende-se que ela aguenta quase todas as pressões vindas dos veículos. Uma informação especial sobre isso é que o concreto usado, chamado Concreto Portland Pozolânico é muito resistente, principalmente, porque tem um módulo de elasticidade muito elevado. Além disso, às vezes, pode ficar ainda mais forte se usarmos coisas como barras e telas de aço para dar um reforço extra (DNIT IPR - 719, 2022).

2.1.2 Semirrígidos

Conforme o Instituto de Pesquisas em Transportes (IPR) – 719 (2022), o pavimento semirrígido tem como característica principal à base cimentada, sendo composta por uma base de solo de cimento e um revestimento composto de uma camada asfáltica.

Para Ramos e Savi (2022), o tratamento semirrígido é conhecido por sua força devido ao uso de uma base de cimento, como solo-cimento ou solo-cal, com um revestimento asfáltico, tendo assim uma alta resistência à tração.

2.1.3 Flexíveis

A pavimentação flexível é feita com camadas. A camada da parte superior tem asfalto, a camada do meio é feita de material granular para a base, e a camada inferior, geralmente usando o solo local, forma a sub-base (SILVA; SANTOS, 2021).

Conforme Litaiff *et al.* (2022), esse tipo de pavimento necessita de camadas mais espessas, devido aos materiais que são capazes de deformar ou serem arriscados, e também ao

peso das cargas aplicadas sobre ele. Dessa forma, essas camadas mais espessas garantem que o solo subjacente seja mais resistente do que a pressão exercida. Além disso, Litaiff *et al.* (2022) observa que os pavimentos flexíveis apresentam menos coesão entre as camadas, o que faz com que os níveis se alterem, resultando em depressões localizadas com diferenças significativas de altura na superfície.

Em comparação com o pavimento rígido, o pavimento flexível deforma mais, elasticamente. Ele também distribui os esforços de forma diferente entre suas camadas, destacando-se que as tensões verticais se concentram nas camadas inferiores próximas às cargas aplicadas (GASPAR; PINHEIRO, 2021).

2.2 Principais vantagens e desvantagens do pavimento flexível

É importante entender qual tipo de pavimentação usar, pois isso significa analisar todos os custos de construção e manutenção para determinar o que é mais econômico (ORTEGA; FILLA; ARREBOLA, 2022).

O QUADRO 1 abaixo cita as principais vantagens e desvantagens de se usar o pavimento flexível.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens do pavimento flexível

PRINCIPAIS VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Melhor aderência nas demarcações viárias, por ter textura rugosa, tempo de instalação é menor, alta temperatura de aplicação.	Estruturas mais espessas, por sua vez faz necessário que sejam feitas mais escavações e movimentos da terra.
Durabilidade: tem se vida útil de aproximadamente dez anos, levando em consideração a manutenção correta.	É afetado constantemente com produtos químicos, tais como: óleo, graxas, combustíveis. Além de ter a visibilidade reduzida durante a noite.

Fonte: ORTEGA; FILLA; ARREBOLA (2022). Adaptado pelo autor.

2.3 Camadas dos pavimentos flexíveis

2.3.1 Revestimento

O revestimento é a camada do pavimento responsável por receber as cargas estáticas e dinâmicas sofridas na sua superfície e consequentemente transferi-la para as próximas camadas, sem sofrer qualquer tipo de alteração do seu corpo, como: deformações elásticas e plásticas, fragmentação dos componentes, perda da sua compactação. Até mesmo o revestimento é capaz de ser composto por outras camadas, conforme o QUADRO 2; sejam eles por critérios construtivos, técnicos e de custo (BALBO, 2015).

Quadro 2 - Termos aplicáveis a camadas de revestimento asfáltico

DESIGNAÇÃO DO REVESTIMENTO	DEFINIÇÃO	ASSOCIAÇÕES
Camada de Rolamento	É a camada superficial do pavimento, diretamente em contato com as cargas e com ações ambientais	Camada de desgaste, capa de rolamento, revestimento
Camada de ligação	É a camada intermediária, também em mistura asfáltica, entre a camada de rolamento e a base do pavimento	Camada de <i>binder</i> ou simplesmente <i>binder</i>
Camada de nivelamento	Em geral, é a primeira camada de mistura asfáltica empregada na execução de reforços (recapeamento), cuja função é corrigir os desníveis em pista, afundamentos localizados, enfim, nivelar o perfil do greide para posterior execução da nova camada de rolamento	Camada de reperfilagem ou simplesmente reperfilagem
Camada de reforço	Nova camada de rolamento, após anos de uso do pavimento existente, executada por razões funcionais, estruturais ou ambas	"Recape" e recapeamento são termos populares (usa-se também a expressão "pano asfáltico", que muitas vezes parece comprometer menos)

Fonte: BALBO (2015). Adaptado pelo autor.

2.3.2 Base

Trata-se da camada tida como fundamental em termos de estrutura, encarregada de suportar e espalhar as forças provocadas pelos transportes, de modo a impactar de maneira amenizada nas camadas subjacentes (subleito). Essa camada pode ser formada por materiais que foram passados por processos químicos de granulometria, sendo assim estabilizados, empregando elementos como cal, cimento, betume, entre outros (DNIT IPR - 719, 2022).

2.3.3 Sub-base

Conforme as observações de Silva *et al.* (2022), a sub-base é uma camada adicional à base, quando, devido a considerações econômicas e técnicas, não é viável posicionar a base diretamente sobre a regularização ou fortalecimento do subleito. Salvo em pavimentos de estrutura invertida, é necessário que o material constituinte da sub-base apresente características tecnológicas superiores às do reforço. No que se refere ao material da base, o mesmo deve apresentar uma qualidade ainda mais elevada do que o material presente na sub-base.

2.3.4 Reforço subleito

A sua função é dar suporte à sub-base, que, por sua vez, complementa a base, o que permite compreender que o reforço do subleito ajuda a suportar e distribuir as forças que vêm de cima, mas não as absorve permanentemente, o que é um atributo do subleito. Pode-se pensar no reforço do subleito como uma camada extra sobre o subleito, ou uma camada adicional à sub-base (DNIT IPR-719, 2022). Em contrapartida Carvalho *et al.* (2019), afirma que o reforço do subleito camada granular que tem como foco melhorar a capacidade de suporte de carga do subleito e de reduzir a altura da sub-base.

Essa camada é colocada sobre o leito preparado tem o propósito de diminuir as camadas acima dela e aprimorar as qualidades do subleito. Isso é feito através de compactações que seguem as especificações do California Bearing Ratio (CBR), determinadas pelo controle de qualidade (DNIT IPR-719, 2022).

2.3.5 Subleito

Conforme Meurer *et al.* (2022), o subleito é como se fosse a fundação de uma casa. Se não for preparado de forma adequada, pode colocar em risco todo o desenvolvimento de pavimentação. Ele serve como apoio para as camadas do pavimento, onde as cargas do tráfego são transmitidas para o solo. Se o subleito não tiver sido preparado corretamente, pode causar problemas em toda a armação do pavimento.

2.4 Materiais que compõem cada camada

Segundo Balbo (2015), há diversas maneiras diferentes de fazer o pavimento de estradas, levando em consideração as características específicas de cada região, onde a estrada será construída. Seguindo esse raciocínio, o mesmo listou algumas das possibilidades dos tipos mais comuns e gerais de materiais de pavimentação, que podem servir como base para outras opções. Dessa forma, conforme se nota no QUADRO 3 são discorridos os tipos mais usuais de materiais que são avistados, a sua aplicabilidade nas camadas dos pavimentos com sua respectiva abreviatura, que são de uso comum no meio rodoviário.

Quadro 3 - Aplicações dos materiais em camadas de pavimentos

APLICAÇÕES DOS MATERIAIS EM CAMADAS DE PAVIMENTOS				
Camadas	Asfálticos	Concretos	Cimentados	Granulares e Solos
Revestimento	Concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ)	Blocos pré-moldados de concreto (BLO)	Não se aplicam	Paralelepípedo (PAR)
	Concreto asfáltico usinado a frio (CAUF)	Concreto autonivelante (CAN)		Tratamento primário com cravação de brita ou cascalho sem controle de granulometria
	Concreto asfáltico modificado com polímeros (CAMP)	Concreto compactado com rolo (CCR)		-
	Concreto asfáltico modificado com borracha (CAMB)	Concreto cimento Portland (CCP)		-
	Camada porosa de atrito (CPA)	Concreto de elevada resistência (CER)		-

Quadro 3 - Aplicações dos materiais em camadas de pavimentos (Continuação)

Camadas	Asfálticos	Concretos	Cimentados	Granulares e Solos
Revestimento	Lama asfáltica (LA)	Placas de concreto pré-moldados (CPM)	-	-
	Microconcreto asfáltico (MCA)	Concreto de alto desempenho (CAD)	-	
	Pré-misturado a frio (PMF)	Concreto armado (CAR)	-	
	Pré-misturado a quente (PMQ)	Concreto protendido (CPT)	-	
	<i>Stone matrix asphalt</i> (SMA)	-	-	
	Tratamento superficial duplo (TSD)	-	-	
	Tratamento superficial simples (TSS)	-	-	
	Tratamento superficial triplo (TST)	-	-	
Base	Macadame betuminoso (MB)	Concreto compactado com rolo (CCR)	Brita graduada tratada com cimento (BGTC)	Bica corrida (BC)
	Pré-misturado a frio (PMF)	Concreto cimento Portland (CCP)	Solo-brita-cimento (SBC)	Bica graduada simples (BGS)
	Pré-misturado a quente (PMQ)	Concreto armado (CAR)	Solo-cimento (SC)	Macadame hidráulico (MH)
	Solo betume (SB)	Concreto protendido (CPT)	Solo-cal (SCA)	Macadame seco (MS)
	Concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ)	-	-	Solo arenoso fino laterítico (SAFL)
	Concreto asfáltico usinado a frio (CAUF)	-	-	Solo argiloso laterítico (SAL)
	Concreto asfáltico modificado com polímeros (CAMP)	-	-	Solo laterítico concrecionado (SLC)

Quadro 3 - Aplicações dos materiais em camadas de pavimentos (Continuação)

Camadas	Asfálticos	Concretos	Cimentados	Granulares e Solos
Base	-	-	-	Solo saprolítico (SS)
	-	-	-	Solo betume (SB)
	-	-	-	Agregado reciclado de entulho de construção e de demolição (RCD)
Sub-base	Solo betume (SB)	Não se aplicam	Brita graduada tratada com cimento (BGTC)	Bica corrida (BC)
	Macadame betuminoso (MB)		Solo melhorado com cimento (SMC)	Bica graduada simples (BGS)
	Concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ)		Solo-brita-cimento (SBC)	Macadame hidráulico (MH)
	Concreto asfáltico modificado com polímeros (CAMP)		Solo-cimento (SC)	Macadame seco (MS)
	Concreto asfáltico usinado a frio (CAUF)		Solo-cal (SCA)	Solo arenoso fino laterítico (SAFL)
	-		-	Solo argiloso laterítico (SAL)
	-		-	Solo laterítico concrecionado (SLC)
	-		-	Solo saprolítico (SS)
	-		-	Solo betume (SB)
	-		-	-

Quadro 3 - Aplicações dos materiais em camadas de pavimentos (Continuação)

Camadas	Asfálticos	Concretos	Cimentados	Granulares e Solos
Reforço do Subleito	Não se aplicam	Não se aplicam	Solo melhorado com cimento (SMC)	Solo arenoso fino laterítico (SAFL)
			Solo-cal (SCA)	Solo argiloso laterítico (SAL)
			-	Solo laterítico concrecionado (SLC)
			-	Solo saprolítico (SS)
			-	Solo betume (SB)
			-	Agregado reciclado de entulho de construção e de demolição (RCD)
Subleito	Não se aplicam	Não se aplicam	Não se aplicam	Camada final de terraplanagem (CFT)

Fonte: BALBO (2015). Adaptado pelo autor.

2.5 Drenagem rodoviária

No passado, a drenagem era empregada como um método para irrigar terrenos e coletar água da chuva. Ao longo do tempo, suas funções se diversificaram e ganharam destaque no campo das obras hidráulicas. Por meio de técnicas desenvolvidas ao longo de milênios, essas estruturas passaram por aprimoramentos significativos, evoluindo para um nível de grande importância. Isso resultou na substituição dos antigos sistemas de valas simples por dutos cobertos (GAIA, 2014; CHRISTOFIDIS; ASSUMPCÃO; KLIGERMAN, 2019).

De acordo com o DNIT IPR-724 (2006), a drenagem em rodovias desempenha a função de remover a água que entra em contato com a estrada. Esse processo envolve a coleta e o direcionamento desse líquido para áreas onde não comprometa a segurança e a durabilidade da via.

Segundo a classificação estabelecida pelo DNIT IPR-724 (2006), a drenagem rodoviária é categorizada em quatro tipos: Drenagem de Transposição de Talvegue, Drenagem Superficial, Drenagem do Pavimento e Drenagem Subterrânea ou Profunda.

2.6 O que são manifestações patológicas em pavimentos

As estradas com superfície de asfalto que são muito usadas no Brasil, têm enfrentado muitos problemas, como: buracos, ondulações e rachaduras. Isso acontece porque a estrada se desgasta. Esse desgaste pode ficar pior por causa das coisas que acontecem na natureza e porque há muitos carros que passam o tempo todo (PIRES; MENDES, 2021).

O pavimento precisa ser planejado, criado, construído e mantido para que tenha sempre a mesma qualidade em todas as áreas. Isso é normalmente medido observando três fatores principais: quão seguro é, quão confortável fica e o quanto isso custa (PIRES; MENDES, 2021).

Para Bernucci *et al.* (2022), o que mais importa para saber como está uma estrada é observar os problemas que aparecem na superfície dela. Esses problemas podem surgir cedo, por causa de erros na construção, ou mais tarde, por causa do uso intenso e do clima. O manual do DNIT 005 (2003) encontra-se descrito que as coisas como deformações, degradações, perceptíveis ao nosso campo de visão, na superfície da estrada, são os problemas dela e podem ser divididos em dois tipos: um tipo relacionado à estrutura, ou seja, como a estrada aguenta as cargas dos carros; o outro tipo está ligado à qualidade de dirigir e à segurança na estrada (BERNUCCI *et al.*, 2022).

2.7 Tipo de manifestações patológicas

Os problemas mais frequentes que aparecem nas estradas de asfalto são divididos em tipos como fendas (trincas), afundamentos, ondulação ou corrugação, escorregamento, exsudação, desgaste, panela ou buraco e remendo, de acordo a norma do DNIT 005 (2003).

2.7.1 Fendas

Segundo DNIT 005 (2003), determina-se como qualquer irregularidade encontrada na superfície do pavimento, na qual possam ocasionar aberturas de pequenos e grandes portes a que são denominadas trincas e fissuras. Bernucci *et al.* (2022), cita que quando essas aberturas do pavimento são inferiores a 1,5cm elas são denominadas como fissuras e quando superior a esse valor são denominadas de trincas.

2.7.1.1 Trincas

As trincas transversais são trincas isoladas que ficam posicionadas perpendicularmente ao trecho da rodovia. Quando seu comprimento for acima de 100 cm caracteriza-se como trinca transversal do tipo longa, quando for até 100 cm é denominada como trinca transversal do tipo curta. As trincas longitudinais são aquelas dispostas de forma correspondente ao eixo da rodovia, tendo as mesmas nomenclaturas que as trincas transversais quando sua extensão for no máximo ou superior a 100 cm. As trincas existentes do tipo “bloco” e trincas do tipo “couro de jacaré”, são um conjunto de blocos de formas retangulares com os lados bem definidos, e a outra sem direções bem definidas, respectivamente (ARAUJO, 2020).

2.7.1.2 Fissuras

As fissuras são fendas visíveis à nossa visão, com sua abertura inferior a 1,5m, estando posicionada em qualquer direção ao longo da rodovia (BRANDÃO, 2020).

2.7.2 Afundamento

Tendo em vista que o pavimento afunda e fica mais baixo, isso é denominado de deformação permanente. Às vezes, essa deformação vem acompanhada de partes que ficam mais altas. Isso pode acontecer de duas maneiras diferentes: o afundamento plástico, que é como se a estrada cedesse, ou a consolidação, que é como se ela ficasse mais compacta (SOUZA, 2023).

2.7.2.1 Afundamento plástico

Esse tipo de afundamento acontece quando mais de uma das partes da estrada se afundam com o tempo e podem até subir de um lado. Quando é um afundamento menor, até 6 metros, é chamado de afundamento plástico local. No entanto, se for maior que 6 metros, é chamado de afundamento plástico de trilha de roda (DNIT 005, 2003).

2.7.2.2 Afundamento de consolidação

Acontece quando partes da estrada afundam, mas não sobem de um lado. Isso ocorre por causa de construções mal-feitas, especialmente se não compactarem bem o solo. Se é um afundamento pequeno, até 6 metros o seu comprimento longitudinal, é chamado de afundamento por consolidação local. Caso seja maior que 6 metros, é chamado de afundamento por consolidação de trilha de roda (DNIT 005, 2003).

2.7.3 Corrugação ou ondulação

Segundo Araujo (2020), as manifestações identificadas como corrugações são como pequenas ondulações que vão de um lado ao outro da estrada. Às vezes, essas ondulações parecem costelas de vaca quando vistas de cima. Elas aparecem porque os carros aplicam forças laterais na estrada quando estão acelerando ou freando, especialmente em áreas inclinadas, curvas e cruzamentos.

Quando as ondulações aparecem na superfície do asfalto, são chamadas de "escorregamento de massa". Isso acontece quando o asfalto sai da parte onde os carros passam por causa do fluxo e do clima. Isso geralmente ocorre quando a mistura de asfalto não é muito resistente e não aguenta bem o uso constante dos carros e o clima (DNIT 005, 2003).

2.7.4 Desgaste

Também designado como desagregação, esse problema acontece quando as pedrinhas do pavimento soltam devido ao clima e dos carros que trafegam pela rodovia. Isso acontece quando a mistura de asfalto não foi feita de forma correta, ou quando os materiais usados não eram bons, ou ainda quando a construção teve erros (LIMA; LIMA, 2022).

2.7.5 Escorregamento

O escorregamento se dá quando existe transferência do revestimento na superfície, apresentando dessa maneira fendas em forma de meia lua. Complementando ainda que nos pontos onde tem-se bastante frenagem, são áreas que apresenta maior presença de escorregamento (ARAUJO, 2020).

2.7.6 Exsudação

Conforme DNIT 005 (2003), exsudação se entende como o excesso da presença do ligante betuminoso na camada superior do pavimento, ocasionando várias manchas escuras no pavimento. Justen e Böck (2020) acrescentam que essa patologia apresenta-se quando o asfalto dilata devido ao calor. Devido a essa expansão, o asfalto não tem onde ocupar-se, então ele se exsuda por meio do revestimento do pavimento.

2.7.7 Panela ou buraco

Araujo (2020), afirma que as panelas ou buracos são apenas consequências de outros defeitos do pavimento, por exemplo as trincas, afundamentos e desgaste. Já Bernucci *et al.* (2022), definem as panelas ou buracos como uma depressão no revestimento asfáltico, que podem ou não, futuramente, atingir as demais camadas do pavimento.

2.7.8 Remendos

Conforme explicado pelo DNIT 005 (2003), um remendo é quando tiram um pedaço da estrada e colocam um novo pedaço no lugar (pode ser igual ou diferente). Normalmente, os remendos presentes são vistos como problemas, porque mostram que a estrada não está indo bem. São apontados como defeitos, quando causam problemas como: trepidações, devido ao trânsito intenso de veículos, uso de material ruim, condições ambientais agressivas e problemas na construção.

2.8 Processos de manutenção/restauração/reabilitação do pavimento

Segundo Santarem, Lehnhart e Alves (2019), a manutenção/restauração de pavimentos visa preservar sua condição original ao longo do tempo, durante o tráfego e as variações de temperatura. Já as atividades preventivas, conforme Rocha, Ferreira e Borba (2019), normalmente, englobam remendos, selagem de trincas e capas protetoras. Detectar e reparar defeitos, precocemente, é crucial para otimizar recursos. Trincas não tratadas podem se agravar, impactando nos custos de execução, manutenção e reabilitação veicular.

2.8.1 Atividades de manutenção do pavimento

De acordo com o IPR - 719 (2022), as atividades de manutenção do pavimento são essenciais para que sejam realizados os consertos e identificações dos defeitos nas fases iniciais, pois geralmente são executadas atividades como: remendos e selagem de trincas. Caso não seja feito tratamento rápido e adequado, podem evoluir para defeitos graves, colocando em risco a integridade física e mental dos condutores. Exemplos dessas atividades são o remendo, capas selantes, lama asfáltica e tratamentos superficiais (DNIT IPR - 719, 2022).

A. Remendo superficial ou tapa-buraco: caracteriza-se pelo conserto de pequenos danos no pavimento, como buracos e depressões, para evitar danos maiores e garantir uma superfície de estrada segura e suave para dirigir.

B. Remendo profundo: envolve correções localizadas mais extensas, às vezes até a remoção de partes das camadas inferiores. Se necessário, substituem-se os materiais deficientes por outros adequados e repara-se o revestimento com asfalto, podendo incluir a melhoria da drenagem superficial e profunda.

C. Misturas asfálticas usinadas: consiste em renovar a camada superior do asfalto existente com uma camada muito fina de asfalto novo, geralmente cerca de 2,5 cm de espessura. Isso pode ser feito usando misturas asfálticas a frio, areias-asfalto a frio ou a quente, ou mesmo concretos asfálticos, que são espalhados na superfície usando máquinas especiais como vibro-acabadoras e motoniveladoras.

D. Lama asfáltica: envolve a utilização de uma mistura líquida de areia, emulsão asfáltica e água, em quantidades específicas. Suas camadas são finas, geralmente menos de 1,0 cm, e não têm efeitos estruturais significativos.

E. Capa selante: consiste em aplicar primeiro uma camada de um líquido pegajoso (ligante asfáltico) de asfalto e, em seguida, cobri-lo, imediatamente, com areia fina ou pó de pedra. Esses agregados são espalhados uniformemente com um rodo.

F. Tratamentos superficiais simples ou duplos: caracterizam-se pelas atividades alternando-se entre aplicações entre banhos de ligante asfáltico e cobertura com agregados.

2.8.2 Atividades de reabilitação do pavimento

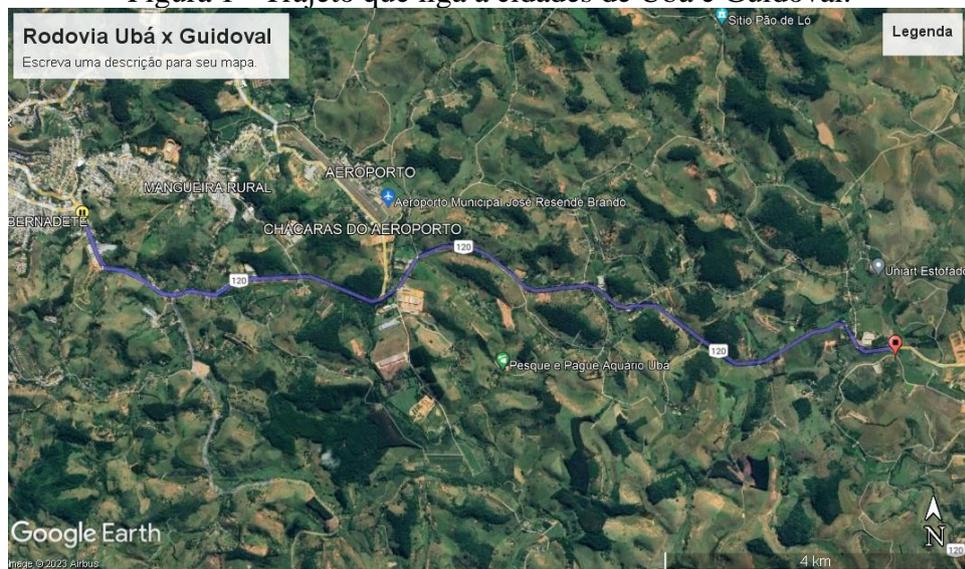
As atividades de reabilitação mais utilizadas, segundo Rocha, Ferreira e Borba (2019), são: fresagem, reciclagem, recapeamento estrutural e reconstrução:

- A. Fresagem: caracteriza -se pela remoção do revestimento antigo, a fim de acertar a superfície do recapeamento ou também usada como reciclagem.
- B. Reciclagem: apresentando finalidades como a correção de patologias do tipo exsudação e corrugações e têm como principal fundamento a remoção das misturas asfálticas velhas, no sentido de renovar o pavimento.
- C. Recapeamento estrutural: consiste na composição de uma ou mais camadas acima do pavimento que já existe, aumentando a estrutura do pavimento.
- D. Reconstrução: nesse processo ocorre a remoção de toda estrutura do pavimento, instalações de novos sistemas de drenagem, nova capacidade de fluxo de veículos com conforto e segurança.

2.9 Estudo de caso da rodovia Ubá x Guidoal na MGC 120

O estudo de caso buscou conhecer as principais patologias no pavimento asfáltico na MGC 120 referente ao trecho Km 702 a Km 714,6, trecho situado entre as cidades de Ubá (MG) e Guidoal (MG), conforme a FIG.1, cuja extensão equivale a 12,6 Km.

Figura 1 - Trajeto que liga a cidades de Ubá e Guidoal.



Fonte: Google Earth (2023).

Como referência, o quilômetro 702,5 foi encontrado conforme se pode notar na FIG.2, a patologia denominada trinca do tipo couro de jacaré, ocasionada devido à degradação do revestimento asfáltico, pelas ações do tráfego excessivo, podendo ser solucionada como uma selagem de trincas com a lama asfáltica.

Figura 2 - Trincas do tipo “couro de jacaré”



Fonte: Próprio Autor (2023).

Seguindo o trajeto, já no quilômetro 703,10, de acordo com a FIG.3 observa-se a patologia afundamento plástico, ocorrida devido ao intenso tráfego de veículos e como é uma região que apresenta mais afluência, os veículos precisam fazer uma força a mais, principalmente os veículos de elevado peso, podendo ocasionar um afundamento no local devido à fluência do revestimento. A fim de solucionar o problema, poderia ser feito um recapeamento estrutural no intuito de construir uma nova camada com uma espessura uniforme ou um remendo com Concreto Betuminoso Usinado Quente (CBUQ) e ligante asfáltico.

Figura 3 - Afundamento plástico



Fonte: Próprio Autor (2023).

Chegando ao quilômetro 704,50, nota-se uma manifestação denominada de escorregamento, demonstrada na FIG.4, que ocorre devido à presença de uma curva acentuada e os veículos são obrigados a realizar a frenagem, ocasionando, portanto, o deslizamento da massa asfáltica e isso implica o surgimento de fendas, afundamentos. É provável que se possa aplicar um remendo profundo a fim de solucionar esse problema, removendo o revestimento antigo trocando por um novo acertando a superfície.

Figura 4 - Escorregamento



Fonte: Próprio Autor (2023).

No quilômetro 706,70, constata-se uma patologia do tipo remendo, de acordo com a FIG.5, que surge quando a atividade não é realizada de forma correta, pela ação do meio ambiente ou se o material utilizado for de má qualidade, deixando a superfície com níveis de altura do pavimento diferentes. Neste caso, propõe-se o arrancamento desse remendo e pode até ser feito outro, desde que o mesmo seja feito de forma correta, deixando níveis do revestimento igual aos demais e não só não o atrapalhando, mas também não cause desconforto aos condutores.

Figura 5 - Remendo superficial



Fonte: Próprio Autor (2023).

Ainda no mesmo percurso, ao chegar ao quilômetro 709, conforme a FIG.6, constatou-se a presença da patologia do tipo exsudação, que ocorre devido ao excesso de ligante asfáltico, ocasionando manchas escuras ao longo do pavimento. Dessa forma, apresenta-se como solução o processo de reciclagem, que consiste numa técnica utilizada para renovar as misturas asfálticas envelhecidas, de forma que o revestimento asfáltico é inserido, aquecido no local, misturado, lançado e compactado novamente.

Figura 6 - Exsudação



Fonte: Próprio Autor (2023).

Seguindo o trajeto, chegando ao quilômetro 709,80, observando a FIG.7, conclui-se como uma patologia denominada desgaste, que ocorre devido aos desprendimentos dos

agregados do pavimento, ocasionado pelo o tráfego excessivo de veículos. Podendo ser tratada pelas capas selantes, que consiste na aplicação de ligante asfáltico e ligante com agregados, afim de selar esses espaços paralisando o processo de desgaste e retardando o novo surgimento.

Figura 7 - Desgaste



Fonte: Próprio Autor (2023).

Conforme a FIG.8 e a FIG.9, encontram-se dois tipos de trincas no quilômetro 710 e 714 e são elas: as dos tipos transversais e longitudinais respectivamente. Elas ocorrem devido à degradação do revestimento asfáltico, pelas ações do tráfego excessivo de veículos, tanto os pesados bem como os leves. Pode ser solucionada como uma selagem de trincas com a lama asfáltica e até mesmo pela reciclagem.

Figura 8 - Trincas transversais



Fonte: Próprio Autor (2023).

Figura 9 - Trincas longitudinais



Fonte: Próprio Autor (2023).

Próximo ao quilômetro 712 foi encontrada uma patologia do tipo panela ou buraco, conforme a FIG.10, ocasionada por falta de aderência entre as camadas, com possibilidade de atingir as camadas inferiores e surgindo também pela evolução de outros tipos de defeitos, dentre eles, destacam-se: trincas, escorregamentos, desgastes. Estes problemas podem ser solucionados ao realizar um recapeamento estrutural ou até mesmo um remendo, desde que seja feito da forma adequada com materiais de boa qualidade, deixando a superfície em um único nível.

Figura 10 - Panela ou buraco



Fonte: Próprio Autor (2023).

3 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo de caso sobre as principais patologias identificadas da MGC 120, no trecho entre os Km 702 e 714,6, ligando as cidades vizinhas de Ubá e Guidoal. Dessa forma, a pesquisa identificou afundamentos, ondulações, desgastes, panelas, fendas e trincas como as principais patologias no trecho analisado. Algumas dessas anomalias estão relacionadas à execução mal feita das obras, ao intenso tráfego de veículos, idade avançada do pavimento e até mesmo por impactos ambientais.

Soluções como o uso de lama asfáltica para selar trincas, remendos tanto superficiais quanto profundos, e o recapeamento são indicadas. Além disso, a fiscalização desempenha um papel crucial para monitorar veículos de carga, evitando exceder limites de dimensões e peso. A integração entre manutenção pela autoridade responsável pela via e fiscalização do transporte rodoviário pode prevenir novas patologias e garantir a segurança dos usuários.

Contudo, é sugerido que investigações futuras explorem parcerias entre os órgãos responsáveis pela rodovia para aprimorar a qualidade da pavimentação asfáltica, além de manterem uma conservação rotineira desse pavimento, afim de que alcance uma vida útil bem elevada, evitando assim novos problemas, mantendo o trânsito seguro para os condutores sentirem-se confortáveis ao dirigir nelas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, Y. **Análise de manifestações patológicas do pavimento asfáltico da BR153 no trecho km 490 até Km 498**. 2020. 55 f. Monografia (TCC em Engenharia Civil) - Centro Universitário Luterano de Palmas, Tocantins, 2020.
- BALBO, J. **Pavimentação asfáltica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação asfáltica – formação básica para engenheiros**. 2.ed., Rio de Janeiro: ABEDA, 2022.
- BRANDÃO, A. *et al.* Patologias em pavimentos flexíveis. **Revista Mangaio Acadêmico**, v. 5, n. 1, p. 58-80, 2020.
- CARVALHO, M.D. *et al.* Estudo descritivo da fadiga em pavimentos flexíveis. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 11, n. 1, p. 30-36, 2019.
- CNT. Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de rodovias 2021**. Brasília, 2021.
- CHRISTOFIDIS, D; ASSUMPCÃO, R; KLIGERMAN, D. **A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza**. **Saúde Debate**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 94-108, dez.2019.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de pavimentação. IPR – 719**. Rio de Janeiro, 2022.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. **Manual de drenagem de Rodovias. IPR – 724**. Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Norma DNIT 005/2003 – TER: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos- Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.
- FDC- Fundação Dom Cabral. **Diagnóstico e projeções para a infraestrutura de logística de transporte no Brasil**. Minas Gerais, 2018.
- GAIA, M. **Modelação matemática de bueiro**. 2014. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- GASPAR, M; PINHEIRO, J. Estudo descritivo das principais patologias encontradas em pavimentações asfálticas de estradas de rodagem. **Episteme Transversalis**, v. 12, n. 3, 2021.
- GOOGLE EARTH. 2023. Disponível em:
<https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r/data=OgMKATA>.
Acesso em: 02 de dezembro de 2023.

JORGE, J.R.F. **Materiais sustentáveis com capacidade sensitiva para aplicação no setor da construção**. Tese (Mestrado Integrado em Engenharia Civil). 120 f. Universidade do Minho, Braga, 2022.

JUSTEN, N; BÖCK, A. Determinação da porcentagem de betume em mistura asfáltica de pavimento restaurado: Estudo de caso da ERS 344. **Salão do Conhecimento**, v. 6, n. 6, 2020.

LIMA, D.M.F; LIMA, D.P. Manifestações patológicas em pavimentação asfáltica: estudo de caso na avenida Nações Unidas de Porto Nacional (TO). **Engineering Sciences**, v. 10, n. 1, p. 25-39, 2022.

LITAIFF, R. *et al.* Recuperação de pavimento flexível-estudo de caso: recuperação de pavimento da cabeceira da ponte jornalista phelippe daou. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 38792-38808, 2022.

MEURER, M. *et.al.* Patologia em pavimento flexível de rodovias. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 38, n. especial, p. 638-648, 2022.

ORTEGA, F; FILLA, J; ARREBOLA, D. Comparativo de pavimentação asfáltica flexível e rígida nas rodovias brasileiras. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 38, n. especial, p. 438-459, 2022.

PIRES, J; MENDES, Al. Manifestações patológicas em pavimentação asfáltica: estudo de caso na TO-050, no trecho do anel viário em Porto Nacional/TO. **Engineering Sciences**, v. 9, n. 1, p. 28-39, 2021.

RAMOS, L; SAVI, O. Análise da viabilidade técnica e financeira no uso d Whitetopping na restauração do pavimento da rodovia PRC-280 em comparação ao uso de CBUQ. **Revista Técnico-Científica**, 2022.

ROCHA, J; FERREIRA, L; BORBA, F. Diagnóstico de patologias encontradas em pavimentos rodoviários flexíveis e semirrígidos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 30, 2019.

SANTAREM, L; LEHNHART, E; ALVES, K. Análise contratual dos investimentos aplicados pelo DNIT na manutenção de rodovias da região sul. **Revista da CGU**, v. 11, n. 19, p. 25-25, 2019.

SILVA, J.E. *et al.* **Emprego de RCD como agregado na execução de camadas d base e sub-base de pavimentos flexíveis**. v. 88790, p. 52. 2022.

SILVA, L; SANTOS, R. Estudo comparativo: método empírico do DNIT e mecanístico-empírico (Medina) no dimensionamento de pavimentos flexíveis. **Engineering Sciences**, v. 9, n. 1, p. 114-124, 2021.

SOUZA, T. *et al.* Afundamento de consolidação: estudo de caso, na BR-104. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 15, n. 9, p. 9813-9826, 2023.