

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

AMANDA APARECIDA SOUZA

**AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS
ASFÁLTICOS COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS**

Uberlândia, dezembro de 2020

AMANDA APARECIDA SOUZA

**AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS
ASFÁLTICOS COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Civil da Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito parcial para a
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadores: Prof. Dr. Rodrigo Pires Leandro

Prof^a. Dr^a. Raquel Naiara Fernandes Silva

Uberlândia, dezembro de 2020

AMANDA APARECIDA SOUZA

AVALIAÇÃO OBJETIVA DA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS COM O USO DE GEOTECNOLOGIAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Civil da Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito parcial para a
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Prof. Dr. Rodrigo Pires Leandro (UFU)
(Orientador)

Prof^a. Dr^a. Raquel Naiara Fernandes Silva (UFU)
(Orientadora)

Prof. Dr. Nassau de Nogueira Nardez (UFU)

Prof. Dr. Rogério Lemos Ribeiro (UFU)

Uberlândia, dezembro de 2020

Agradecimentos

Antes de tudo, agradeço a Deus pela dádiva da existência e por me guiar nesta jornada de oportunidades, iluminando meu caminho todos os dias.

Agradeço à minha mãe Andrea Aparecida Rodrigues e ao meu pai Simão Pedro de Souza por acreditarem no meu sonho e garantirem a minha formação pessoal e profissional, me proporcionando uma oportunidade que eles mesmos não puderam ter.

Agradeço ao Kenji Fabiano Ávila Okada pelo companheirismo, nos dias bons e ruins, sempre me fortalecendo e apoiando as minhas decisões.

A minha gratidão à Universidade Federal de Uberlândia pelo fomento aos estudantes com bolsas, auxílios e programas de iniciação científica que foram cruciais para a minha formação.

Agradeço a todos os docentes que compartilharam com tanto apreço seus conhecimentos, princípios e sabedorias, e aos amigos e acadêmicos por compartilharem as etapas vividas nesta caminhada.

Expresso também a minha gratidão aos professores Rodrigo Pires Leandro e Raquel Naiara Fernandes Silva pela orientação nesta pesquisa e ao aluno e amigo Pedro Peixoto pelo auxílio na coleta e análise de dados.

Agradeço especialmente a empresa DuSiqueira Geotecnologias pela parceria e patrocínio do voo da aeronave e processamento das imagens.

*Toda casa é construída por alguém,
mas Deus é o edificador de tudo.*

Hebreus 3:4.

Resumo

O método usual de avaliação objetiva de pavimentos asfálticos estabelecido pelo DNIT se mostra uma tarefa árdua. Em vista desta problemática, percebe-se que o uso de aeronaves remotamente pilotadas se adequa como uma possível solução para rápida coleta e análise de dados. O objetivo deste trabalho é avaliar parte do corredor estrutural de ônibus da avenida João Naves de Ávila na cidade de Uberlândia, mediante a execução dos métodos por caminhamento e análise do ortomosaico formado pelas imagens capturadas pelo VANT, calculando o índice de gravidade global para cada caso, comparando os resultados das duas formas de avaliação, e buscando investigar a eficiência da fotogrametria na inspeção da condição da superfície de pavimentos. As análises resultaram em parâmetros de condição do pavimento divergentes, apresentando condição “ruim” no método de avaliação objetiva por caminhamento e “boa” no método de análise do ortomosaico. A análise em 2D não é totalmente fiel à reprodução dos defeitos na via, pois não permite medir a profundidade das trilhas de roda nas estações de análise.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação Objetiva DNIT; Ortomosaico; VANT; IGG.

Abstract

The usual method of objective evaluation of pavement condition specified by DNIT is a hard task. Considering this problem, it is noticeable that the use of remotely piloted aircraft is suitable as a possible solution for quick data collection and analysis. The objective of this work is to evaluate part of the structural bus corridor of João Naves de Ávila Avenue in the city of Uberlândia, through the execution of walking methods and analysis of the orthomosaic formed by the images captured by the UAV, calculating the global gravity index for each case, comparing the results of the two forms of evaluation, and seeking to investigate the efficiency of photogrammetry in the inspection of the condition of the surface of pavements. The analyses resulted in divergent pavement condition parameters, presenting "bad" condition in the objective walking evaluation method and "good" in the orthomosaic analysis method. The 2D analysis is not totally faithful to the reproduction of the defects in the road because it does not allow measuring the depth of the wheel tracks at the workstations.

KEYWORDS: Objective Evaluation DNIT; Orthomosaic; UAV; GGI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura-tipo de pavimento rígido	18
Figura 2 - Estrutura-tipo de pavimento flexível	19
Figura 3- Resposta mecânica de pavimentos flexíveis (a) e rígidos (b).....	19
Figura 4 - Variação da Serventia no Tempo / Desempenho do Pavimento.....	22
Figura 5 - Exemplo de Trinca Isolada Transversal Longa	24
Figura 6 - Exemplo de Trinca Isolada Longitudinal Curta.....	24
Figura 7 - Exemplo de Trinca Longitudinal Longa.....	25
Figura 8- Exemplo de Trinca Isolada de Retração (TRR).....	25
Figura 9 - Exemplo de Trincas Interligadas tipo Couro de Jacaré	26
Figura 10 - Exemplo de Trinca interligada tipo Bloco.....	27
Figura 11 - Exemplo de afundamento plástico local	28
Figura 12 - Exemplo de Afundamento plástico da trilha de roda.....	28
Figura 13 - Exemplo de Corrugação.....	29
Figura 14 - Exemplo de Ondulação	30
Figura 15 - Exemplo de Escorregamento	30
Figura 16 - Exemplo de Exsudação	31
Figura 17 - Exemplo de Desgaste.....	32
Figura 18 - Exemplo de Panela ou Buraco	32
Figura 19 - Exemplo de Remendo	33
Figura 20 - Demarcação da via para levantamento dos defeitos em pista dupla.....	34
Figura 21 - Trelça para medição das flechas da trilha de roda.....	35
Figura 22 - Medição das ocorrências em cada superfície de avaliação.....	36
Figura 23 - Planilha de Cálculo do IGG	36
Figura 24 - Conceito de degradação do pavimento em função do IGG	38
Figura 25 - O Espectro Eletromagnético	40
Figura 26 - Corredor Estrutural de Ônibus na Avenida João Naves de Ávila	49
Figura 27 - Vant Phantom 4 PRO	50
Figura 28 - Plano de voo no aplicativo Drone Deploy.....	51
Figura 29 - Número de imagens sobrepostas calculadas para cada pixel.....	52
Figura 30 - Nuvem de Pontos.....	53
Figura 31 - Ortomosaico gerado no QGIS.....	53
Figura 32 - Exemplo de demarcação das estações de análise – Estação 1.....	54

Figura 33 - Materiais utilizados.....	55
Figura 34 - Exemplos de demarcação dos defeitos com uso de giz.....	55
Figura 35 – Estações de análise demarcadas no Ortomosaico	57
Figura 36 - Medição da largura do remendo na Estação 1	58
Figura 37- Análise da E12 impedida pela sobreposição da árvore sobre o pavimento ..	59
Figura 38 - Área de análise	60
Figura 39 - Estação 13 (Possui maior incidência de defeitos)	61
Figura 40 - Medidas das trilhas de roda interna e externa.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Comprimento de onda das cores da região do visível	40
Tabela 2 - Bandas espectrais possíveis de se obter imagens via sensoriamento remoto.	41
Tabela 3 - Fatores de equivalência de cargas.....	50
Tabela 4 - Dados coletados na análise objetiva por caminhamento	56
Tabela 5 - Dados coletados na análise de defeitos a partir do Ortomosaico	58
Tabela 6 - Cálculo do IGG - Análise por caminhamento	64
Tabela 7 - Cálculo do IGG - Análise a partir do Ortomosaico.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos VANTs	44
Quadro2 - Inventário De Estado Da Superfície Do Pavimento - Análise Por Caminhamento.....	63
Quadro 3 - Inventário do estado da superfície do pavimento - Análise a partir do Ortomosaico	.66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Defeitos por estação pelo método de análise por caminhamento.	60
Gráfico 2- Defeitos por estação pelo método de análise via ortomosaico.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALC	Afundamento De Consolidação Local
ALP	Afundamento Local Plástico
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASPRS	American Society Of Photogrammetry And Remote Sensing
ATP	Afundamento Plástico Em Trilha De Roda
BRT	Bus Rapid Transit
CNT	Confederação Nacional do Transporte
D	Desgaste
DNIT	Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes
IFOV	Instantaneous Field Of View
IGG	Índice De Gravidade Global
IGI	Índice De Gravidade Individual
J	Trincas Interligadas Tipo Couro De Jacaré
JE	Trincas Interligadas Tipo Couro De Jacaré Com Erosão Nas Bordas
O	Ondulação
R	Remedendo
RPA	Remotely-Piloted Aircraft
TB	Trincas Interligadas Tipo Bloco
TBE	Trincas Interligadas Tipo Bloco Com Erosão Nas Bordas
TLC	Trinca Longitudinal Curta
TLL	Trinca Longitudinal Longa
TRI	Trilha De Roda Interna
TER	Trilha De Roda Externa
TTC	Trincas Transversais Curtas
TTL	Trincas Transversais Longas
TRR	Trinca Isolada De Retração
VANTS	Veículos Aéreos Não Tripulados
VSA	Valor De Serventia Atual
2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões

Sumário

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivo	16
1.2 Justificativa.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Pavimentos Asfálticos	18
2.2 Número De Repetições De Carga Do Eixo Padrão (N).....	20
2.3 Defeitos Superficiais Em Pavimentos Asfálticos	21
2.3.1 Fendas	23
2.3.2 Afundamento	27
2.3.3 Ondulação Ou Corrugação	29
2.3.4 Escorregamento	30
2.3.5 Exsudação	31
2.3.6 Desgaste.....	31
2.3.7 Panela Ou Buraco	32
2.3.8 Remendo	32
2.4 Avaliação Objetiva De Pavimentos Asfálticos.....	33
2.4.1 Cálculo Do Índice De Gravidade Global (IGG).....	36
2.5 Sensoriamento Remoto	38
2.5.1 O Espectro Eletromagnético	39
2.5.2 Resolução Das Imagens De Sensoriamento Remoto.....	41
2.5.3 Processamento Digital E Análise De Imagens	42
2.6 Veículos Aéreos Não Tripulados.....	43
2.6.1 Definições E Características Básicas.....	43
2.6.2 Classificação Dos Vants	44

2.6.3 Aplicações Do Vant Na Engenharia Civil.....	46
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	48
3.1 Área De Estudo.....	48
3.2 Voo Da Aeronave Remotamente Pilotada.....	50
3.2.1 Processamento Das Imagens Capturadas	52
3.2.2 Criação Do Ortomosaico	53
3.3 Avaliação Objetiva No Corredor Estrutural De Ônibus Da Avenida João Naves De Ávila.....	54
3.4 Análise Dos Defeitos No Ortomosaico.....	57
4. RESULTADOS E ANÁLISES.....	59
4.1 Método De Análise Objetiva Por Caminhamento	59
4.2 Método De Análise Dos Defeitos A Partir Do Ortomosaico.....	65
5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1. INTRODUÇÃO

A qualidade da superfície do pavimento está inteiramente ligada a aspectos econômicos e de segurança dos usuários, principalmente no Brasil, que detém o modal rodoviário como a principal matriz de transporte do país, sendo 61% em transporte de mercadorias e 95% em transporte de passageiros, segundo Pesquisa da Confederação Nacional do Transporte (CNT) de Rodovias (2019).

A solicitação frequente do tráfego nos pavimentos brasileiros contribui com o avanço no processo de degradação da superfície de rolamento, devido à sobrecarga, a alta taxa de fluxo de veículos e a falta de investimentos por parte do poder público, tendo em vista que as intervenções de manutenção devem ser frequentes para evitar o aceleração dos processos de deterioração da via.

A engenharia civil está em constante busca de novas tecnologias para aumentar a produtividade, reduzir gastos, garantir a qualidade dos serviços e fornecer segurança aos usuários, e desta maneira, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) surgem como uma alternativa, com variadas aplicações a serem exploradas e aprimoradas.

Estes aeromodelos possibilitam o registro do local de interesse, e com tratamento computacional, produzem imagens georreferenciadas que permitem a extração de dados capazes de fornecer uma avaliação do estado da superfície do pavimento. Este método de avaliação possibilita a gestão de recursos para as intervenções de manutenção ou reabilitação de um pavimento no momento certo.

1.1 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é avaliar parte do corredor estrutural de ônibus da avenida João Naves de Ávila na cidade de Uberlândia, por meio da execução dos métodos por caminhamento, como descrito na norma do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT) 006/2003 - PRO - Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos/Procedimento, e por meio da análise do ortomosaico formado pelas imagens capturadas por aeronave remotamente pilotada. Em consequência ao objetivo geral, objetivos específicos que são: calcular o índice de gravidade global para cada caso comparando os resultados das duas formas de avaliação e verificar a eficácia da utilização de imagens digitais de alta resolução no monitoramento da condição de uso de pavimentos asfálticos.

1.2 Justificativa

Considerando a importância das estradas para a manutenção da soberania de um país e para o seu desenvolvimento econômico e social, uma superfície regular que garanta conforto e segurança resultará em maior eficiência para o transporte de bens e pessoas.

A regularidade da superfície possibilita maior velocidade no deslocamento, economizando tempo de viagem; já uma superfície aderente contempla a redução de custos operacionais, haja vista que o número de acidentes é minimizado neste caso (BALBO, 2007).

Isto posto, a análise da superfície do pavimento é importante para a definição de estratégias de manutenção e reabilitação de um pavimento. A avaliação objetiva via determinação de índices de condição do pavimento afere a serventia do mesmo, determinando seu estado de um nível péssimo a um nível ótimo. Todavia, os métodos tradicionais de coleta de dados de campo caracterizam-se por serem normalmente trabalhosos, onerosos e demorados.

Visando tecnologias que realizem a coleta de dados da superfície dos pavimentos de forma rápida e direta, sem demandar esforços braçais e pôr em risco a segurança da equipe de campo, observa-se uma ferramenta em ascensão na tecnologia atual, usada para várias finalidades: os veículos aéreos não tripulados (VANT's), ou seja, aeronaves munidas de câmeras que registram fotos em alta resolução para análise e investigação da área de interesse de maneira remota.

Kepler et al. (2019) confirmam as vantagens da fotogrametria, avaliando que esta técnica com o uso de VANT fornece produtos cartográficos diferenciados, que permitem melhor visualização do terreno, apresentam maior riqueza de detalhes em seus modelos digitais e ortofotos. Os autores também relatam que para o cálculo de volumes, o mapeamento com drones possui larga vantagem uma vez que suscita em uma grande quantidade de pontos gerados no terreno.

Da mesma forma, Duarte e Gomes Jr. (2018), enfatizaram que a classificação de defeitos via imagens obtidas pelas aeronaves remotamente pilotadas apresentaram resultados satisfatórios devido a facilidade de identificar e medir os defeitos e pela viabilidade de realizar o levantamento sem a interferência do tráfego, que em consequência, reduz o risco de acidentes durante o levantamento comparado ao método convencional por caminharmento.

Duarte e Gomes Jr. (2018), explicam também que o arquivo fotográfico obtido no voo propicia a alimentação de um banco de dados que é usado para controle e acompanhamento da condição de um pavimento no decorrer de sua vida útil, essencial para posteriores análises de alternativas de intervenções.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

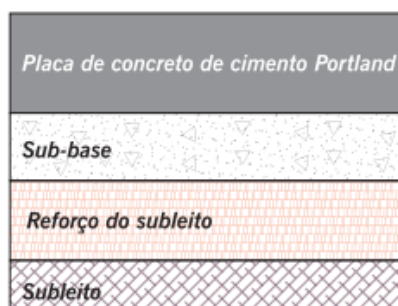
Neste tópico serão abordados os principais aspectos teóricos sobre pavimentos asfálticos e seus defeitos superficiais, bem como a explanação sobre a metodologia de análise da avaliação objetiva da superfície de pavimentos e a teoria sobre a ciência do sensoriamento remoto, que permite aos veículos aéreos não tripulados a coleta de imagens georreferenciadas, tópicos essenciais para entendimento do trabalho.

2.1 Pavimentos Asfálticos

O pavimento é uma estrutura composta por várias camadas de diferentes materiais compactados, de idade limitada, e que obrigatoriamente deve ser capaz de atender às solicitações do tráfego e do clima mantendo condições de conforto e segurança para os usuários. No âmbito estrutural, o pavimento deve receber e transmitir os esforços às camadas inferiores. As estruturas dos pavimentos são subdivididas conforme a rigidez do conjunto e comportamento do pavimento sob a ação de esforços externos, sendo nomeados como pavimentos rígidos ou flexíveis (BERNUCCI et al., 2008).

A pavimentação do tipo rígida está associada à distribuição de carga de maneira uniforme à camada inferior. Os pavimentos com uso de concreto de cimento Portland na camada superficial da estrutura, formando placas de grandes dimensões, apresentam comportamento estrutural rígido (BERNUCCI et al., 2008). Como exemplo, na Figura 1 é mostrado um tipo de estrutura de um pavimento de comportamento rígido.

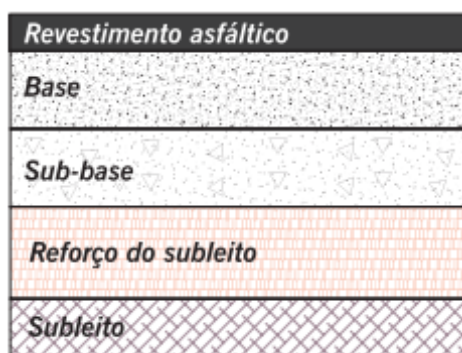
Figura 1 - Estrutura-tipo de pavimento rígido



Fonte: Bernucci et al. (2008)

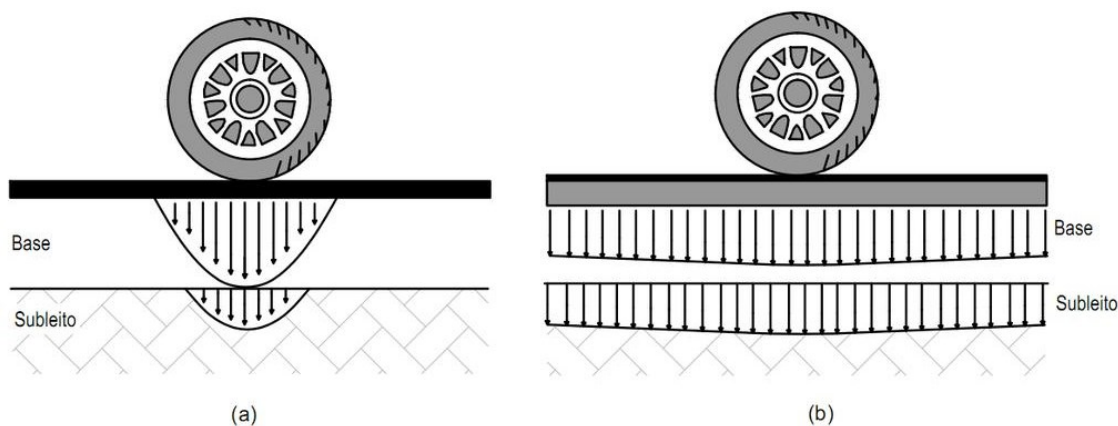
Os pavimentos de comportamento flexível são aqueles em que a tensão vertical é distribuída de maneira concentrada às camadas inferiores. Normalmente, esse tipo de pavimento é caracterizado por uma camada superficial de revestimento asfáltico que se apoia em outras camadas de base, sub-base e reforço do subleito, compostas por materiais granulares e misturas de solo, sem adição de cimento (BERNUCCI et al., 2008). A Figura 2 ilustra um exemplo de estrutura de um pavimento flexível. Na Figura 3 é apresentado um desenho esquemático da resposta mecânica dos pavimentos flexíveis e rígidos.

Figura 2 - Estrutura-tipo de pavimento flexível



Fonte: Bernucci et al. (2008)

Figura 3- Resposta mecânica de pavimentos flexíveis (a) e rígidos (b)



Fonte: Balbo (2007)

A quantidade de camadas utilizadas para compor uma estrutura de pavimentação é baseada no volume do tráfego, na capacidade de suporte do subleito e na rigidez e espessura das camadas. O revestimento é a camada responsável por receber as cargas atuantes na pista de rolamento, além de estar submetida diretamente às ações climáticas,

e por este motivo, é importante que esta camada seja impermeável e resistente aos esforços ocasionados pela pressão dos pneus (BERNUCCI et al., 2008).

Para exercer esta função de impermeabilidade e resistência, faz-se o uso do asfalto na camada de rolamento nos pavimentos flexíveis. Este material desempenha funções importantes como ligante, proporcionando junção entre os agregados, tornando-os capazes de resistir à ação mecânica advinda das cargas dos veículos, e como impermeabilizante, assegura ao pavimento a retenção de água da chuva e a penetração da água pelo subsolo por ascensão capilar (RODRIGUEZ, 2008).

No Brasil, a maioria dos revestimentos dos pavimentos são compostos por uma mistura de agregados minerais de diversos tamanhos com ligantes asfálticos, de forma que, se dosados corretamente e executados de acordo com as especificações exigidas, proporcionam à estrutura estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem para o tráfego e o clima previstos no local (BERNUCCI et al., 2008).

2.2 Número De Repetições De Carga Do Eixo Padrão (N)

Ter conhecimento do tráfego que solicita a via durante a sua vida útil de serviço é importante para dimensionamento dos pavimentos flexíveis, pois as cargas que solicitam a estrutura ao longo de um período de projeto “P” são retratadas pela ação do ciclo de carga e alívio, em um determinado ponto fixo da superfície do pavimento por este estar submetido à passagem das rodas dos veículos (CASTRO, 2013).

Ao se considerar os veículos separadamente, o dano causado é muito baixo, porém o que acarreta em defeitos na superfície da via é o efeito acumulado das passagens dos veículos, principalmente dos mais pesados como os ônibus e caminhões, que de acordo com Szlachta (2015), são os que degradam o pavimento em maior proporção devido às cargas transportadas e ao arranjo de eixos diferenciados.

Por isso, a determinação do número de repetições de carga do eixo padrão (8,2 t) é importante, para determinar o valor de solicitações admissíveis sem que ocorra ruptura por fadiga ou deformação permanente, visando a preservação da estrutura (SZLACHTA, 2015). Para isto, deve-se considerar os fatores que compõe a equação para cálculo do número “N”, como explanado em Castro (2013):

$$N = (VDM \times P \times 365) \times FE \times FC \times FD \times FR \quad (1)$$

Sendo:

VDM: *Volume diário médio anual* - Volume total de veículos que passam por uma seção completa da via. É multiplicado por 365 dias na fórmula para abranger todas as condições de sazonalidade do tráfego ao longo do período de projeto (P).

FE: *Fator de Eixo* – Valor médio que indica quantos eixos possuem os veículos da frota.

FC: *Fator de Carga* – Representa o número de passagens do eixo médio que são equivalentes ao eixo padrão (8,2 t)

FD: *Fator Direcional* – É a porcentagem de veículos que trafegam na faixa analisada.

FR: *Fator Climático Regional* - Relacionado ao regime de chuva do local. Na falta de dados, adota-se $FR=1$.

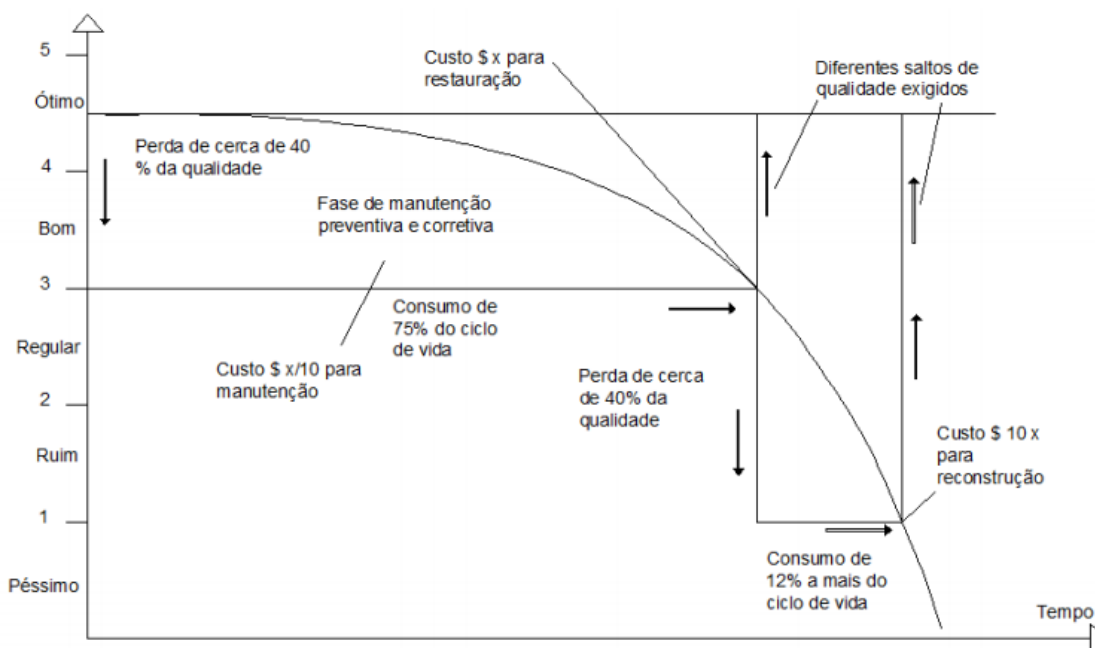
2.3 Defeitos Superficiais Em Pavimentos Asfálticos

Ao longo da vida de serviço dos materiais utilizados para a construção de um pavimento, estes apresentam processos de danificação e degradação que afetam diretamente nas propriedades mecânicas do pavimento. Não apenas os ciclos de carga resultam em degradações da estrutura, mas também podem ser causadas por produtos químicos, temperatura e umidade (BALBO, 2007).

Visando um processo de manutenção ou reabilitação de uma via, é importante a identificação dos defeitos que nela aparecem, os quais apontam o grau de perda de qualidade funcional do pavimento. As manifestações patológicas funcionais são aquelas relacionadas à qualidade de rolamento que o pavimento apresenta e estão associadas às irregularidades notadas na superfície. Estas irregularidades compreendem a maior parcela do valor numérico da serventia, um fator que indica se o pavimento atende ao tráfego com conforto e segurança em um momento específico de sua vida útil (BALBO, 2007).

A *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) *Road Test* estabeleceu entre as décadas de 50 e 60 o conceito de serventia dos pavimentos rodoviários avaliada de maneira subjetiva pelo método PSR (Present Serviceability Rating ou Avaliação de Serventia Atual) que associado à mensuração dos defeitos em pista resultaram no método PSI (Present Serviceability Index ou Índice de Serventia Atual). O PSI varia ao longo do tempo de utilização da via e a qualidade de rolamento e varia numa escala de 0 a 5. A Figura 4 apresenta um gráfico da relação entre serventia (em termos de PSI) em função tempo. Para essa relação dá-se o nome de curva de desempenho do pavimento (BALBO, 2007).

Figura 4 - Variação da Serventia no Tempo / Desempenho do Pavimento



Fonte: Balbo (2007)

No Brasil, a avaliação subjetiva do pavimento pode ser realizada por meio da norma DNIT 009/2003 - PRO determinando-se o Valor de Serventia Atual (VSA). Ao término da construção de um pavimento, o valor de serventia atual é elevado e próximo a 5 que indica uma superfície perfeita, sem nenhuma irregularidade, o que não é encontrado na prática (BERNUCCI et al., 2008).

Com a utilização da via, à medida que aumenta a intensidade de solicitação, há a acentuação da progressão de defeitos, surgindo irregularidades na superfície e ocasionando a diminuição da serventia. A chuva é um fator que acelera a geração de danos ao pavimento, devido ao aumento do teor de umidade nas camadas, que pode ocasionar na queda de suporte da estrutura (BERNUCCI et al., 2008).

Tendo em vista que o ligante asfáltico é um material termoviscoelástico, seu comportamento é dependente da temperatura de serviço, da frequência e da magnitude do carregamento. As altas temperaturas reduzem a viscosidade dos ligantes asfálticos e a resistência das misturas asfálticas às deformações permanentes. Já as baixas temperaturas, trincam a camada de revestimento devido a retração, e a enrijece, tornando a superfície suscetível ao trincamento por fadiga (BERNUCCI et al., 2008).

A norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, (DNIT 005/2003 - TER) estabelece as terminologias e definições dos defeitos que ocorrem em pavimentos flexíveis e semirrígidos, buscando a padronização da linguagem técnica nos

manuais, projetos e textos sobre o assunto. Estas definições são apresentadas nos próximos tópicos que também abordam as possíveis causas de cada defeito.

A determinação do VSA é realizada de maneira subjetiva por um grupo de avaliadores experientes. Por outro lado, o DNIT também especifica uma forma objetiva de avaliação do estado superfície do pavimento asfáltico determinado de Índice de Gravidade Global (IGG) na norma DNIT 006/2003 - PRO. A avaliação objetiva é baseada na medição e vistoria de campo para a definição da serventia do pavimento.

2.3.1 Fendas

As fendas são descontinuidades na superfície do pavimento, apresentando aberturas de maior ou menor porte que podem se estabelecer de diversas formas, mas são diferenciadas pelo tamanho de sua abertura, sendo subdivida em fissura e trinca.

Este tipo de patologia é significativa na avaliação do estado da superfície e além da tipologia, são divididas também devido a sua gravidade, sendo que, as fendas de abertura menor ou igual a 1 mm são caracterizadas por *Classe 1*, as fendas com abertura superior a 1 mm estão alocadas na Classe 2 e as fendas com abertura superior a 1 mm e como agravante possuem erosão juntos as bordas, são caracterizadas por *Classe 3*.

2.3.1.1 Fissuras

É um tipo de fenda que possui espessura capilar e pode se dar de forma oblíqua, longitudinal ou transversalmente à seção da via, perceptíveis a olho nu a uma distância não mais que 1,5 metros. Estas ainda não causam problemas funcionais no revestimento e por isto não são consideradas graves nos métodos de avaliação das condições da superfície.

2.3.1.2 Trincas

É um tipo de fenda visto facilmente com abertura superior à fissura, podendo ser apresentada na forma de trinca isolada ou trinca interligada.

A. Trincas Isoladas

- **Trinca Transversal**

Esta trinca apresenta direção ortogonal ao eixo da via. Se esta tiver um comprimento até 100 cm, denomina-se trinca transversal curta (TTC) e se tiver extensão superior a 100 cm, nomeia-se trinca transversal longa (TTL). A Figura 5 apresenta um exemplo de trinca transversal longa.

Figura 5 - Exemplo de Trinca Isolada Transversal Longa



Fonte: DNIT 005/2003 – TER

- Trinca Longitudinal

Apresenta direção paralela ao eixo da via. Ao apresentar uma extensão de até 100 cm, classifica-se como trinca longitudinal curta (TLC), vide Figura 6, e quando for superior a esta extensão de 100 cm, denomina-se trinca longitudinal longa (TLL), como exemplifica a Figura 7.

Figura 6 - Exemplo de Trinca Isolada Longitudinal Curta



Fonte: Bernucci et al. (2008)

Estas podem ser ocasionadas por falhas na execução e na dosagem da mistura, controle indevido da temperatura no momento da compactação ou também pelo envelhecimento do ligante asfáltico (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 7 - Exemplo de Trinca Longitudinal Longa



Fonte: Bernucci et al. (2008)

As trincas longitudinais longas podem ser causadas por recalques diferenciais, falhas executivas ou devido à compactação executada de forma errônea. Também podem surgir junto à trilha de roda ou aparecerem devido ao envelhecimento do ligante asfáltico (BERNUCCI et al., 2008).

- Trinca de retração

Este tipo de trinca isolada atribui-se aos fenômenos de retração térmica do material que compõe o revestimento nos pavimentos flexíveis. Em pavimentos rígidos e semirrígidos, estas podem se dar devido a dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento, que possuem a presença do cimento Portland, causando este efeito.

As trincas de retração, podem ser decorrentes da reflexão de trincas preexistentes ou de trincas de placas de concreto de cimento Portland, segundo Bernucci et al. (2008). A Figura 8 apresenta um exemplo deste tipo de trinca.

Figura 8- Exemplo de Trinca Isolada de Retração (TRR)



Fonte: Bernucci et al. (2008)

B. Trincas Interligadas

- Trinca tipo Couro de Jacaré

São um conjunto de trincas que se interligam e dispersam sem direções preferenciais, e sua aparência é semelhante a um couro de jacaré, conforme mostra a Figura 9, podendo apresentar erosão nas bordas (JE) ou não apresentar erosão nas bordas (J).

Figura 9 - Exemplo de Trincas Interligadas tipo Couro de Jacaré



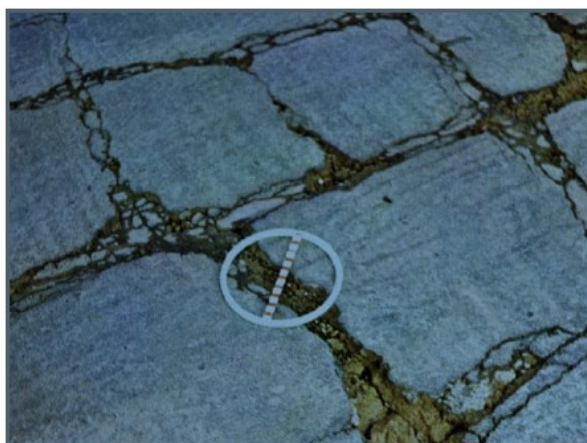
Fonte: DNIT 005/2003 – TER

De acordo com Marques (2014), existem diversos fatores que podem causar as trincas do tipo couro de jacaré, tais como, a solicitação contínua do tráfego, as ações climáticas, o envelhecimento do ligante e a perda de flexibilidade causada pelo tempo de exposição ou pelas altas temperaturas de usinagem. No momento da execução, as falhas na compactação podem vir a refletir nessas trincas, bem como a deficiência no teor de ligante asfáltico, ou mesmo um projeto subdimensionado que podem levar a um revestimento com excessiva rigidez sobre uma estrutura de elevada deflexão. Esta patologia representa o nível atual avançado de fadiga.

- Trincas tipo Bloco

São trincas interligadas caracterizadas pela formação de blocos de lados bem definidos, como pode-se notar na Figura 10, podendo ter erosão nas bordas (TBE) ou não ter erosão nas bordas (TB).

Figura 10 - Exemplo de Trinca interligada tipo Bloco



Fonte: DNIT 005/2003 - TER

Estas patologias se dão pela retração do revestimento asfáltico e devido aos gradientes de temperatura que diariamente provocam tensões e deformações. As trincas de blocos que se parecem com retângulos, de áreas que variam entre 0,1 m² e 10 m², mostra que o asfalto passou por um endurecimento, o que o tornou menos flexível (MARQUES, 2014).

2.3.2 Afundamento

Trata-se de defeitos consequentes de deformações permanentes caracterizados por depressão da superfície da pista de rolamento, podendo ser acompanhada ou não de soerguimento da massa asfáltica, sendo classificados em afundamento plástico ou de consolidação.

A. Afundamento plástico

Este tipo de afundamento é causado pela fluência plástica das camadas do subleito ou da superfície do pavimento. São subdivididos em afundamento plástico local (ALP), quando possuem extensão de até 6 m, e afundamento plástico da trilha de roda (ATP) quando sua extensão for superior que 6 m e estiver localizado ao longo da trilha de roda. Neste último caso, em geral, pode-se ocorrer uma compensação volumétrica, com solevamento da massa asfáltica junto às bordas do afundamento.

B. Afundamento de consolidação

Afundamentos de consolidação é quando ocorrem depressões por consolidação diferencial de uma ou mais camadas da estrutura sem estar acompanhado de

soerguimento. Se sua extensão medir até 6 metros chama-se afundamento de consolidação local (ALC) e se medir mais que 6 metros e estiver localizado ao longo da trilha de roda, denomina-se afundamento de consolidação da trilha de roda.

As Figuras 11 e 12 exemplificam o afundamento local e afundamento de trilha de roda, respectivamente.

Figura 11 - Exemplo de afundamento plástico local



Fonte: DNIT 005/2003 – TER

Os afundamentos de consolidação deste tipo podem ser causados por deficiências construtivas, falhas de compactação, problemas de drenagem da via e rupturas por cisalhamento (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 12 - Exemplo de Afundamento plástico da trilha de roda



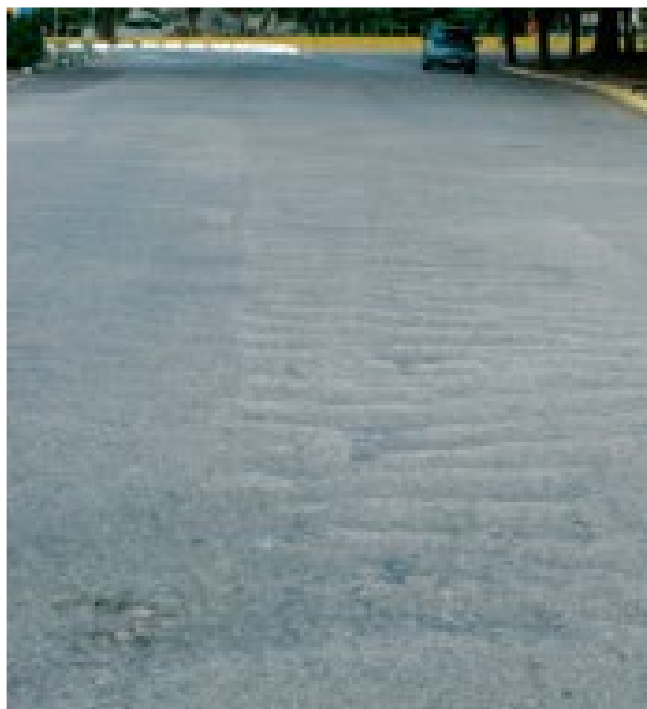
Fonte: DNIT 005/2003 – TER

Já os afundamentos em trilha de roda tendem a ter como causas prováveis: falhas na dosagem da mistura asfáltica apresentando um excesso de ligante asfáltico, seleção errônea do tipo de revestimentos asfáltico para a carga solicitante (MARQUES, 2014).

2.3.3 Ondulação Ou Corrugação

Estas anomalias são deformações que se dão de modo transversal ao eixo da pista, com depressões intercaladas de elevações, na primeira camada do pavimento. As ondulações e corrugações são diferenciadas pelo comprimento de onda entre duas cristas formadas, sendo as corrugações da ordem de centímetros e as ondulações da ordem de metros. Pode-se notar a diferença entre ondulação e corrugação nos exemplos dados abaixo, nas Figuras 13 e 14.

Figura 13 - Exemplo de Corrugação



Fonte: Bernucci et al. (2008)

A corrugação se forma devido a fluência da massa asfáltica que possui excesso de asfalto ou de finos, caracterizando em baixa resistência da camada de superfície. Pode também ocorrer pela má execução tendo como consequência, uma base instável. Em geral, este tipo de defeito aparece nos locais de aceleração e frenagem, rampas sujeitas ao tráfego de veículos pesados e lentos, curvas e outros locais que sofrem intensa carga repetidamente, como descreve Marques (2014).

Figura 14 - Exemplo de Ondulação



Fonte: DNIT 005/2003 – TER

A causa mais provável das ondulações, de acordo com Bernucci et al. (2008) é o adensamento diferencial do subleito que provoca grandes deslocamentos, resultando em comprimentos de onda da ordem de metros.

2.3.4 Escorregamento

Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, de modo a se formar fendas com aspecto de meia-lua. Esta patologia pode ser causada por falhas no momento da execução e na pintura de ligação, ou pela fluência plástica em decorrência de elevadas temperaturas.

Figura 15 - Exemplo de Escorregamento



Fonte: DNIT 005/2003 – TER

2.3.5 Exsudação

É quando o ligante se separa da massa asfáltica e ascende até a superfície do revestimento em grande quantidade, devido ao seu excesso. Na Figura 16, observa-se manchas escurecidas na superfície do pavimento, ou seja, o ligante betuminoso em excesso. Estas manchas acarretam em sério problema funcional, pois podem ser responsáveis pela falta de aderência entre pneu-pavimento ou mesmo causar aquaplanagem na pista e deslizamento de veículos, tornando a pista perigosa e propícia para provocar acidentes.

Figura 16 - Exemplo de Exsudação



Fonte: DNIT 005/2003 – TER

A exsudação pode ser consequência de falhas na dosagem, com um excesso de ligante, como também da mistura mal feita da massa asfáltica com concentração de ligante em alguns pontos e falta em outros, temperatura do ligante acima da especificada, etc.

2.3.6 Desgaste

Decorre do desprendimento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado pela aspereza superficial da pista de rolamento, como mostra a Figura 17.

Estes defeitos, de acordo com Bernucci et al. (2008), ocorrem pela falta de adesividade entre o ligante e os agregados que provoca o deslocamento e remoção dos agregados pelo tráfego. Podem ocorrer também pela baixa resistência mecânica ou química dos agregados devido a uma seleção mal feita dos mesmos.

Figura 17 - Exemplo de Desgaste

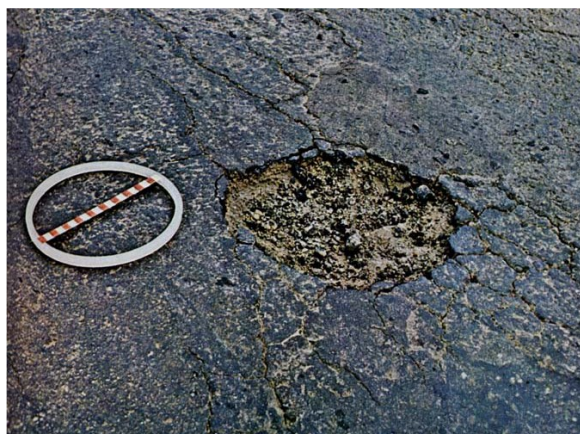


Fonte: DNIT 005/2003 – TER

2.3.7 Panela Ou Buraco

É uma cavidade que se forma no revestimento asfáltico que pode atingir as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas. Bernucci et. al (2008) explica que no local onde havia trincas interligadas e com a ação frequente do tráfego e intempéries, acontece a remoção do revestimento ou de parte da base formando as panelas, como ilustra a Figura 18. Também são formadas por falhas construtivas tais como: deficiência na compactação, umidade excessiva nas camadas de solo, falhas na imprimação.

Figura 18 - Exemplo de Panela ou Buraco



Fonte: DNIT 005/2003 – TER

2.3.8 Remendo

O remendo é definido como sendo uma panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação “tapa-buraco”. Podem ser do tipo profundo, ou seja, aquele em que há preenchimento de uma ou mais camadas inferiores do pavimento, geralmente representado na forma retangular, como mostra a Figura 19, ou do tipo

superficial, ou seja, uma correção em uma área localizada na superfície com a aplicação de uma camada de massa asfáltica.

Sobre suas possíveis causas, apesar de ser uma atividade de conservação, considera-se um defeito pelo fato de ser um local de fragilidade no revestimento e por provocar desconforto aos usuários (MARQUES, 2014).

Figura 19 - Exemplo de Remendo



Fonte: Schiavon e Manzoli (2017)

2.4 Avaliação Objetiva De Pavimentos Asfálticos

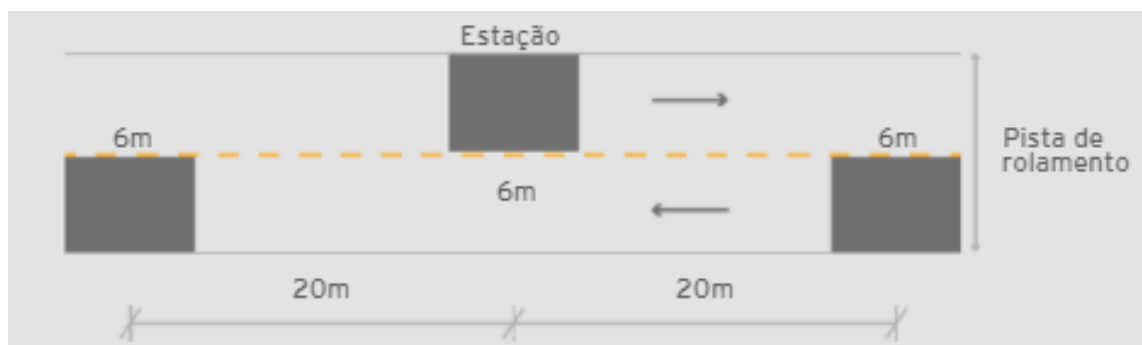
A avaliação objetiva da superfície de pavimentos asfálticos é um método por caminamento de coleta de dados para análise dos defeitos na superfície de rolamento. Os defeitos considerados para análise são aqueles citados e definidos na Norma DNIT 005/2003-TER, sendo estes retratados no Item 2 deste trabalho. A Norma DNIT 006/2003-TER, estabelece que a avaliação da superfície deve ser aplicada, de acordo com as especificações da normativa, para atingir os seguintes objetivos:

- a) Definir um parâmetro das condições de superfície do pavimento e levantar um inventário de ocorrências dos defeitos e suas prováveis causas, possibilitando obter análises mais ricas e detalhadas.
- b) Consistir em uma etapa antecedente que visa prever a necessidade de ser realizada uma avaliação estrutural do pavimento, sendo assim, um complemento desta avaliação.

Esta mesma norma prescreve o método para o levantamento sistemático dos defeitos na via, tendo em vista atribuir um parâmetro capaz de indicar o nível de degradação do pavimento chamado IGG (Índice de gravidade global). Para a execução do processo de levantamento dos defeitos, primeiramente deve-se analisar se a pista é simples ou dupla. No caso de pista simples, a avaliação deverá ser localizada a cada 20 m alternados em relação ao eixo da pista de rolamento, e em caso de pista dupla, a cada 20 m também, na faixa de tráfego mais solicitada de cada pista (DNIT 006/2003-TER).

A superfície de avaliação é aquela delimitada pelas bordas da faixa de tráfego e por duas seções transversais, posicionadas respectivamente, a 3 m antes e 3 m após o eixo da estação considerada, totalizando uma superfície de análise com extensão de 6 m (DNIT 006/2003-TER). A Figura 20 apresenta um exemplo de demarcação da via para avaliação do IGG, no caso de pista dupla.

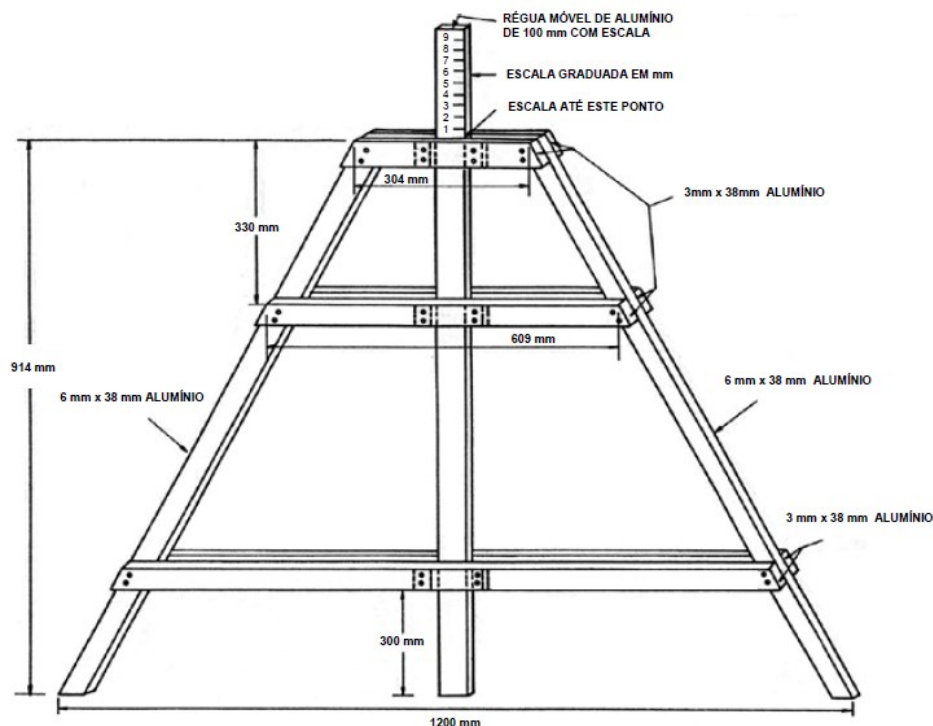
Figura 20 - Demarcação da via para levantamento dos defeitos em pista dupla



Fonte: CNT (2017)

Para medir as flechas das trilhas de roda, a Norma DNIT 006/2003-TER descreve como aparelhagem necessária uma treliça de alumínio padronizada, que possui 1,20 m de comprimento de base (Figura 21), que possui instalada em seu ponto médio uma régua móvel capaz de medir em milímetros as flechas da trilha de roda. Para localizar e marcar as estações de trabalho e os defeitos na pista, utilizam-se equipamentos e materiais tais como: trena com 20 m, giz, tinta, pincel, formulários, etc.

Figura 21 - Treliça para medição das flechas da trilha de roda

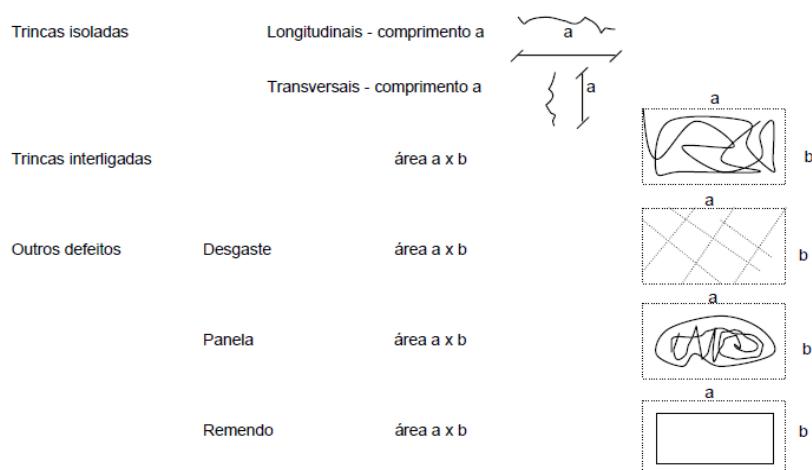


Fonte: DNIT 006/2003 – TER – Anexo A

Com o auxílio do inventário disponibilizado pela norma DNIT 006/2003-TER – Anexo B, em cada área demarcada deve ser anotada a presença de qualquer defeito no pavimento, considerando que as trincas isoladas serão anotadas como Tipo I e os remendos superficiais e profundos, serão anotados como Remendos – R. O DNIT divide os defeitos em 8 categorias: Tipo 1 (trincas isoladas - FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR); Tipo 2 (FC2 - J e TB); Tipo 3 (FC3 -JE e TBE). Tipo 4 (ALP E ATP); Tipo 5 (O e P); Tipo 6 (EX); Tipo 7 (D); Tipo 8 (R).

A norma DNIT 007/2003-TER fornece as diretrizes para a coleta das medidas dos defeitos, sendo que para as trincas isoladas mede-se apenas a sua extensão e para as trincas interligadas e as demais patologias mede-se a área em que o defeito está inserido. Na Figura 22 observa-se como deve ser a medição das ocorrências em cada superfície de avaliação.

Figura 22 - Medição das ocorrências em cada superfície de avaliação



Fonte: DNIT 007/2003 – TER – Anexo B

2.4.1 Cálculo Do Índice De Gravidade Global (IGG)

Após a coleta de dados e preenchimento do inventário, iniciam-se os cálculos a fim de se determinar o parâmetro IGG. Para auxiliar nos cálculos, a norma DNIT 006/2003-TER sugere uma planilha (Figura 23).

Figura 23 - Planilha de Cálculo do IGG

RODOVIA		PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)				Data:	Folha:
						Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro
		TRECHO					
		SUBTRECHO	REVESTIMENTO TIPO				
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR						
2	(FC – 2) J, TB						
3	(FC – 3) JE, TBE						
4	ALP, ATP, ALC, ATC						
5	O, P, E						
6	EX						
7	D						
8	R						
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				Conceito
1 A) IGI = Fx 4/3 QUANDO F ≤ 30				2 A) IGI = FV QUANDO FV ≤ 50		Operador	
1 B) IGI = 40 quando F > 30				2 B) IGI = 50 quando FV > 50		Cálculo	
						Visto	

Fonte: DNIT 006/2003 – TER

Inicialmente, completa-se a coluna relativa à frequência absoluta (f_a), ou seja, o número de vezes em que a ocorrência foi verificada. A coluna referente à frequência absoluta considerada se dá pelo motivo de que, para os Tipos 1, 2 e 3 são contabilizados apenas os defeitos de maior gravidade. Na próxima coluna (5), calcula-se a frequência relativa (f_r), com a seguinte fórmula:

$$f_r = \frac{f_a \times 100}{n} \quad (2)$$

Sendo n, o número de estações de análise inventariadas.

A coluna (6) fornece os valores do fator de ponderação (f_p) com a finalidade de caracterizar a influência dos defeitos sobre a serventia do pavimento. Para cada ocorrência descrita no inventário, calcula-se um índice de gravidade individual (IGI), multiplicando a frequência relativa pelo fator de ponderação, como mostra a fórmula (3), anotando este resultado na coluna (7).

$$IGI = f_r \times f_p \quad (3)$$

No que tange as flechas medidas nas trilhas de roda interna e externa, deve-se calcular a média aritmética dos valores médios (X) das flechas medidas em milímetros e a média aritmética das variâncias (s^2) das flechas medidas em ambas as trilhas, sendo que, para vias de pista dupla, estes parâmetros devem ser calculados para as TRI e TRE das faixas de tráfego mais solicitadas de cada pista, separadamente.

As fórmulas para cálculo da média e variância dos valores medidos das flechas das trilhas de roda interna e externa são as seguintes:

$$X = \frac{\sum x_i}{n} \quad (4)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - X)^2}{n-1}} \quad (5)$$

Em que:

X – Média aritmética dos valores das flechas medidas (TRI e TRE);

x_i - Valores individuais;

S – Desvio padrão dos valores das flechas medidas (TRI e TRE);

s^2 – Variância.

Para o cálculo do IGI correspondente às flechas, o fator de ponderação utilizado depende do valor das médias aritméticas, sendo que se for igual ou menor que 30, o f_p é igual a $\frac{4}{3}$ e quando for maior que 30, o IGI deverá ser 40. Quando a média das variâncias das flechas for menor ou igual a 50, o f_p é igual a 1 (um) e quando superior a 50, o IGG será de 50.

Por fim, o índice de gravidade global é o somatório dos índices de gravidade individuais calculados, considerando-se a fórmula seguinte:

$$IGG = \sum IGI \quad (6)$$

Obtido o parâmetro IGG, a norma DNIT 006/2003-TER apresenta uma tabela que aponta a faixa de qualidade da pista, como mostra a Figura 24.

Figura 24 - Conceito 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 006/2003 – TER

2.5 Sensoriamento Remoto

A *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS) definiu formalmente o sensoriamento remoto como a forma de medir ou obter alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por meio de um dispositivo de registro remoto, ou seja, que esteja distante e não se encontre em contato físico com o objeto ou fenômeno em questão (COLWELL, 1983, *apud* GANEM, 2017).

O sensoriamento remoto se originou nos anos de 1960 com o incrível desenvolvimento da área espacial, sendo esta década reconhecida como a década da corrida espacial, devido ao rápido avanço no desenvolvimento de foguetes lançadores de satélites, os quais permitiram ao homem poder ir ao espaço em satélites tripulados pelos

programas *Mercury*, *Gemini* e *Apollo*, para observar a Terra e tirar as primeiras fotografias da superfície terrestre, utilizando câmeras manuais, assegurando assim o futuro do sensoriamento remoto (MENESES et al., 2012).

2.5.1 O Espectro Eletromagnético

Florenzano (2011) aborda que o termo sensoriamento é referente à aquisição de dados via sensores instalados seja em plataformas terrestres, aéreas (por meio de balões e aeronaves) e orbitais (por satélites artificiais), e o termo remoto, que é o mesmo que distante, é utilizado devido à obtenção desses dados ser feita sem contato físico entre sensores e objetos na superfície terrestre.

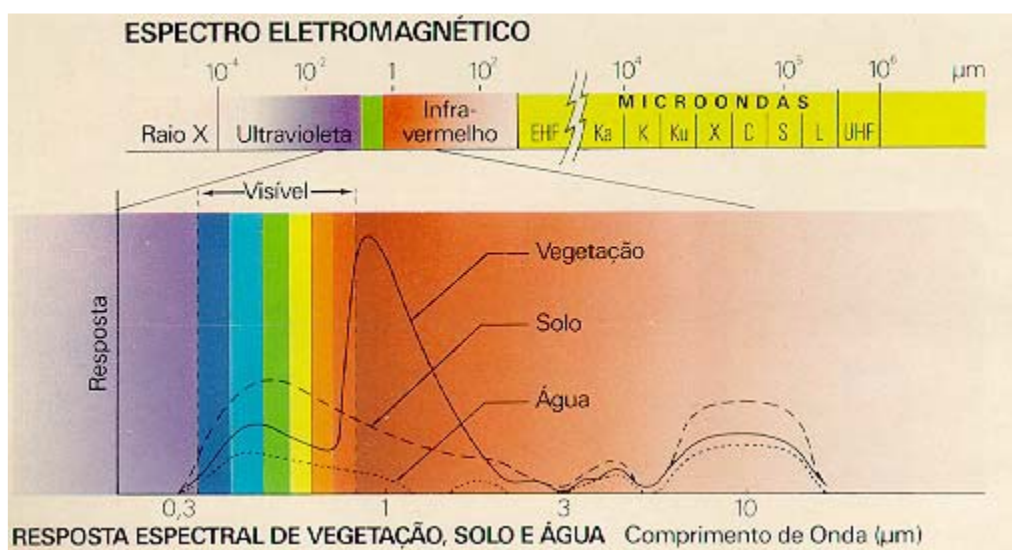
Essa obtenção de dados de forma remota é possível devido a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética a qual é emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos, energia esta denominada de radiação eletromagnética (MORAES, 2002).

Novo e Ponzoni (2001) explicam que a radiação eletromagnética é o elemento fundamental das técnicas de sensoriamento remoto, energia esta que se propaga no vácuo, à velocidade da luz e sua interação com o meio físico pode ser explicada por duas vertentes: o modelo quântico em que a radiação eletromagnética é concebida por pulsos de energia, e o modelo ondulatório em que esta radiação se propaga por meio de ondas, formadas pela oscilação dos campos elétrico e magnético.

Pela ótica do modelo ondulatório, o conjunto de comprimentos de ondas que formam a radiação eletromagnética é conhecido como Espectro Eletromagnético (NOVO e PONZONI, 2001). Este espectro apresenta subdivisões de acordo com as características de cada região – radiação gama, raio X, ultravioleta, visível (luz), infravermelho – em que cada subdivisão é função do tipo de processo físico que origina a energia eletromagnética, da interação que acontece entre a radiação e o objeto sobre o qual esta incide, e a transparência da atmosfera em relação à radiação eletromagnética (MORAES, 2002).

A Figura 25 ilustra as regiões do espectro eletromagnético, e por esta podemos dar ênfase à faixa do visível que é o conjunto de radiações eletromagnéticas as quais podem ser detectadas pelo sistema visual humano, visto que as cores produzidas pela incidência da luz estão associadas a diferentes comprimentos de ondas como podemos ver na Tabela 1.

Figura 25 – O Espectro Eletromagnético



Fonte: Moraes, 2002.

Tabela 1- Comprimento de onda das cores da região do visível

Comprimento de onda (μm)	Cor da luz refletida
0,380 – 0,455	Violeta
0,455 – 0,482	Azul
0,482 – 0,487	Azul – esverdeado
0,487 – 0,493	Azul – verde
0,493 – 0,498	Verde – azulado
0,498 – 0,530	Verde
0,530 – 0,559	Verde-amarelado
0,559 – 0,571	Amarelo-verde
0,571 – 0,576	Amarelo-esverdeado
0,576 – 0,580	Amarelo
0,580 – 0,587	Laranja-amarelado
0,587 – 0,597	Laranja
0,597 – 0,617	Laranja-avermelhado
0,617 – 0,760	Vermelho

Fonte: Adaptado de Meneses et al., (2012).

O espectro eletromagnético compõe-se de comprimentos de onda muito curtos como os raios cósmicos e também de grandes comprimentos de onda, como as ondas de rádio de baixa frequência, sendo que para o sensoriamento remoto, as faixas espectrais mais utilizadas estão entre 0,3 μm a 15 μm (MORAES, 2002).

Todavia, como refere-se Meneses et al. (2012), não é por meio de um comprimento específico de onda que as imagens são definidas, mas sim em intervalos pequenos conhecidos como bandas espectrais, e desta maneira a Tabela 2 apresenta os intervalos em que se podem obter imagens a partir de sensores instalados em aeronaves ou satélites.

Tabela 2 - Bandas espectrais possíveis de se obter imagens via sensoriamento remoto

0,45 – 0,76 μm <i>visível</i>	0,76 – 1,2 μm <i>infravermelho próximo</i>	1,2 – 3,0 μm <i>infravermelho de ondas curtas</i>	3,0 – 5,0 μm <i>infravermelho médio</i>	5,0 μm – 1mm <i>infravermelho termal</i>	1mm – 100 cm <i>micro- ondas</i>
Toda a faixa	0,76 - 0,91	1,19 - 1,34	3,5 - 4,2	8,0 - 9,2	3,0 - 100
	1,00 - 1,12	1,55 - 1,75	4,5 - 5,0	10,2 - 12,5	
		2,05 - 2,40			

Fonte: Adaptado de Meneses et al, 2012.

2.5.2 Resolução Das Imagens De Sensoriamento Remoto

As imagens de sensoriamento remoto são caracterizadas por sua estrutura e resolução, elementos fundamentais para a compreensão do processamento digital das mesmas. Sobre a estrutura dessas imagens, elas são compostas por uma combinação de elementos que resultam em uma malha ou grid em que há um sistema de coordenadas para cada cela que compõe esse grid em “x” e “y” que representam linhas e colunas, respectivamente, e também um atributo numérico “z”, que indica o nível de cinza da célula (CRÓSTA, 1992).

Desta forma, entende-se que uma imagem digital pode ser vista como uma matriz e que as celas anteriormente citadas são conhecidas como pixels e para um mesmo sensor remoto, cada pixel descreve uma área com as mesmas dimensões na superfície da Terra. As matrizes que compõem as imagens de sensoriamento remoto apresentam dimensões de até alguns milhares de linhas e colunas (CRÓSTA, 1992).

Existem três diferentes parâmetros dentro do conceito de resolução das imagens de sensoriamento remoto, sendo eles:

- **Resolução Espectral** – é o tamanho (dimensão) de intervalos de comprimentos de ondas específicos, que são as bandas espectrais, no espectro eletromagnético aos quais um instrumento de sensoriamento remoto é sensível. Quanto maior o número de bandas, maior também será a resolução espectral de um sensor (JENSEN, 2009).

- **Resolução Espacial** – A resolução espacial de um detector é expressa em termos do seu campo instantâneo de visada chamado IFOV (*Instantaneous Field of View*) que é o que representa o tamanho do pixel. Sendo assim, a resolução espacial é determinada pela capacidade do detector em diferenciar objetos na superfície terrestre e quanto menor o objeto a ser visto, maior a resolução espacial. Determina-se a resolução geométrica de um detector a partir do ângulo sólido do IFOV, em *milirad*, pela elevação do sensor em relação à superfície do terreno, expressa em metros (BRANCO, 2016).
- **Resolução Radiométrica** – este tipo de resolução depende do número de valores digitais que representam níveis de cinza, os quais são usados para expressar os dados recebidos pelo sensor, sendo que, quanto maiores os valores digitais, maior também será a resolução radiométrica (Branco, 2016). O sistema visual humano não possui sensibilidade para detectar mais do que 30 tons de cinzas diferentes em uma imagem, uma vez que o computador consegue distinguir qualquer quantidade de níveis tornando esta a importante justificativa para se ter imagens de alta resolução radiométrica (CRÓSTA, 1992).

2.5.3 Processamento Digital E Análise De Imagens

Entende-se que o processamento digital de imagens é a manipulação destas usando um computador, de forma que a entrada e saída do processo sejam imagens, buscando melhorar o aspecto visual de suas formas estruturais para facilitar o processo de extração de informações (INPE/DPI, 2001 *apud* BATISTA; AFFONSO, 2002). Esquef et al. (2003) citam e explicam em seu trabalho as diferentes etapas que constituem o processamento digital de imagens: formação e aquisição de imagens, digitalização, pré-processamento, segmentação, pós-processamento, extração de atributos (parametrização), classificação e reconhecimento.

Para a aquisição das imagens de forma remota existem dois métodos de levantamentos: aerofotogramétricos, via voos de aeronaves remotamente pilotadas, ou orbitais, por meio dos satélites. No método aerofotogramétrico, de maior interesse para esta pesquisa, o processo se dá pela coleta de informações a partir de câmeras fotográficas instaladas nas aeronaves e para isso faz-se inicialmente um planejamento de voo, pretendendo-se cobrir toda a área de interesse, como também se faz a verificação da melhor altura de voo para obter imagens de boa resolução e qualidade para melhores análises (AFFONSO, 2002).

No processamento de imagens de sensoriamento remoto é necessário a criação de mapas a partir dos dados coletados pelos sensores, bem como a representação das

imagens em escala cinza ou coloridas. Para esta finalidade, os sistemas de sensoriamento remoto fornecem pontos de referência no solo para medir corretamente as distâncias entre radiações adquiridas, espacialmente próximas, formando uma nuvem de pontos (CAMPS-VALLS et al., 2011).

O método de correção no processamento de dados de sensoriamento remoto é conhecido como georreferenciamento ao qual envolve pontos correspondentes, torcendo e distorcendo a imagem, resultando em imagens espacialmente significativas e precisas para análise, processamento e interpretação humana (CAMPS-VALLS et al., 2011).

2.6 Veículos Aéreos Não Tripulados

O conceito de vôo não tripulado foi formalmente apresentado pelo importante cientista e inventor Nikola Tesla em 1915 e os primeiros testes foram realizados um ano depois, 1916. Porém, apenas no ano de 1917, durante a Primeira Guerra Mundial, foi desenvolvido o primeiro veículo aéreo não tripulado (VANT). Na década de 70 iniciou-se a era moderna dos VANT's com os Estados Unidos e Israel produzindo esses veículos em pequeno porte, que voam mais lentamente, mas que custam mais baratos que os utilizados anteriormente (CHAVES et al., 2012).

São várias as utilidades encontradas atualmente para esta inovação tecnológica das aeronaves não tripuladas, e este tópico apresentará as definições e características básicas dos VANTs, a classificação destas aeronaves com diferentes modelos e os mais variados usos desses veículos na Engenharia Civil.

2.6.1 Definições E Características Básicas

Veículo Aéreo Não Tripulado é o nome oficial reconhecido pelos órgãos reguladores brasileiros do transporte aéreo para se referir a toda aeronave projetada com o objetivo de operar sem piloto a bordo, possuindo carga útil embarcada e para finalidades não recreativas, diferentemente do “drone” que é caracterizado como objeto voador não tripulado para qualquer finalidade: profissional, recreativo, comercial, militar, etc. Isto significa que nem todo “drone” pode ser considerado VANT, pois este se enquadra aos aeromodelos por ser utilizado como hobby ou esporte, categorias estas em que o VANT não se enquadra (PECHARROMÁN E VEIGA, 2016).

Um VANT pode ser de dois diferentes tipos:

- **RPA** (*Remotely-Piloted Aircraft*) - em português diz-se Aeronave Remotamente Pilotada, é o tipo de aeronave em que o piloto realiza o

controle sem estar a bordo, ou seja, utiliza-se uma interface externa, podendo ser: computador, dispositivo digital, simulador, controle remoto, etc. Há também o termo RPAS que é o conjunto de todo o sistema que faz a aeronave voar – estação de pilotagem remota, link de comando que possibilita o controle da aeronave, equipamentos de apoio – ou seja, *Remotely-Piloted Aircraft Systems* (PECHARROMÁN E VEIGA, 2016).

- **Aeronave Autônoma** – para operar este tipo de VANT faz-se a programação de voo e uma vez programada, esta não permite intervenção externa ao longo da realização do voo (PECHARROMÁN E VEIGA, 2016).

2.6.2 Classificação Dos Vants

Visando o aumento da autonomia de voo e carga útil dos veículos aéreos não tripulados, nas últimas décadas surgiram diferentes configurações de aeronaves, de vários tamanhos, níveis de resistência e capacidade de carga e com esta diversificação, tem-se a necessidade de classificar os diferentes tipos de VANTs (ALVES JÚNIOR, 2015).

Segundo Arjomandi et al. (2006) os VANTs podem ser classificados pelas suas características de desempenho tais como peso, resistência, velocidade, aerodinâmica e também pelo seu custo, extensão da asa e altitude máxima de voo. Classificá-los se torna útil para projetistas, fabricantes e clientes permitindo assim que estes projetem e adquiram VANTs de acordo com suas necessidades.

No Quadro 1, tem-se a classificação dos veículos aéreos não tripulados segundo Alves Júnior (2015), que afirma que tipicamente estes tipos de aeronaves se enquadram em uma das cinco categorias expressas no quadro.

Quadro 1 - Classificação dos modelos de VANTs

Categorias		Descrição	Velocidade	Custo	Exemplo
1º	Asa Fixa	Aviões não tripulados com asas fixas que requer uma pista para decolagem e pouso ou uma catapulta de lançamento.	Possuem voos de longa duração e podem voar em sua velocidade máxima e de forma constante	US\$ 50.000	 Falcão Harpia Sistemas

2°	Asa Rotativa	Devido a sua aerodinâmica, possui decolagem e aterrissagem vertical e com a capacidade de pairar no ar, garantindo execução de manobras, importantes para aplicações civis.	Alguns possuem aspecto de helicóptero, com uma hélice principal e uma secundária na cauda; motores em eixos variando em quatro, seis, oito ou mais, denominados multirotores ou drones.	U\$ 499 à U\$ 1499	 Octocóptero AV-O1
3°	Blimps	São como balões de ar e dirigíveis, que são mais leves que o ar e geralmente são grandes em tamanho.	Possuem longa duração de voo e baixas velocidades.	U\$ 100.000 à U\$ 200.000.	 JLENS <i>Raytheon Company</i>
4°	Flapping-Wing (Batedores de asas)	Inspirada em pássaros e insetos, estas aeronaves possuem asas flexíveis	Podem funcionar a uma velocidade de 2,5 m/s.	não informado	 <i>Bipedal Ornithopter for Locomotion Transitioning (BOLT)</i>
5°	Híbridos ou conversíveis	Estas aeronaves podem decolar verticalmente e após a decolagem possui habilidade de inclinar os motores.	Podem voar com velocidades de até 13 m/s e permanecer no ar por até uma hora.	não informado	 <i>Bell Eagle Eye</i>

Fonte: Adaptado de Alves Júnior (2015, *apud* BARCELOS 2017)

2.6.3 Aplicações Do Vant Na Engenharia Civil

As aeronaves remotamente pilotadas possuem diversidade de aplicações no que se refere à infraestrutura civil, pois fornecem recursos de coleta de dados de forma rápida e eficaz, superando os métodos existentes em termos também de facilidade, precisão e custo. Por exemplo, os satélites apresentam empecilhos visto que são limitados pelo seu tempo de retorno, cobertura das nuvens, coleta e resolução das imagens em perspectiva, bem como as equipes humanas terrestres podem se deparar com certos desafios durante a coleta de dados: terrenos traiçoeiros, obstáculos físicos e condições adversas no local de análise (GREENWOOD et al., 2019).

Assim sendo, os engenheiros civis estão aproveitando as vantagens que os diferentes modelos de VANTs podem oferecer e aplicando em suas diversas áreas de atuação. Shih-Chung Kang et al. (2014) em seu estudo sobre as aplicações das aeronaves remotamente pilotadas na engenharia civil, resumiu diferentes cenários em várias subdisciplinas em que o uso destas podem gerar grandes benefícios:

Avaliação de Risco Sísmico: o uso do VANT nesses casos se dá com o objetivo de reunir dados de investigação em tempo real no pós-desastre (áreas de difícil acesso, por vezes contaminada por radiação ou substâncias nocivas) beneficiando significativamente as tarefas de limpeza, reabilitação e adaptação, como também é importante para o setor de seguros, uma vez que a estimativa de perda sísmica anual média de edifícios ou infraestrutura é essencial para o cálculo que valora os imóveis.

Transporte: A coleta de dados relacionadas ao transporte geralmente requer rapidez no processo e naturalmente a agilidade na coleta de dados pelas aeronaves remotamente pilotadas apresenta-se como uma ótima vantagem. As aplicações nas quais os VANTs foram implementados variam desde o patrulhamento de ativos nas estradas, ao gerenciamento e vigilância do tráfego, avaliações das condições dos pavimentos e situações de emergência. Os VANTs garantem uma rica coleta de dados detalhados e assim toda a rede de transporte e a área de interesse são enriquecidas com informações que permitem uma melhor tomada de decisão.

Resposta a desastres: os VANTs operam nestas situações com o objetivo de conhecer as condições do desastre: incêndios, acidentes nas vias, rompimento de barragens, etc. Assim a avaliação inicial incluiria danos na zona de desastre e as condições do caminho de acesso à área atingida e com isso permite uma melhor visão do ocorrido e auxilia no planejamento da implantação de recursos, criação de rotas planejadas para

acesso ao local e avaliação estrutural visando uma montagem de equipes de busca e salvamento mais eficientes.

Gerenciamento da construção: Grandes projetos de construção como pontes, rodovias e usinas requerem a coordenação de centenas de trabalhadores e alto volume de maquinário para a construção e desta forma as aeronaves remotamente pilotadas podem monitorar um canteiro de obras inteiro sem restrições de acessibilidade. A vista superior e geral do canteiro pode servir também para a elaboração de planos por parte dos engenheiros, relativamente ao gerenciamento de riscos, segurança da equipe de campo e melhoria da produtividade no local.

Mapeamento: um VANT pode ser operado sem muito trabalho preparatório ou restrições regulatórias e por isso é uma boa solução para tarefas que requerem respostas rápidas como o mapeamento emergencial de eventos inesperados tais como inundações repentinas ou incêndios florestais. Também pode ser usado em ambientes fechados e em locais tóxicos ou contaminados por radiação e assim os operadores não precisam arriscar suas vidas, sendo possível adquirir informações espaciais necessárias para uma tarefa de mapeamento.

Monitoramento e avaliação de inundações: Com a ocorrência de fortes chuvas o sistema de coleta de águas pluviais e esgoto das cidades ficam saturados gerando transbordamentos e inundações, podendo haver também o rompimento ou galgamento do volume das barragens e inundar toda a área vizinha. As inundações são um dos desastres naturais mais destrutivos, que apresentam o maior número de mortes, danificam propriedades em terras urbanas e agrícolas de qualquer outro risco natural nas últimas décadas. Desta maneira, os VANTs podem servir como ferramenta poderosa para o acesso a dados espaciais, transmissão de imagens em tempo real, detecção de áreas de inundação de alto risco, etc.

Em vista destas possibilidades, de acordo com Duarte e Gomes Jr. (2018), a engenharia civil está em constante busca de novas tecnologias para aumentar a produtividade, reduzir gastos, garantir a qualidade dos serviços e fornecer segurança aos usuários, e dessa forma os VANTs surgem como uma alternativa com variadas aplicações a serem exploradas e aprimoradas

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os levantamentos dos defeitos na área de interesse foram feitos conforme a norma DNIT 006/2003-TER - Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos – Procedimento – por caminhamento. Um segundo método foi realizado para o levantamento dos mesmos defeitos, com o uso de uma aeronave remotamente pilotada a qual gerou ortofotos, resultando em um ortomosaico que possibilita a análise da pista de rolamento de forma digital. Os detalhes da escolha da área e dos levantamentos via caminhamento e *software* são apresentados neste tópico.

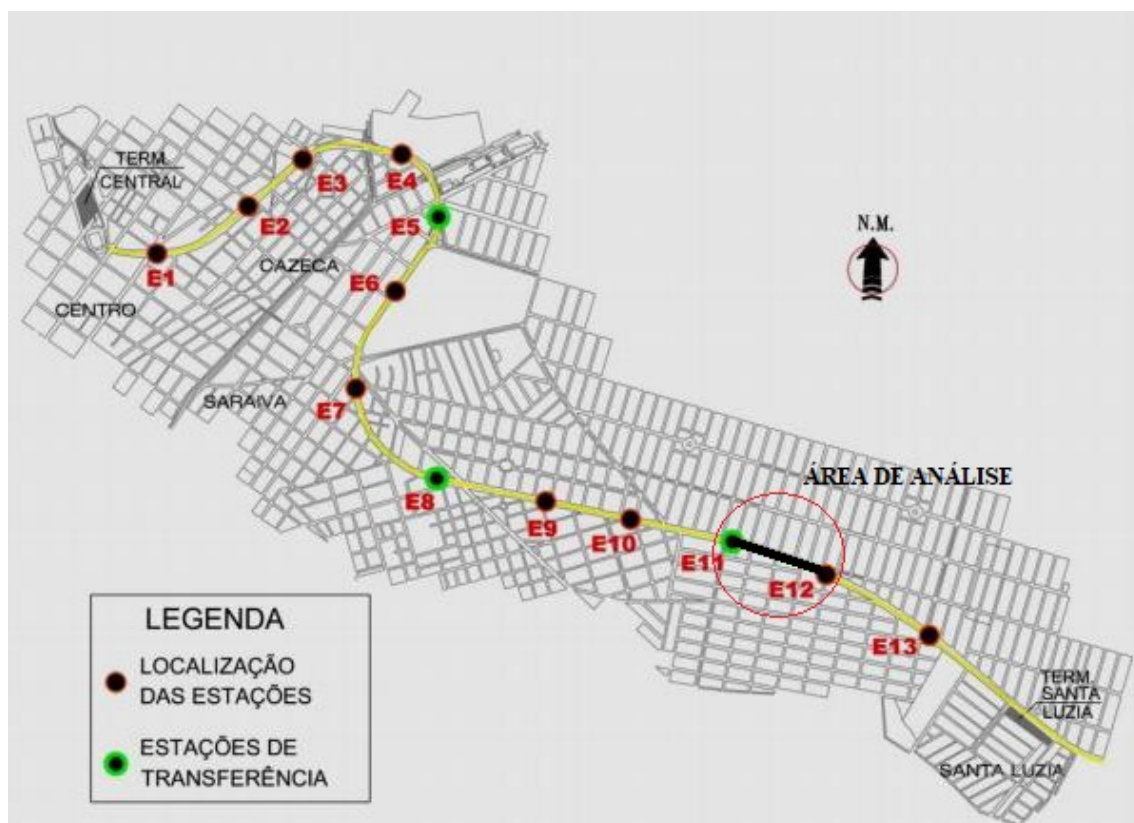
3.1 Área De Estudo

Para a realização da avaliação objetiva buscou-se uma via que compreendesse vários defeitos existentes e que causasse nitidamente danos e desconforto aos usuários. Assim, o corredor estrutural de ônibus da Avenida João Naves de Ávila na cidade de Uberlândia foi selecionado para o estudo. Porém, para a escolha do local exato, fez-se um teste como usuário no ônibus coletivo, investigando o intervalo entre estações de parada que apresentassem maior desconforto aos passageiros e ao motorista.

O sistema BRT (*Bus Rapid Transit*), ou seja, um corredor exclusivo para a circulação de transporte coletivo que garante agilidade no embarque e desembarque por contar com plataformas elevadas no mesmo nível dos veículos, foi implantado na Avenida João Naves de Ávila no ano de 2006. É constituído por 13 estações de parada ao longo da avenida, como mostra a Figura 26, e tem extensão de 15 km, sendo 7,5 km no sentido bairro-centro e 7,5 km no sentido centro-bairro, interligando o terminal Santa Luzia e o Terminal Central.

Após percorrer todo o percurso feito pelo ônibus, entre as estações de parada 11 (UAI) e 12 (PAMPULHA) constatou-se uma maior intensidade de trepidações além de que, em devido local, pela presença de uma panela de grandes dimensões, o motorista era obrigado a sair do corredor para conseguir fazer o desvio. Logo, a avaliação objetiva do pavimento do corredor de ônibus foi realizada entre estas estações de parada, iniciando a análise em frente ao supermercado Bretas, nº 5039 no Bairro Santa Mônica, no sentido centro-bairro.

Figura 26 - Corredor Estrutural de Ônibus na Avenida João Naves de Ávila



Fonte: SETTRAN CTA (2015)

Apenas a linha T131- Terminal Santa Luzia/ Terminal Central, passa entre as estações de parada 11 e 12 e de acordo com a grade horária completa disponibilizada pela Autotrans que é a empresa responsável pela coordenação dos ônibus coletivos, fazendo uma contagem simples, tem-se que o ônibus solicita a via 168 vezes ao dia, em apenas um sentido. Por análises de campo, percebeu-se que o veículo de maior carga que trafega neste trecho do corredor de ônibus possui 1 eixo simples com rodas simples (ESRS) com carga máxima de até 6 toneladas e 2 eixos simples com roda dupla (ESRD) com carga máxima de até 10 toneladas por eixo. Assim, o Fator de Eixo (FE) que indica quantos eixos possuem os veículos da frota em média, é igual a 3 eixos, considerando apenas um tipo de veículo, o mais pesado. Para o cálculo do número de passageiros do eixo padrão determinou-se os fatores de equivalência de carga de acordo com a Tabela 3, apresentada no Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006):

Tabela 3- Fatores de equivalência de cargas

Tipos de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

P = peso bruto total sobre o eixo

Fonte: Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006)

Usando as equações referentes aos eixos simples descritas na Tabela 3, para 6 toneladas e 10 t, tem-se que para o ESRS o fator de equivalência é igual a 0,28 e para o ESRD o fator de equivalência é 3,29, totalizando em um fator de equivalência total de 6,86 por veículo, considerando 1 ESRS e 2 ESRD.

Ao multiplicar o volume de tráfego diário (168) pelo fator de equivalência total (6,86), e dividir o resultado pelo número de eixos totais que solicitam a via durante o dia (3 eixos x 168 vezes = 504 eixos por dia), chega-se a um fator de carga médio por eixo de 2,29. Assim, foi possível estimar o número de solicitações (N) para o corredor estrutural de ônibus da avenida João Naves de Ávila para o ano atual. Desse modo, considerando o fator regional igual a 1 e tem-se $4,2 \times 10^5$ solicitações de eixo padrão de 8,2 t, para um ano de operação.

3.2 Voo Da Aeronave Remotamente Pilotada

O Vant usado a fim de sobrevoar a área escolhida para análise foi o modelo Phantom 4 PRO que possui tempo de voo máximo de 30 minutos, equipado de uma câmera com sensor embarcado de uma polegada e 20 megapixels e que é capaz de gerar imagens em alta resolução por contarem com 8.294.400 pixels, ou seja, tecnologia 4K. A Figura 27 apresenta o drone usado para a captura das imagens.

Figura 27 - Vant Phantom 4 PRO

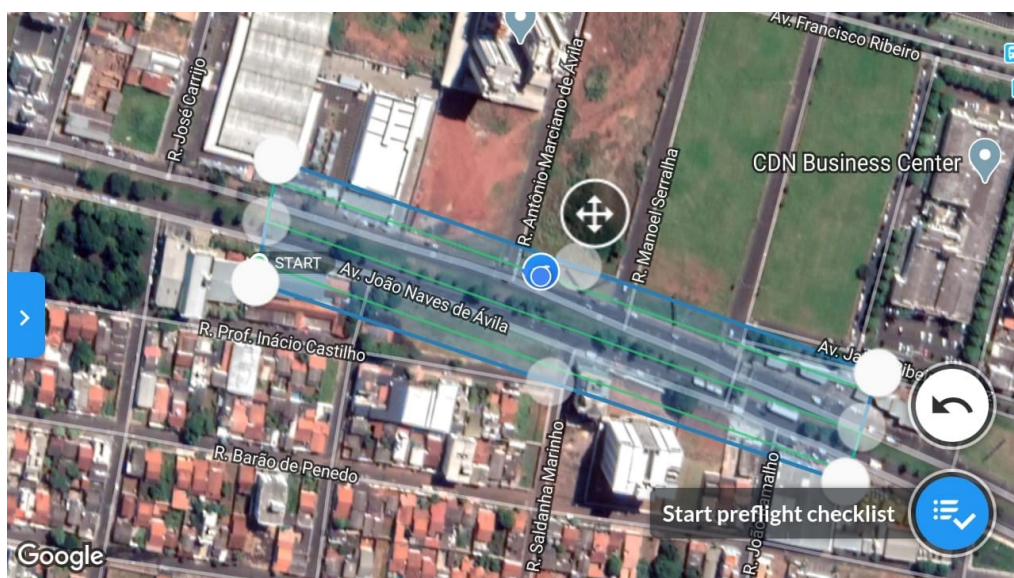


Fonte: Autoria própria (2020)

O voo foi executado no dia 05 de abril de 2020, próximo ao meio dia, cobrindo uma área de 5,4 hectares e sobrevoando uma altura de 50 metros. A área de interesse foi estabelecida no *Google Earth* gerando um arquivo de extensão KML, o qual foi importado para o aplicativo gratuito automatizado chamado *DroneDeploy*, que estabelece as linhas de voo (em verde na Figura 28).

A empresa DuSiqueira Geotecnologias, parceira nesta pesquisa, foi a responsável pela elaboração e realização do voo com a aeronave, como também, o processamento das imagens e geração de arquivos para análise.

Figura 28 - Plano de voo no aplicativo *DroneDeploy*



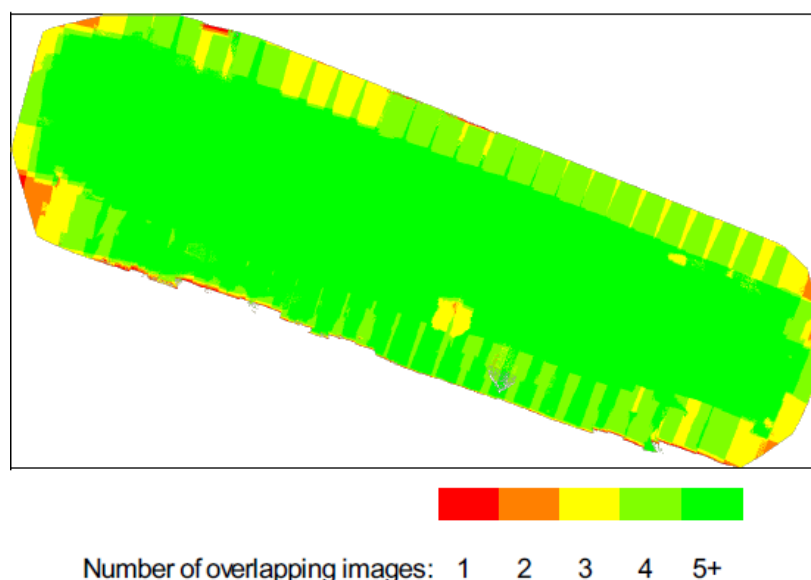
Fonte: Adaptado de *DroneDeploy* (2020)

Neste voo o drone capturou imagens que se sobrepõem umas às outras para em um passo posterior, formar apenas uma única imagem pertencente a toda a área sobrevoada. Segundo Ferreira (2014) a superposição longitudinal das imagens, ao longo da faixa de voo, utilizada normalmente na fotogrametria, é de 60%, sendo controlada pela distância entre as imagens capturadas na mesma linha de voo e se esta taxa não for respeitada, irá faltar informações comuns entre as fotos acarretando em erros no processamento das imagens. Quanto maior a taxa de sobreposição, maior será a abundância de fotos e de pontos de amarração entre elas e desta maneira, com a altura de voo empregada, a taxa de sobreposição longitudinal usada foi de 75%.

3.2.1 Processamento Das Imagens Capturadas

As imagens capturadas foram processadas no dia seguinte no *software Pix4Dmapper* que gerou um relatório de qualidade com todas as informações referentes aos produtos gerados pelo voo. Ao todo foram capturadas 86 imagens calibradas e geolocalizadas, com resolução de 2,04 centímetros e 34654 pontos chave por imagem. O relatório forneceu a Figura 29 que mostra o número de imagens sobrepostas calculadas para cada pixel, em que as áreas vermelhas e amarelas indicam baixa sobreposição para a qual resultados ruins podem ser gerados e as áreas verdes indicam uma sobreposição de cinco imagens para cada pixel, indicando bons resultados.

Figura 29 - Número de imagens sobrepostas calculadas para cada pixel

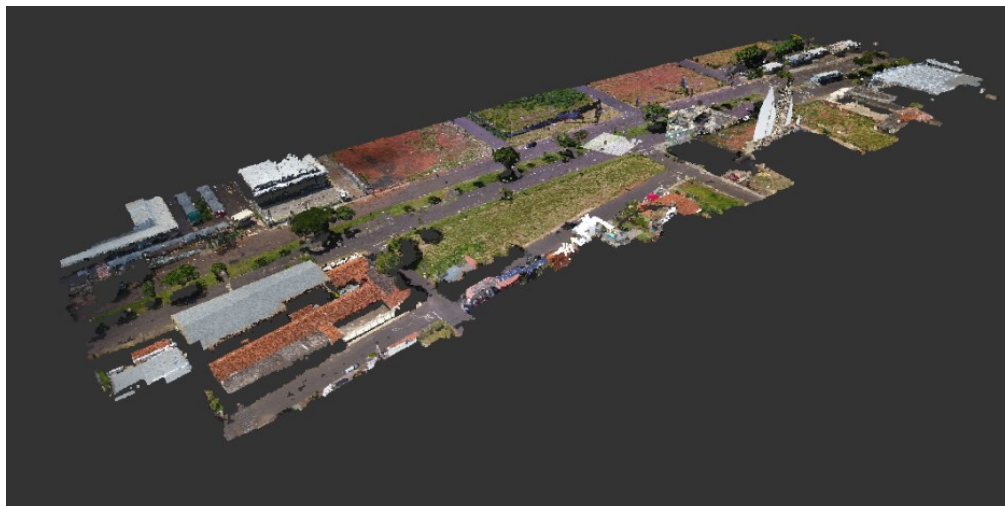


Fonte: Adaptado de Relatório de Qualidade do Pix4D (2020)

Um dos produtos gerados foi a nuvem de pontos densificada em extensão .LAS com 8.404.579 pontos 3D densificados. A nuvem de pontos foi inserida no *software Autodesk Recap* resultando na Figura 30.

O processamento de imagens gerou vários mosaicos em extensão TIF, sendo este um formato de imagem ideal para troca e envio de arquivos sem a perda de qualidade e detalhes, configurando em arquivos maiores e mais pesados. Estes mosaicos são a transição da nuvem de pontos em 3D para um mapa em 2 dimensões, resultando em imagens ideais para análise da superfície e estudos dos defeitos da via.

Figura 30 - Nuvem de Pontos



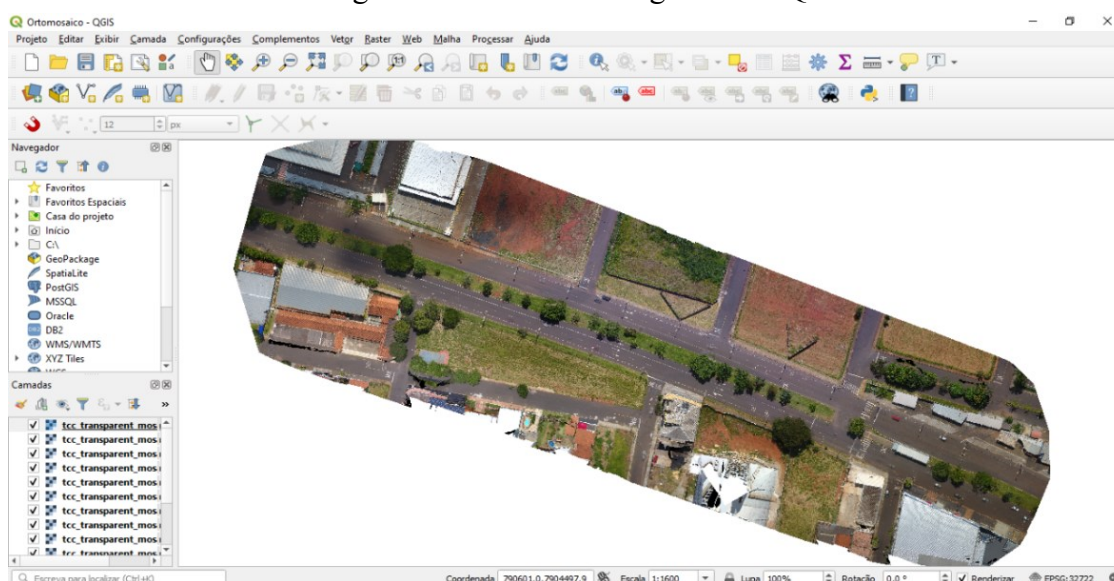
Fonte: Autoria própria (2020)

3.2.2 Criação Do Ortomosaico

Para a criação do ortomosaico e avaliação dos defeitos no pavimento foi escolhido o *software* QGIS versão 3.10, que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados e a criação de mapas com várias camadas sendo assim possível medir e delimitar as estações de análise e conferir os tamanhos dos defeitos encontrados.

Em posse dos mosaicos formados em arquivo TIF, estes foram inseridos no software que os uniu formando apenas uma imagem, uma representação cartográfica que permite visualizar completamente a área mapeada com o Vant. A imagem obtida é nítida, de alta qualidade espacial e precisa, visto que as fotos passaram por um processamento digital e foram trabalhadas computacionalmente, como apresenta a Figura 31.

Figura 31 - Ortomosaico gerado no QGIS



Fonte: Autoria própria (2020)

3.3 Avaliação Objetiva No Corredor Estrutural De Ônibus Da Avenida João Naves De Ávila

Para a realização da avaliação objetiva por caminhamento de acordo com o método do IGG, foram demarcadas na faixa do corredor de ônibus 15 estações de análise alternando entre a faixa da direita e a faixa da esquerda. Visando um dia e horário de baixo tráfego para efetuação das medições e análises, as coletas de dados foram feitas em dois domingos na parte da manhã: o primeiro no dia 12 de abril com a demarcação e levantamento dos defeitos das estações de análise 1 a 6 e o segundo no dia 19 de abril inventariando os defeitos das estações de análise restantes. Para a demarcação das estações de análise e enumeração das mesmas, foram utilizadas fitas crepe amarela e uma trena longa de fita, como apresenta a Figura 32.

Figura 32 - Exemplo de demarcação das estações análise – Estação 1



Fonte: Autoria própria (2020)

Para a aferição da profundidade das trilhas de roda, como determina a norma Norma DNIT 006/2003-TER, foi feito o uso de uma treliça de alumínio com 1,20 metros de base, com escala graduada em milímetros. O inventário disponibilizado na mesma norma também foi usado para fazer o acompanhamento e anotações, e na Figura 33 são mostrados os materiais utilizados para este trabalho de campo.

Figura 33 - Materiais utilizados



Fonte: Autoria própria (2020)

Para cada um dos defeitos foram anotados o seu tipo. Com o auxílio de giz colorido, a área de influência do defeito foi demarcada e anotadas as dimensões correspondentes para comparações, sendo que as medições eram feitas de acordo com a Figura 22 da página 36. Como exemplo de delimitação e medição dos defeitos, a Figura 34 ilustra a marcação de uma panela e de uma trinca curta.

Figura 34 - Exemplos de demarcação dos defeitos com uso de giz



Fonte: Autoria própria (2020)

No início da coleta de dados, notou-se que a panela de grandes dimensões que chamou a atenção em um primeiro momento, havia sido sujeita a uma operação de tapaburacos transformando-se no remendo analisado na Estação 1, por também causar desconforto ao usuário e ser entendido como um defeito. Ademais, a via apresentou defeitos como trincas do tipo couro de jacaré com e sem erosões, panelas, trincas longitudinais e transversais longas e curtas, afundamentos em trilha de roda externos e internos e afundamento plástico na trilha de roda. Ao final da coleta, foi gerada a planilha apresentada na Tabela 4, com 41 defeitos contabilizados nas 15 estações de análise e suas respectivas dimensões e áreas de influência.

Tabela 4 - Dados coletados na análise objetiva por caminhamento

1º DIA						
DATA:		12/04/2020		Largura da pista: 3,60 m		
HORA:		09:00		Corredor de ônibus		
TEMPO:		BOM		Av. João Naves de Ávila 5039		
ESTAÇÃO	Nº DEFEITO	TIPO DE DEFEITO	CLASSE DAS FENDAS	DIMENSÕES		ÁREA (m²)
				LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	
E1	1	RS		2,8	4,14	11,592
	2	J	FC-2	0,5	0,77	0,385
E2	3	TTL	FC-1		1,05	
E3	Sem defeitos					
E4	4	JE	FC-3	0,94	0,6	0,564
E5	5	P		0,4	0,4	0,16
	6	TLL	FC-2		6	
	7	TTC	FC-2		0,15	
E6	8	P		0,4	0,4	0,16

2º DIA						
DATA:		19/04/2020		Largura da pista: 3,60 m		
HORA:		08:20		Corredor de ônibus		
TEMPO:		CHUVOSO		Av. João Naves de Ávila 5039		
ESTAÇÃO	Nº DEFEITO	TIPO DE DEFEITO	CLASSE DAS FENDAS	DIMENSÕES		ÁREA (m²)
				LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	
E7	9	TLL	FC-1		2	
	10	P		0,46	0,34	0,16
E8	11	P		0,3	0,3	0,09
	12	P		0,3	0,62	0,19
E9	13	P		0,5	0,58	0,29
	14	J	FC-2	0,6	1,62	0,97
	15	RS		2,59	2,4	6,22
	16	TTC	FC-2	0,84	0,15	0,13
	17	JE	FC-3	1,18	1,12	1,32
	18	P		0,61	0,39	0,24
E10	19	TLL	FC-1		3,9	
	20	TLL	FC-1		1,2	
E11	21	TLC	FC-3		0,41	
	22	TLC	FC-3		0,95	
	23	TLC	FC-3		0,32	
	24	P		0,4	0,4	0,16
	25	P		0,4	0,4	0,16

E12	26	JE	FC-3	1,32	0,65	0,86
	27	JE	FC-3	0,57	0,95	0,54
	28	TTC	FC-2		0,79	
	29	TTC	FC-1		0,55	
	30	P		0,43	0,35	0,1505
E13	31	TLL	FC-3		13,38	
	32	TLL	FC-3		1,2	
	33	TLL	FC-3		3,2	
	34	TLC	FC-2		0,96	
	35	TLL	FC-2		1,18	
	36	TLC	FC-2		0,67	
	37	TTC	FC-3		0,26	
E14	38	JE	FC-3	3,25	0,89	2,8925
	39	JE	FC-3	2,07	3,7	7,659
E15	40	TLL	FC-3		3,25	
	41	ATP				

Fonte: Autoria própria (2020)

3.4 Análise Dos Defeitos No Ortomosaico

Primeiramente, as 15 estações foram demarcadas no mosaico formado no painel principal do *software* QGis, com comprimento de 6 metros, largura igual à do corredor de ônibus e distanciadas em 20 metros a partir de seus eixos, a fim de coincidirem exatamente com o mesmo local em que a análise objetiva por caminhamento foi realizada, como mostra a Figura 35.

Figura 35 – Estações de análise demarcadas no Ortomosaico

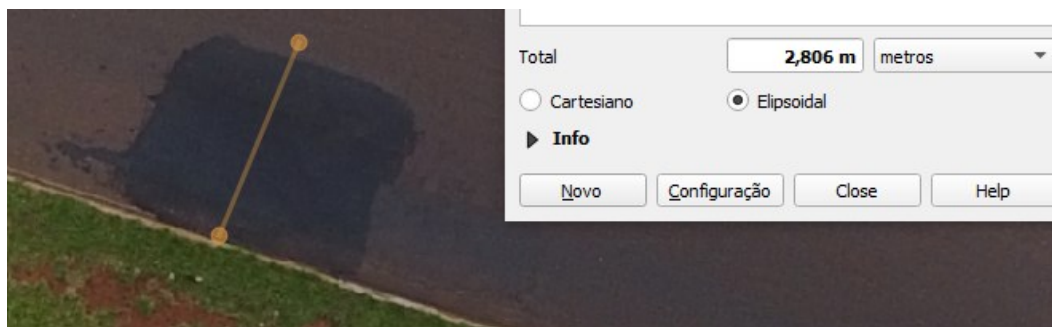


Fonte: Autoria própria (2020)

Utilizando a ferramenta *zoom* do programa, foi possível analisar com mais detalhes os defeitos visíveis em cada estação. Com a ferramenta “linha” foi possível obter as dimensões de cada defeito, como mostra o exemplo da Figura 36. Ao todo foram visualizados 10 defeitos, sendo eles: remendos, trincas longitudinais longas, panelas,

trincas tipo couro de jacaré e afundamento plástico na trilha de roda. A profundidade dos afundamentos em trilha de roda interna e externa não foram aferidos neste método devido a análise decorrer em um plano 2D. O resultado do levantamento e das medidas dos defeitos são apresentados na Tabela 5.

Figura 36 - Medição da largura do remendo na Estação 1



Fonte: Autoria própria (2020)

Tabela 5 - Dados coletados na análise de defeitos a partir do Ortomosaico

Levantamento Via QGis					
DATA:		05/04/2020	Largura da pista:		3,60 m
HORA:		12:00	Corredor de ônibus		
TEMPO:		BOM/ SOL A PINO	Av. João Naves de Ávila 5039		
ESTAÇÃO	Nº DEFEITO	TIPO DE DEFEITO	DIMENSÕES		ÁREA (m²)
			LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	
E1	1	R	2,8	4,19	11,73
E2	Sem defeitos				
E3	Sem defeitos				
E4	Sem defeitos				
E5	2	TLL		6	
E6	Sem defeitos				
E7	Sem defeitos				
E8	Sem defeitos				
E9	3	P	0,63	0,85	0,54
	4	R	2,51	2,69	6,75
	5	P	0,63	0,4	0,25
E10	6	TLL		3,9	
E11	Sem defeitos				
E12	Sem defeitos				
E13	7	TLL		13,59	
E14	8	J	3,19	0,85	2,71
E15	9	TLL		3,43	
	10	ATP			

Fonte: Autoria própria (2020)

Vale ressaltar que nas estações de análise E2, E6, E11 e E12 as sobreposições das árvores atrapalharam a análise, sendo que na E12 aproximadamente 90% da visão foi impedida pelo sombreamento da árvore, como pode-se notar na Figura 37.

Figura 37- Análise da E12 impedida pela sobreposição da árvore sobre o pavimento



Fonte: Autoria própria (2020)

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Os dois métodos usados para avaliação objetiva da superfície do pavimento escolhido (análise por caminhamento e análise a partir do ortomosaico), permitem alcançar valores do parâmetro IGG por meio dos dados coletados. Com estes resultados é possível chegar a conclusões sobre os pontos fortes e também apresentar as deficiências de cada método.

4.1 Método De Análise Objetiva Por Caminhamento

A análise objetiva da superfície, feita por caminhamento no corredor estrutural de ônibus na Avenida João Naves de Ávila entre as estações de parada 11 (UAI) e 12 (PAMPULHA) na área de análise da Figura 38, que foi dividida em 15 estações de análise conforme Figura 35, resultou em dados coletados tais como a quantidade de defeitos por estação, as dimensões dos defeitos como já apresentado na Tabela 4, a profundidade das trilhas de roda interna e externa e análises mais minuciosas que possibilitam classificar um defeito por ter ou não erosão nas bordas.

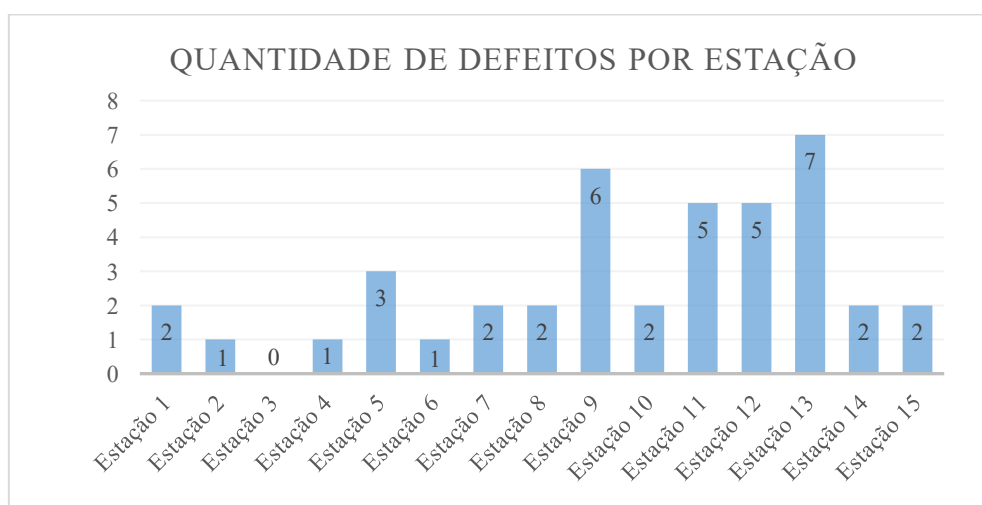
Figura 38 - Área de análise



Fonte: Google Earth PRO (2020) – Adaptado pelo autor

O Gráfico 1 apresenta a relação da quantidade de defeitos que foram verificados em cada estação, totalizando 41 defeitos nas 15 estações de análise. Nota-se que a estação 3 não apresentou nenhum defeito e que a estação 13, foi a estação com maior número de defeitos, apresentando ocorrências de trincas longitudinais longas, trincas longitudinais curtas e trinca transversal curta. Na Figura 39, uma fotografia feita no momento da avaliação objetiva, observa-se a presença de trincas na estação e marcação viária, indicando a faixa exclusiva para a passagem de ônibus.

Gráfico 1- Defeitos em cada estação pelo método de análise por caminhamento



Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 39 - Estação 13 (Possui maior incidência de defeitos)



Fonte: Autoria própria (2020)

As trilhas de roda externas e internas foram medidas em milímetros com a treliça metálica (veja a Figura 40) e foram anotados o maior valor medido em cada trilha. Nas estações de análise que houveram outros defeitos que impossibilitaram a medida da flecha, a treliça foi deslocada no interior da área de análise para se obter uma flecha.

Figura 40 - Medidas das trilhas de roda interna e externa



Fonte: Autoria própria (2020)

Com os dados coletados, o inventário do estado da superfície do pavimento, disponibilizado na norma DNIT 006/2003 – PRO no Anexo B, foi preenchido conforme

Quadro 2. As trincas isoladas foram anotadas como do tipo 1 e os remendos, sejam superficiais ou profundos, foram anotados como Remendos - R. As estações de análise 1 e 2, 5 e 6 não apresentaram profundidade na trilha de roda. As estações de análise 3, 4 e 14 apresentaram flecha apenas na trilha de roda externa, e as estações de análise 7 e 8 apresentaram flecha apenas na trilha de roda interna.

Quadro 2 - Inventário De Estado Da Superfície Do Pavimento - Análise Por Caminhamento

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																							
RODOVIA: AVENIDA JOAO NAVES DE ÁVILA OPERADOR: TRECHO: FRENTE AO BRETAS REVESTIMENTO TIPO: FLEXÍVEL SUBTRECHO: 1																DATAS: 12/04 E 19/04/2020						FOLHA: 01/01	
																				ESTACA OU QUILOMETRO		ESTACA OU QUILOMETRO	
Estaca ou km	Lado	TRINCAS						AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		Observações:			
		ISOLADAS				INTERLIGADAS				PLASTICO								CONSOLID			TRI mm	TRE mm	
		FI 1	TTC 1	TTL 1	TLC 1	TLL 1	TRR 1	FC -2		FC - 3		ALP 4	ATP 4	ALC 4	ATC 4	O 5	P 5	E 5	EX 6		D 7	R 8	
1	E							X												X	0	0	Para rodovias de pista dupla, a média e a variância das flechas medidas nas TRE e TRI das faixas de tráfego mais socilitadas de cada pista, devem ser calculadas separadamente
2	D					X															0	0	
3	E																				0	9	
4	D									X											0	10	
5	E		X			X										X					0	0	
6	D															X					0	0	
7	E					X										X					9	0	
8	D															X					4	0	
9	E		X					X		X						X				X	10	7,5	
10	D					X															11	5	
11	E				X											X					10	3	
12	D		X							X						X					1	4	
13	E		X		X	X															10,5	4	
14	D									X											0	7	
15	E					X						X									5	3	

Fonte: Autoria própria (2020)

Finalmente, para a determinação do IGG, a planilha de cálculo exibida na Figura 23 foi preenchida a partir da frequência de defeitos de maior gravidade, como no caso das trincas que foram consideradas apenas as de Classe 3. A média e a variância das flechas medidas nas trilhas de roda interna e externa foram calculadas separadamente (direita e esquerda) devido a avenida João Naves de Ávila se caracterizar como pista dupla. Calculado o índice de gravidade individual para cada defeito, a soma destes valores resultou em um $IGG = 108,79$, parâmetro este que está entre os limites $80 < IGG \leq 160$, e segundo a Figura 24, classifica a qualidade do pavimento como RUIM.

Tabela 6 - Cálculo do IGG - Análise por caminhamento

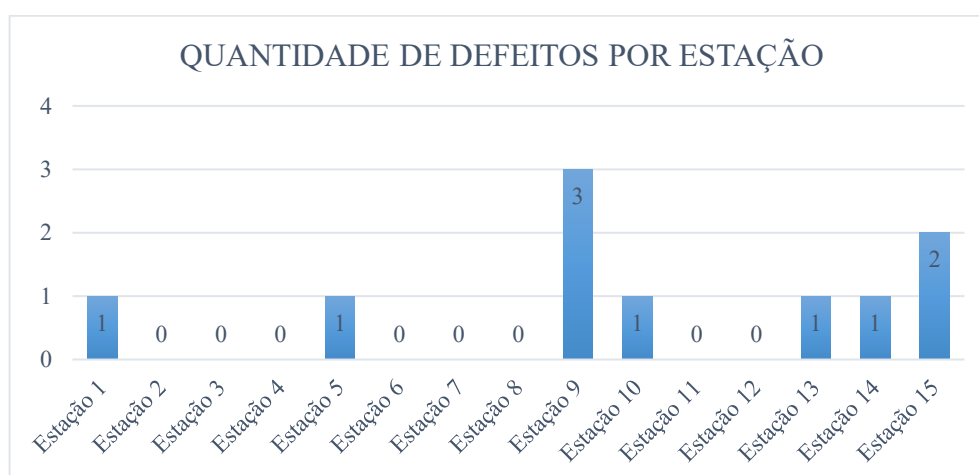
PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)								
RODOVIA: AVENIDA JOÃO NAVES DE ÁVILA TRECHO: FRENTE AO BRETAS SUB-TRECHO: REVESTIMENTO TIPO: FLEXÍVEL					Data:	Folha:		
					Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro		
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações	
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	12	4	26,67	0,2	5,33	Foram considerados os defeitos de maior gravidade	
2	(FC – 2) J, TB	2	1	6,67	0,5	3,33		
3	(FC – 3) JE, TBE	4	4	26,67	0,8	21,33		
4	ALP, ATP, ALC, ATC	1		6,67	0,9	6,00		
5	O, P, E	7		46,67	1,0	46,67		
6	EX	0		0,00	0,5	0,00		
7	D	0		0,00	0,3	0,00		
8	R	2		13,33	0,6	8,00		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER - Pista da Esquerda	3,31	5,56	4,44	1,33	5,92		
	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER - Pista da Direita	3,71	2,29	3,00	1,33	4,00		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas - Pista da Esquerda	3,45	4,91	4,18	1	4,18		
	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas - Pista da Direita	3,95	4,11	4,03	1	4,03		
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		15	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG			108,79		Conceito : Ruim

Fonte: Autoria própria (2020)

4.2 Método De Análise Dos Defeitos A Partir Do Ortomosaico

A análise dos defeitos via *Software* QGis foi feita usando um mosaico em duas dimensões (2D), sendo possível extrair dados de comprimento e largura dos 10 defeitos, como mostra a Tabela 5, porém, impossibilita a leitura em profundidade das trilhas de roda existentes na maioria das estações de análise. A quantidade de defeitos detectados por estação é ilustrada no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Defeitos por estação no método via ortomosaico



Fonte: Autoria própria (2020)

Baseado em todos os defeitos perceptíveis e possíveis de extrair dimensões, o inventário do estado de superfície do pavimento foi preenchido conforme Quadro 3. Nota-se que a coluna referente as trilhas de roda externa e interna não foram completadas, devido a impossibilidade de medição da profundidade. Por este método também não foi possível caracterizar a classe das trincas isoladas e interligadas por não serem perceptíveis. Por isto, a frequência absoluta considerada para o cálculo do IGG contabilizou todas as trincas visíveis no ortomosaico.

Aplicando o fator de ponderação às frequências relativas, tem-se o valor de índice de gravidade individual para cada defeito encontrado e com a soma desses valores, tem-se que o IGG para este método, foi 28. Consultando a Figura 24, tem-se que o parâmetro 28 está entre o intervalo $20 < \text{IGG} \leq 40$, estabelecendo que a superfície do pavimento está num estado BOM. Os valores considerados e os cálculos realizados que resultaram neste parâmetro e estado da superfície, estão descritos na Tabela 7.

Quadro 3 - Inventário do estado da superfície do pavimento - Análise a partir do Ortomosaico

INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO																								
RODOVIA: AVENIDA JOAO NAVES DE ÁVILA TRECHO: FRENTE AO BRETAS TIPO: FLEXÍVEL SUBTRECHO: DATAS: 05/04													OPERADOR: REVESTIMENTO						FOLHA:					
																	ESTACA OU QUILOMETRO		ESTACA OU QUILOMETRO					
Estaca ou km	Lado	TRINCAS						AFUNDAMENTOS				OUTROS DEFEITOS						TRILHAS DE RODAS		Observações:				
		ISOLADAS			INTERLIGADAS			PLASTICO		CONSOLID														
		FI	TTC	TTL	TLC	TLL	TRR	FC - 2		FC - 3		ALP	ATP	ALC	ATC	O	P	E	EX		D	R	TRI	IRE
		1	1	1	1	1	1	J	TB	JE	TBE	4	4	4	4	5	5	5	6		7	8	mm	mm
1	E																				X			Para rodovias de pista dupla, a média e a variância das flechas medidas nas TRE e TRI das faixas de tráfego mais solicitadas de cada pista, devem ser calculadas separadamente
2	D																							
3	E																							
4	D																							
5	E					X																		
6	D																							
7	E																							
8	D																							
9	E															X				X				
10	D					X																		
11	E																							
12	D																							
13	E					X		X																
14	D																							
15	E											X												

Fonte: Autoria própria (2020)

Tabela 7 - Cálculo do IGG - Análise a partir do Ortomosaico

PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)							
RODOVIA: AVENIDA JOÃO NAVES DE ÁVILA					Data:	Folha:	
TRECHO: FRENTE AO BRETAS					Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro	
SUB-TRECHO:							
REVESTIMENTO TIPO: FLEXÍVEL							
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	3	3	20,00	0,2	4,00	
2	(FC – 2) J, TB	1	1	6,67	0,5	3,33	
3	(FC – 3) JE, TBE	0	0	0,00	0,8	0,00	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	1		6,67	0,9	6,00	
5	O, P, E	1		6,67	1,0	6,67	
6	EX	0		0,00	0,5	0,00	
7	D	0		0,00	0,3	0,00	
8	R	2		13,33	0,6	8,00	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER						
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas						
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		15	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG			28,00	Conceito : Bom

Fonte: Autoria própria (2020)

Comparando a quantidade de defeitos encontrados no método de análise por caminhamento e no método de análise do ortomosaico (Gráficos 1 e 2), tem-se que apenas 24,40 % dos defeitos encontrados na via por caminhamento, são visíveis no ortomosaico. Esta baixa porcentagem se deve a alguns fatores observados durante as comparações.

Um primeiro fator, é a incidência das sombras das árvores sobre o pavimento, impossibilitando a análise da estação como um todo o que afeta diretamente o resultado. Outro fator é o tamanho dos defeitos, tendo em vista que a maior parte das placas contabilizadas na avaliação objetiva por caminhamento estavam em seu início, com dimensões muito pequenas que não são visíveis na análise do ortomosaico, mesmo utilizando a ferramenta *zoom*.

Algumas placas de tamanho um pouco maiores e bastante erodidas, manifestando diferença de coloração, foram percebidas e contabilizadas na avaliação. Constata-se também que nenhuma trinca transversal ou longitudinal curta foi perceptível, apenas trincas longitudinais longas foram identificadas no mosaico de imagens.

A altura do voo tem influência direta na resolução da imagem, como explica Neto et al. (2019), há um aumento no erro de acordo com a altura, pois quanto maior esta

for, menor a quantidade de imagens para sobreposição, devido a cobertura da captura da imagem ser maior, e quanto menor a altura do VANT no voo, maior será a qualidade das imagens, diminuindo a porção de erro humano no momento das medições.

Não obstante, a área de interesse não permite uma altura de voo menor do que a que fora utilizada (50 m), devido aos obstáculos dos prédios e árvores existentes no canteiro central e entorno da via, caracterizando outro impasse para a análise.

Estas análises evidenciam que a avaliação objetiva apenas com o ortomosaico em 2D não é confiável da maneira em que foi realizada, pois aponta apenas as anomalias de maiores dimensões como os remendos e trincas longitudinais longas, divergindo de um resultado real da condição da superfície do pavimento de ruim para bom.

Além disso, a análise em 2D ignora as trilhas de roda interna e externa que são muito relevantes no cálculo do IGG por possuírem alto fator de ponderação, o que distorce muito a realidade.

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho comparou duas formas de levantamento de defeitos no pavimento do corredor de ônibus da avenida João Naves de Ávila localizada na cidade de Uberlândia, Minas Gerais. O primeiro método usado foi a análise objetiva por caminhamento no local de interesse para coleta de dados e medição das dimensões dos defeitos, e o segundo, o uso de um VANT para a captura de imagens de alta resolução e montagem de um ortomosaico para análise dos defeitos nas mesmas estações de análise estabelecidas no primeiro método.

A análise dos defeitos em ambos os métodos, resultaram no índice de gravidade global, que indica o nível de degradação do pavimento, sendo RUIM na análise por caminhamento e BOM na análise via ortomosaico. A divergência nos resultados mostra que a conclusão da análise por meio do ortomosaico não fora fidedigna nas condições de altura de voo e manipulação da nuvem de pontos utilizadas.

No entanto, foi possível comprovar que a proposta de utilização do VANT para criação do ortomosaico apresenta vantagens devido a rapidez da captura de imagens, coleta e análise de dados, e também a viabilidade de realizar o levantamento sem a interferência do tráfego, além de que os dados levantados, podem ser usados para controle e acompanhamento da condição de um pavimento ao longo de sua vida útil.

Para resultados mais compatíveis, o ideal é se fazer um voo com menor altitude possível, pois desta forma, maior será a resolução e qualidade das imagens, buscando visualizar os defeitos de menores dimensões. Para isso devem ser evitados locais com obstáculos capazes de encobrir a área de interesse, como as árvores e arbustos por exemplo, ou mesmo impedir a passagem do veículo aéreo não tripulado.

Em relação aos produtos gerados pelo processamento de imagens, uma análise em 3D da área de interesse registrada pelas imagens, com renderização da nuvem de pontos, pode ser uma alternativa para a leitura da profundidade das trilhas de roda interna e externa, tornando a avaliação mais real e confiável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFONSO, A. **Introdução ao Geoprocessamento e ao Sensoriamento Remoto**. Programa de Pós-Graduação do INPE – Mestrado em Sensoriamento Remoto. Universidade de Taubaté, Taubaté, 2002.

ALVES JÚNIOR, L. R. **Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um veículo aéreo não tripulado em áreas urbanas e rurais no estado de Goiás**. Dissertação (Mestrado Em Geografia) – Instituto De Estudos Socioambientais, Universidade Federal De Goiás, Goiânia. 2015.

AUTOTRANS. **Horários de ônibus T131 Terminal Santa Luzia – Terminal Central – Avenida João Naves de Ávila**. Uberlândia, Minas Gerais, 2020.

ARJOMANDI M.; AGOSTINO S.; MAMMONE M.; NELSON M.; ZHOU T. **Classification Of Unmanned Aerial Vehicles**. The University Of Adelaide Australia, 2006.

BARCELOS, A. C. **O uso de veículo aéreo não tripulado (vant) em monitoramentos de campo: aplicabilidades e viabilidades**. Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. ISBN 978-85-86238-56-7.

BERNUCCI, L. B. MOTTA, L. M. G. CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. 1ª Ed. - Rio de Janeiro: Petrobrás ABEDA, 2008.

BRANCO, L. H. C. **MANIAC: uma metodologia para monitoramento automatizado das condições dos pavimentos utilizando VANTs**. São Carlos, 2016: Programa de Pós-graduação em engenharia de transportes, escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 191p.

CAMPS-VALLS, G.; TUIA, D.; CHOVA, L.G. JIMÉNEZ, S.; MALO, J. **Remote Sensing Image Processing**. 2012 by Morgan & Claypool.

CASTRO, B.A.C. **O cálculo do número “N”**. Notas de aula – “Construção de Estradas e Vias Urbanas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

CHAVES, A. N.; CUGNASCA, P. S.; NETO, J. J. **Busca adaptativa com múltiplos veículos aéreos não tripulados (VANTS)**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Revista de Sistemas e Computação, Salvador, v.2; n.1, p.53-59, jan./jun, 2012.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília: CNT, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2019**. – Brasília: CNT: SEST SENAT, 2019.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. ed. rev. - Campinas, SP:IG/UNICAMP, © 1992, 170 p, ISBN 85 853 690 27.

DNIT 005/2003-PRO. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia**. (2003).

DNIT 006/2003-PRO. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**. (2003).

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**. (2003).

DNIT 009/2003-PRO. **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**. (2003).

DNIT. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro, 2006. 384 p. (IPR. Publ., 723).

DUARTE, R. D; GOMES Jr, E.V. **Análise de levantamento de defeitos em superfícies de pavimentos asfálticos a partir do uso de Aeronave Remotamente Pilotada (RPA)**. 2018, 134 pgs. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2018.

ESQUEF, I.A; ALBUQUERQUE, M.P; ALBUQUERQUE, M.P. **Processamento digital de Imagens**. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, 2003.

FERREIRA, A.M.R. **Avaliação De Câmara De Pequeno Formato Transportada Por Veículo Aéreo Não Tripulado – Vant, Para Uso Em Aerolevantamentos**. Programa de pós-graduação em geociências aplicadas, Universidade de Brasília, 2014.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 3º Edição ampliada e atualizada, 2011. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=18GkH5X81XcC&oi=fnd&pg=PT6&dq=related:QkkhXa0nooJ:scholar.google.com/&ots=yIRnkMVX2R&sig=3Rirdlgam7Bs6gIECBoH6-h2fGs#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 03/06/2020.

GANEM, K. A. **Classificação da cobertura do solo na caatinga a partir de imagens do Landsat-8 e da ferramenta Google Earth Engine: uma comparação entre dados com e sem correção atmosférica**. Dissertação para obtenção de grau em mestre em geociências aplicadas. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília- DF, 2017.

GREENWOOD, W.W; LYNCH, J.P; ZEKOS, D. **Applications of UAVs in Civil Infrastructure**. American Society of Civil Engineers. J. Infrastruct. Syst., 2019, 25(2): 04019002.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução da Segunda Edição, Cap 1. São José dos Campo: 2009.

KANG, S.C; CHEN, A.Y.; HUANG, Y.N; HAN, J.Y; LAI, J.S; LIU, P.; WU, T.H; WEN, M.C; TSAI, M.H. **A review of rotorcraft Unmanned Aerial Vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering**. Techno-Press, 2014. Smart Structures and Systems, Vol. 13, No. 6 (2014) 1065-1094.

MARQUES, G.B. **Análise de pavimento flexível: estudo de um trecho crítico na rodovia ERS- 241**. Centro Universitário Univates, Centro de Ciência Exatas e Tecnológicas, Curso de Engenharia Civil, 2014.

MENESES, P.R; ALMEIDA, T.; ROSA, A.N.C.S.; SANO, E.E.; SOUZA, E.B.; BAPTISTA, G.M.M.; BRITES, R.S. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Universidade de Brasília, Brasília- DF, 2012, 266 p.

MORAES, E.C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002, cap 1, 23 p.

NETO, P.S. L; OLIVEIRA, F. H. L; ARANTES, A. E; GOMES, D. D. M. **Verificação da influência de altitudes em levantamento de defeitos em pavimentos rodoviários com auxílio de VANT**. In: Anais do XIX Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 2019, Santos. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2019.

NOVO, E.M.L.M.; PONZONI, F.J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR_DPI7.pdf>. Acesso em: 03/06/2020.

RODRIGUEZ, F.A.W. **Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero**. Universidade Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Construcción Civil, 2008.

SZLACHTA, D. **Determinação do Fator de Equivalência de carga do eixo especial**. Rio Grande do Sul, Santa Maria, 2015.

SCHIAVON, G.S. MANZOLI, A. **Avaliação Objetiva e Subjetiva em superfície de pavimento flexível em trecho urbano – Análise da distância entre estações de avaliação em subtrechos homogêneos**. Revista científica eletrônica Estácio, Ribeirão Preto, v.10, n.10, p.01-23, jul/dez.2017.

SETTRAN. **Circuito do sistema integrado de transporte – Dados Técnicos do Controle de Tráfego em Área**. Minas Gerais, Uberlândia, 2015.