

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CAMPUS MONTE CARMELO
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA

Nicollas Gabriel Assunção e Souza

**Utilização de Imagens Terrestres e Aérea para a Identificação de Imperfeições no
Pavimento Asfáltico**

Monte Carmelo – Minas Gerais

2019

Nicollas Gabriel Assunção e Souza

Utilização de Imagens Terrestres e Aérea para a Identificação de Imperfeições no Pavimento Asfáltico

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharelado em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Luciany Oliveira Seabra

Monte Carmelo – Minas Gerais

2019

Nicollas Gabriel Assunção e Souza

Utilização de Imagens Terrestres e Aérea para a Identificação de Imperfeições no Pavimento Asfáltico

Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis, UFU
(Orientador)

Prof^a. Dr^a. Luciany Oliveira Seabra, UFU
(Coorientadora)

Prof. Dr. Ricardo Luís Barbosa, UFU
(Membro Convidado)

Homologado pelo Colegiado do Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica em:

_____/_____/_____

Coordenador do Curso de Engenharia de
Agrimensura e Cartográfica

Monte Carmelo – Minas Gerais

2019

DEDICATÓRIA

*A meus pais Adelina e Felicíssimo, meus irmãos
e sobrinhos, e aos amigos por todo apoio e
incentivo na conclusão do curso, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pelo dom da vida, por me conceder boa saúde, inteligência e paciência para concluir com êxito essa etapa tão importante da minha vida.

Agradeço aos meus pais, Adelina e Felicíssimo, pelo amor incondicional, por terem me fornecido todo o suporte e incentivo possível para que eu chegasse até aqui. Em especial a minha mãe que sempre me motivou a dar o meu melhor em cada projeto, e me aconselhou em cada decisão tomada na minha vida.

Aos meus irmãos, Leonardo, Rodrigo e Thalles, pelo companheirismo, conselhos e ajudas nos momentos difíceis, sempre me estimulando a vencer as minhas dificuldades e superar os meus limites.

Aos meus sobrinhos, Matheus, Otávio e Gabriel, por terem me alegrado e distraído com suas brincadeiras que me ajudaram a ter paciência nos momentos que mais precisei.

Agradeço aos meus amigos, por sempre estarem presentes, pelas horas de estudo e por terem me proporcionado momentos de descontração que me ajudaram nesta trajetória.

Sou grato ao meu orientador e mentor, Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis, por todo o aprendizado, apoio e principalmente pela amizade e companheirismo desde meu segundo ano acadêmico. Foi uma honra trabalhar ao seu lado e compartilhar dos momentos de descontração e risadas no laboratório. Deixo um forte abraço e os meus sinceros agradecimentos.

À minha coorientadora, Prof^a. Dr^a. Luciany Oliveira Seabra, pelos conselhos, disposição em ajudar e por todo conhecimento compartilhado durante meu projeto.

Ao Prof. Dr. Ricardo Luís Barbosa, por ter aceitado o convite, e acrescentar com suas amplas experiências, importantes considerações e soluções propostas a favor da edificação deste trabalho.

Agradeço ao engenheiro cartógrafo e agrimensor Vitor Godoy de Barros, pela contribuição com os dados levantados.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho diretamente ou indiretamente, seja por meio de apoio, sugestões ou críticas. Muito obrigado!

“A vida seria trágica se não fosse engraçada. “

(Stephen Hawking)

RESUMO

A utilização de pavimento asfáltico para o deslocamento de veículos de carga e pessoal é de suma importância para o desenvolvimento do país, por isso, é crucial que sejam aplicadas estratégias que visam manter a qualidade da pista em bom estado e prolongue sua vida útil. Este trabalho acadêmico teve por objetivo analisar e comparar o emprego de diferentes métodos de fotogrametria para a identificação das imperfeições num pavimento no município de Romaria – Minas Gerais. A metodologia consistiu na análise de imagens aérea, coletada por uma aeronave remotamente pilotada (ARP), e terrestre, adquiridas usando um sistema de mapeamento móvel (SMM), para a obtenção de informações referente ao pavimento asfáltico que pudessem auxiliar na investigação das patologias presentes no mesmo. Com base nessas informações foi possível avaliar as patologias usando da integração entre imagens aérea e terrestre, criar um diagnóstico dessas patologias, fazer a avaliação da qualidade do pavimento seguindo normas do DNIT e inferir alternativas de intervenção corretiva e preventiva para a malha viária. A partir das análises realizadas, foi possível concluir que a utilização de imagens com pontos de perspectiva diferentes é viável para a identificação de patologias na via, e podem vir a ser uma excelente ferramenta para a tomada de decisão no que diz respeito a quais alternativas de intervenção devem ser empregadas no pavimento asfáltico para a manutenção e prevenção de futuras imperfeições.

Palavras-chave: Fotogrametria. ARP. SMM. Pavimento Asfáltico. Patologias no Pavimento.

ABSTRACT

The use of asphalt pavement for the movement of cargo and personnel vehicles is of utmost importance for the development of the country, so it is crucial that strategies are applied to maintain the quality of the track in good condition and extend its useful life. This work aimed to analyze and compare the use of different photogrammetry methods for the identification of imperfections in a pavement in the municipality of Romaria – Minas Gerais. The methodology consisted of the aerial image analysis, collected by a remotely piloted aircraft (RPA), and terrestrial, acquired using a mobile mapping system (MMS), to obtain information regarding asphalt pavement that could aid in the investigation of the present pathologies in the same. Based on this information, it was possible to evaluate the pathologies using the integration between aerial and terrestrial images, to create a diagnostic of these pathologies, to evaluate the quality of the pavement following DNIT norms and to infer alternatives of corrective and preventive intervention for the road mesh. From the analyzes carried out, it was possible to conclude that the use of images with different perspective points is feasible for the identification of pathologies in the road, and can be an excellent tool for decision making regarding what alternatives should be used in the asphalt pavement for the maintenance and prevention of future imperfections.

Keywords: Photogrammetry. RPA. MMS. Asphalt Pavement. Pathologies in the Pavement.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADEBA	Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ARP	Aeronaves Remotamente Pilotadas
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
DR	<i>Dead Reckoning</i>
GIS	<i>Geodesic Information System</i>
GLONAS	<i>Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
ICPF	Índice da Condição do Pavimento Flexível
IGG	Índice de Gravidade Global
IMU	<i>Inertial Measurement Unity</i>
INS	<i>Inertial Navigation System</i>
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMS	<i>Mobile Mapping System</i>
MP	<i>Mega Pixels</i>
PMD	Peso Máximo de Decolagem
RGB	<i>Red Green Blue</i>
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
SMM	Sistema de Mapeamento Móvel
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre as coordenadas da imagem e do objeto	18
Figura 2 - Conceito de georreferenciamento direto	24
Figura 3 - Desenvolvimento da fórmula do georreferenciamento	24
Figura 4 - Termos da fórmula do georreferenciamento expandido	25
Figura 5 - Representação esquemática dos defeitos ocorrentes no pavimento.....	30
Figura 6 - Área de estudo	33
Figura 7 - Seção transversal do pavimento flexível	34
Figura 8 - LadyBug 5	35
Figura 9 - Ortofoto gerada a partir do VANT Arator 5A	36
Figura 10 - <i>Plug-in Import Photos</i>	37
Figura 11 - Determinação da escala no ImageJ	38
Figura 12 - Fluxograma da metodologia	39
Figura 13 - Sistema de câmaras LadyBug 5 acoplado ao veículo	40
Figura 14 - Computador com o software LadyBug Cap Pro e GPS	41
Figura 15 - Software LadyBug Cap Pro	42
Figura 16 - Opção de menu <i>Spherical 3D View</i> do software LadyBug Cap Pro	43
Figura 17 - Panela com área de 0,633 m ²	44
Figura 18 - Resultado da integração entre a ortofoto e as imagens terrestres	45
Figura 19 - Trinca isolada longitudinal de 3,647 m de extensão, imagem terrestre	47
Figura 20 - Afundamento de 42,162 m no pavimento, imagem aérea	47
Figura 21 - Corrugação com área igual a 0,823 m ² , imagem terrestre	48
Figura 22 - Escorregamento do asfalto betuminoso	48
Figura 23 - Exsudação do asfalto, imagem aérea	49
Figura 24 - Exsudação do asfalto, imagem terrestre	49
Figura 25 - Desgaste do asfalto, imagem aérea	50
Figura 26 - Desgaste do asfalto, imagem terrestre	50
Figura 27 - Identificação de painelas no pavimento, imagem aérea	51
Figura 28 - Panela com área de 0,291 m ² , imagem aérea	51
Figura 29 - Panela presente no pavimento asfáltico, imagem terrestre	52
Figura 30 - Calculo da área de painelas usando o software ImageJ, imagen terrestre	52
Figura 31 - Remendo profundo já desgastado, imagem aérea	53

Figura 32 - Remendo superficial, imagem terrestre	53
Figura 33 - Comprimento em metros da malha viária, 1250m	55
Figura 34 - Peçaço do pavimento e panela presente na área de estudo	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de Inventário do Estado de Superfície do Pavimento	31
Tabela 2 - Conceito do Pavimento de acordo com o valor do IGG	31
Tabela 3 - Conceito do ICPF	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
3. JUSTIFICATIVA	16
4. FUNDAMENTAÇÃO	16
4.1 Fotogrametria.....	16
4.2 Aerofotogrametria.....	17
4.2.1 Drone/ARP	19
4.2.2 Legislação	21
4.3 Sistema de Mapeamento Móvel (SMM).....	22
4.4 Patologias de Pavimentos Asfálticos	25
5. MATERIAL E MÉTODOS	32
5.1. Área de Estudo	32
5.2. Material.....	34
5.2.1. Sistema de Câmaras LadyBug 5	34
5.2.2. Ortofoto da área de estudo.....	35
5.2.3. Software LadyBug Cap Pro	36
5.2.4. Quantum Gis.....	36
5.2.5. ImageJ.....	37
5.3. Metodologia	38
5.3.1. Levantamento em campo com SMM.....	39
5.3.2. Processamento dos dados obtidos pelo SMM	41
5.3.3. Análise dos dados do SMM	42
5.3.4 Análise da Ortofoto	43
5.3.5. Integração das imagens aérea e terrestres	44
6. RESULTADOS	45
6.1. Avaliação das Patologias Utilizando a Integração Entre Ortofoto e SMM	46
6.2. Diagnóstico das Deformações Existentes no Pavimento	54
6.3. Avaliação da Qualidade do Pavimento	56
6.4. Alternativas de Intervenção Corretiva e Preventiva	57
7. CONCLUSÃO	58
8. REFRÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

A implantação de pavimentos nas cidades do Brasil é um fator fundamental para o desenvolvimento socioeconômico do país, pois a mesma proporciona o transporte de cargas e pessoas em toda extensão do território nacional. Dada a sua importância, é essencial manter o pavimento sempre em bom estado. Por isso deve ser feito o monitoramento constante da situação em que se encontra o mesmo.

Pavimentar é a ação de construir uma estrutura que a princípio pretende melhorar a funcionalidade do tráfego, criando uma superfície mais regular e aderente, que resista aos fatores climáticos e aos esforços provenientes do tráfego de veículos, permitindo que se tenha um maior conforto no deslocamento e mais segurança em circunstâncias de pista úmida ou molhada (BALBO, 2007 apud NASCIMENTO, 2016).

Em outras palavras, a pavimentação de uma rodovia tem como objetivo tornar possível o trânsito de veículos, de forma segura e confortável, por meio da construção de uma estrutura durável e econômica, em qualquer condição climática. Após a sua construção, o pavimento é liberado ao tráfego, e a partir deste instante a sua superfície começa a ser castigada pelos esforços do tráfego, do intemperismo, etc (NÓBREGA et al., 2003). Devido a estes fatores, depois de um dado período da utilização deste pavimento, devem começar a ser implementados diferentes maneiras para o monitoramento da via com a finalidade de determinar o estado de conservação do pavimento asfáltico.

A obtenção de dados e informações da camada de revestimento é essencial para que possa ser feita a avaliação do estado de conservação do pavimento (Nascimento, 2016). Através destas informações adquiridas sobre a via, podem ser detectados a presença ou não de deformidades no pavimento, também chamadas de patologias. Estas irregularidades podem aparecer de diferentes formas como fissuras, ondulações, buracos, dentre outros.

A camada de revestimento do pavimento tem função de impermeabilizar, aumentar sua resistência à derrapagem, melhorar o conforto ao rolamento e suportar a ação do tráfego e do intemperismo. No que diz respeito à camada de revestimento, os pavimentos podem ser classificados entre revestimento asfáltico ou de concreto (Silva, 2008). Conforme a composição da malha viária, a mesma é propícia a diferentes imperfeições.

De acordo com normas do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) podemos compreender as possíveis patologias em cada tipo de pavimento. Posteriormente a identificação das deformações presentes em uma determinada malha viária, é viável então

efetuar a avaliação da superfície deste pavimento, que indicara a qualidade do mesmo. E por fim, podem ser aplicadas formas de manutenção e preservação da via.

Segundo Cassaniga (2017), existem três métodos distintos para a detecção de deformações no pavimento, estes são: métodos que utilizam técnicas de detecção por vibração, métodos que utilizam o varrimento de lasers para reconstrução 3D, e métodos baseados em visão. Na execução deste trabalho serão utilizados métodos baseados em visão.

Os métodos de detecção de irregularidades do pavimento relacionados à visão utilizam câmeras e inclui abordagens baseadas em imagens 2D e vídeo para detectarem as patologias nas estradas asfaltadas (Sucgang, Ramos Jr e Arriola, 2017). Com o propósito de gerar o maior número de dados que possam auxiliar na busca por patologias na via, este trabalho visa a utilização da Fotogrametria tanto de perspectiva aérea quanto terrestre.

Portanto, o presente trabalho então levanta a hipótese de aplicar duas formas distintas de Fotogrametria com o propósito de adquirir informações que facilitem a detecção, mensuração, quantificação e classificação de deformidades no pavimento da área de estudo. Através do uso de um dispositivo ARP serão adquiridas imagens aéreas, seguindo princípios da aerofotogrametria. Já utilizando um sistema de mapeamento móvel, será possível a obtenção de imagens panorâmicas terrestre 360°. Consequentemente, por meio das informações geradas será feito o diagnóstico das patologias presentes na área de estudo, a avaliação de qualidade do pavimento e o estudo de alternativas de intervenção corretiva e preventiva que devem ser aplicadas na malha viária.

2. OBJETIVOS

Com esse projeto de pesquisa mantém-se, o interesse científico e tecnológico na integração de imagens tomadas em diferentes perspectivas, aérea e terrestre, com o objetivo de produzir imagens para a detecção de falhas no pavimento. Os principais objetivos da pesquisa a serem desenvolvidos são:

- Análise de imperfeições no pavimento a partir da integração de imagens terrestres e aérea;
- Diagnosticar as patologias existentes na área de estudo;
- Executar a avaliação de qualidade do pavimento segundo normas do DNIT;
- Inferir alternativas de intervenção corretiva e preventiva para a malha viária;

3. JUSTIFICATIVA

Para que o pavimento asfáltico possa propiciar uma boa segurança no trânsito e também conforto aos usuários, a condição em que o mesmo se encontra é um fator primordial. Portanto, o monitoramento das vias de uma cidade é uma atividade que deve ser feita constantemente para que sejam identificadas as imperfeições presentes no pavimento.

Caso não haja aplicação de alternativas preventivas e de manutenção na malha viária, uma patologia simples como fissura pode se transfigurar em panela, que por sua vez é uma imperfeição que pode trazer riscos aos usuários da via. De acordo com Kim e Ryu (2014), as panelas são responsáveis por causarem danos como pneu furado e dano da roda, operação repentina de frenagem e volante, além de colisão entre veículos e acidentes graves.

Portanto, devem ser aplicados métodos para a identificação de defeitos em estradas e ruas com o objetivo de evitar todo tipo de risco aos usuários da via. Para detectar a aparição de deformidades no pavimento asfáltico podem ser empregadas três abordagens distintas: o método que utiliza da vibração, o método que utiliza lasers, e o método baseado em visão.

Neste trabalho as imagens obtidas pela fotogrametria aérea e terrestre serão usadas como ferramentas do método baseado em visão com o pretexto de examinar as patologias presentes no pavimento referente a área de estudo no município de Romaria – MG, para que posteriormente possam ser feitas a avaliação de qualidade da via e formas de estender a sua vida útil.

4. FUNDAMENTAÇÃO

4.1 Fotogrametria

Segundo Kasser e Egels (2002) Fotogrametria pode ser definida como qualquer técnica de mensuração que possibilite a criação de um modelo tridimensional do espaço através do uso de imagens 2D. Os métodos fotogramétricos podem ser aplicados em quaisquer situações onde o objeto a ser mensurado pode ser fotografado, registrado por foto. A priori, o propósito primordial das medições fotogramétricas é a reconstrução tridimensional de um objeto em formatos digital, representado por coordenadas e gráficos, como imagens e mapas (LUHMANN et al., 2013).

A palavra Fotogrametria vem de origem grega, onde "photos" significa luz, "grama" quer dizer algo desenhado, e "metron" expressa a ideia de medir. Assim sendo, de acordo com suas origens, o termo Fotogrametria significaria "medir graficamente usando luz" (TOMMASELLI, 1999).

Até a década de 60 a definição de Fotogrametria era: "ciência e a arte de obter medidas confiáveis por meio de fotografias" (American Society of Photogrammetry). Com o advento de novos tipos de sensores uma definição mais abrangente de Fotogrametria foi proposta em 1979 também pela American Society of Photogrammetry, como sendo: "Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes" (GALLIS et al., 2002).

Segundo Luhmann (2013), sistemas fotogramétricos fornecem coordenadas de objetos tridimensionais derivados da medição de imagens. O autor ainda comenta que estas imagens contêm dados que documentam o estado em que o objeto se encontra no momento em que foi tirada a foto. Com base no produto criado a partir da Fotogrametria, pode-se obter informações das propriedades do objeto, como área, distâncias, características da superfície do objeto, dentre outros. Diante disso, podemos ver algumas das áreas de aplicações para o uso dos sistemas fotogramétricos, como na engenharia civil, arquitetura, medicina, análise forense, dentre outros.

Fotogrametria permite a reconstrução da posição, orientação, tamanho e forma de objetos através de imagens, além de permitir também a análise das características do objeto de estudo sem a necessidade de contato físico com o mesmo. A aquisição de informação da superfície da Terra feita dessa forma é chamada de Sensoriamento Remoto. Sensoriamento Remoto inclui todos métodos de obtenção de informação da superfície da Terra por meio de interpretação e mensuramento da radiação eletromagnética, tanto refletida ou emitida pela Terra. Por tanto, o sensoriamento remoto é aplicado quando o objeto de estudo se trata da superfície da Terra, enquanto que a Fotogrametria é usada para aplicações quando se tem interesse pelas características geométricas de um dado objeto (KRAUS et al., 2007).

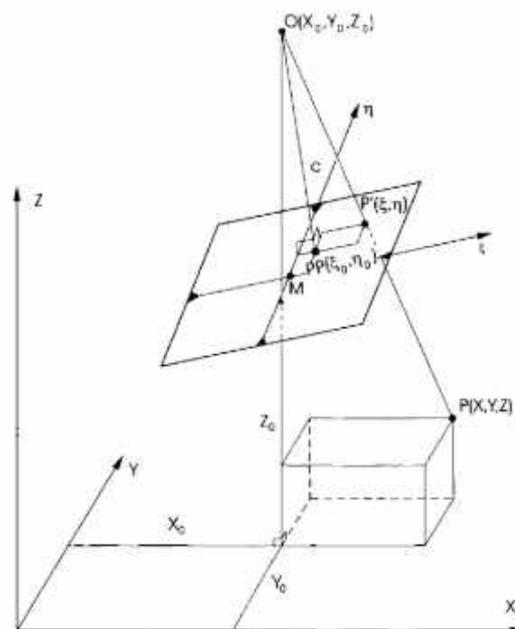
4.2 Aerofotogrametria

O progresso da Fotogrametria foi influenciado de forma decisiva pelo rápido desenvolvimento da aviação que ocorreu alguns anos antes do início da Primeira Guerra Mundial. Além das aeronaves permitirem o acesso rápido a outras partes do planeta, as

informações do terreno passaram a ser fotografadas de forma vertical, a partir de câmaras acopladas nas aeronaves (KRAUS et al., 2007).

Para que seja possível a reconstrução da posição e formato de um objeto, é fundamental saber a geometria do sistema de formação da imagem. Muitas das câmaras usadas na aerofotogrametria, com acurácia adequada, produzem fotos que podem ser consideradas como projeções centrais dos objetos tridimensionais em vista. A relação entre as coordenadas ξ e η de um ponto P' da imagem e as coordenadas X, Y, Z de um ponto P do objeto é ilustrado na Figura 01.

Figura 01: Relação entre as coordenadas da imagem e do objeto.



Fonte: Kraus, K, 2007.

Sendo:

- O : centro de perspectiva de um feixe de raios tridimensional (também, local da câmara);
- PP : ponto principal com coordenadas ξ_0, η_0 ;
- c : distância principal (referido as vezes como constante da câmara);
- M : centro fiducial (como aproximação grosseira, o ponto de interseção das linhas retas se juntando com as marcas fiduciais);
- ξ e η : coordenadas 2D da imagem;
- x, y, z : coordenadas 3D em um sistema de coordenadas local (coordenadas modelos);
- X, Y, Z : coordenadas de um sistema de controle de coordenadas (sistema global).

De acordo com Duquesnoy (2002), o uso dos sistemas de navegação por satélite (GNSS) na aquisição de imagens aéreas, é essencial para as etapas de navegação em tempo real, determinação da posição das coordenadas da câmara no momento da obtenção da imagem, e na determinação da altitude do avião.

- Navegação: no momento da aquisição da imagem, é necessário ter a posição, quase que em tempo real, do centro de perspectiva com o intuito de verificar se o acompanhamento do eixo do avião é bom e se a taxa de sobreposição está correta. Para a sobreposição, pode ser necessário saber a altitude do avião no mesmo tempo;
- Determinação do centro de perspectiva para a aerotriangulação: não podem ser usadas medidas de pseudo-distância, pois as mesas apresentam baixa precisão. Com o intuito de melhorar a precisão para a determinação do centro de perspectiva podem ser feitos: um melhoramento no processo da pseudo-distância usando a fase, ou resolver as ambiguidades no processo da fase;
- Determinação da altitude do avião: a mensuração da altitude por GNSS é um método interferométrico. Um mede a quantidade de chegadas da onda em um sistema com várias antenas, enquanto o outro encontra um sistema de três ou quatro antenas.

Para Heno e Egels (2002), a aerotriangulação permite o georreferenciamento simultâneo de todas as imagens de um local, usando ao máximo as sobreposições em comum, com um número mínimo de pontos de referência.

Com o advento da evolução tecnológica das câmaras digitais, vieram mudanças para diversos aspectos em relação à coleta de imagens em campo: diminuiu-se as restrições com relação ao número de fotos que podem ser tomadas em um curto intervalo de tempo, a qualidade das imagens progrediu e as imagens coletadas podem ser acessadas de forma simples e rápida no campo. A limitação agora está em alcançar a melhor posição da câmara em relação ao objeto de interesse, tal limitação pode se dar devido a fatores como vegetação, topografia, dentre outros. Por outro lado, em razão do uso das câmaras digitais acopladas em aviões e aeronaves remotamente pilotadas, que permitem uma visão aérea da área de estudo, até mesmo essas limitações vêm sendo reduzidas (e.g., Smith et al., 2009; Niethammer et al., 2012; Stumpf et al., 2013).

4.2.1 Drone/ARP

Para Remondino (2011), o desenvolvimento de ARPs (aeronaves remotamente pilotadas) e suas plataformas foi motivado primordialmente para aplicações militares. A

vigilância, reconhecimento e mapeamento de áreas inimigas de forma segura, sem a necessidade da presença de um soldado, eram os principais objetivos das forças militares. As primeiras experiências de ARP com aplicações voltadas para geomática aconteceram no fim da década de 1970, e foram realizadas por Przybilla e Wester-Ebbinghaus.

A utilização de ARPs na Fotogrametria foi um aspecto que resultou em uma alternativa de baixo custo para a aerofotogrametria clássica, além de apresentar novas aplicações para a mesma (COLOMINA, 2008 apud REMONDINO, 2011). Diante disso, o uso de ARPs vem se tornando cada vez mais comum no campo da geomática, por se tratar de um sistema que apresenta a combinação de uma plataforma de baixo custo com câmaras digital e sistema GNSS, necessário para direcionar as ARPs de forma precisa para os pontos de aquisição predefinidos.

A grande vantagem do sistema ARP é a aptidão em oferecer rapidamente informações da imagem em alta resolução temporal e espacial, além de possibilitar respostas quase que instantâneas em situações onde o acesso imediato às informações 3D é fundamental. O emprego de ARP proporciona a capacidade de rápida aquisição, transmissão e processamento em tempo real.

Para Bemis (2014), o conjunto de dados derivados de imagens obtidos por ARP oferece uma forma rentável, com alta resolução e rápida aquisição de informações da área de estudo. Um dos benefícios em se usar este tipo de sistema está em fornecer acesso a exposições verticais ou instáveis, enquanto gera dados visuais em formato digital que podem ser compartilhados e analisados novamente sem a premência de voltar em campo.

De acordo com Eisenbeiss (2008), a nova terminologia de Fotogrametria realizada com imagens ARP descreve uma plataforma de mensuramento fotogramétrico que opera de forma remotamente controlada, semi autonomamente ou autonomamente, sem a necessidade de um piloto sentado no veículo. Em tal plataforma é implementado um sistema de mensuramento fotogramétrico, que pode ser composto por câmaras digital de pequeno ou médio porte, sistema de câmaras termal ou infravermelho, sistema LiDAR, ou uma combinação desses. O atual padrão de sistemas ARP permitiu o registro e rastreamento da posição e orientação dos sensores implementados em um sistema de coordenadas local ou global. Portanto, o uso de ARPs na fotogrametria pode ser visto como uma nova ferramenta no mensuramento fotogramétrico, que propicia a aplicação em tempo real como uma alternativa economicamente viável para a aerofotogrametria tradicional.

O uso de aeronaves remotamente pilotadas permitem a coleta de dados sensoriais com uma melhor resolução do que plataformas convencionais. A principal vantagem dos sistemas

de monitoramento que utilizam de plataformas ARP, que voam de forma autônoma em baixas altitudes, é a forma rápida e estável da aquisição de dados sensoriais de alta resolução nas áreas de emergência de difícil acesso (CHOI, 2011). Ainda segundo o autor, por essa razão o uso de plataformas ARP seria o melhor candidato para o monitoramento aéreo de áreas de emergência, como campos militares e áreas de desastres naturais.

Segundo Fritz (2013), os modelos digitais de superfície e as ortofotos, criadas a partir de imagens obtidas por plataformas ARP, já se provaram ser produtos sólidos. Em razão da facilidade da aquisição de dados com alta resolução temporal e espacial, a aplicabilidade de ARPs no setor ambiental chamou muita atenção (Haala et al., 2011). Dessa forma, o uso de ARPs vem sendo aplicado em diferentes áreas no setor ambiental, como agricultura de precisão (Valente et al., 2013), monitoramento de queimadas (Merino et al., 2012) e caracterização de florestas (Tao et al., 2011).

4.2.2 Legislação

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), é o órgão responsável pela criação das legislações no que diz respeito ao uso de aeronaves não tripuladas, aeromodelo e RPA. Sendo aeromodelo as aeronaves remotamente pilotadas que são usadas para lazer e recreação, e RPA as aeronaves remotamente pilotadas que são usadas para outros fins como experimentais, comerciais ou institucionais.

O órgão classifica RPA de acordo com o peso máximo de decolagem (PMD) da RPA da seguinte maneira:

- Classe 1: RPA com PMD maior que 150 kg;
- Classe 2: RPA com PMD maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg;
- Classe 3: RPA com PMD menor ou igual a 25 kg.

Durante o desenvolvimento deste trabalho será utilizado RPA de Classe 3. De acordo com ANAC (2017), nesta classe os voos deverão ser de no máximo 120 metros, se excedida essa altitude é necessário a autorização do projeto pelo ANAC junto ao seu registro.

A operação de aeromodelos e RPA só pode ser feita quando atender a área mínima de 30 metros horizontais de distância das pessoas não anuentes ou não envolvidas com a operação, e é permitida a operação de somente um equipamento por vez de cada piloto. Além disso, é proibida a operação de aeronaves remotamente pilotadas por menores de idade (ANAC, 2017).

Adicionalmente, devem ser observadas as regulamentações de outros entes da administração pública direta e indireta, tais como a Agência Nacional de Telecomunicações –

ANATEL, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA e o Ministério da Defesa, assim como as legislações referentes às responsabilizações nas esferas civil, administrativa e penal que podem incidir sobre o uso de aeronave não tripulada, com destaque àquelas disposições referentes à inviolabilidade da intimidade, da vida privada, da honra e da imagem das pessoas (ANAC, 2017).

4.3 Sistema de Mapeamento Móvel (SMM)

Mapeamento móvel refere-se aos meios de coleta de dados geoespaciais usando sensores de mapeamento que são montados em uma plataforma móvel (Tao et al., 2007). Graças ao aumento na demanda por mapas de infraestrutura nas rodovias dos Estados Unidos na década de 80, foi dado início às pesquisas desse processo. Com o intuito de efetuar mapeamentos, foram integrados e montados em um veículo, câmaras, juntamente com sensores de posicionamento e navegação, como o GPS, e dispositivos inerciais. Por intermédio de imagens que foram georreferenciadas usando sensores de posicionamento e navegação, as feições presentes na superfície podem ser mensuradas e mapeadas.

Para a elaboração de mapas utilizando o SMM é de suma importância, a alta qualidade das imagens obtidas pelas câmaras, e a exatidão dos sensores de posicionamento e navegação. Com isso, é justo afirmar que os avanços alcançados nos últimos anos, tanto na obtenção de imagens digitais quanto nas tecnologias de georreferenciamento, são fatores cruciais para o desenvolvimento e avanço do sistema de mapeamento móvel.

O desenvolvimento do sistema de mapeamento móvel terrestre foi inicializado por dois grupos de pesquisadores na América do Norte. O Centro de Mapeamento da Universidade do Estado de Ohio, nos Estados Unidos, e o Departamento de Engenharia Geomática na Universidade de Calgary, no Canadá. Comparado com o sistema de registro de vídeo, o sistema de mapeamento móvel é qualificado para oferecer um mapeamento inteiramente 3D que é realizado por meio do uso da aquisição de dados integrados ao multi-sensor avançado e tecnologia de processamento (TAO, 2007).

Segundo Tao (2000), um aspecto comum do sistema de mapeamento móvel é a presença de mais de uma câmara acoplada na plataforma móvel, permitindo a geração de imagens estéreo e o mensuramento 3D. O georreferenciamento direto da sequência de imagens digitais é realizado pelos sensores de navegação e técnicas de posicionamento. Com o intuito de melhorar a acurácia do georreferenciamento, sensores de posicionamento múltiplo, GPS, sistema de navegação inercial (INS) e dead reckoning (DR), podem ser combinados no

processamento de dados. Ainda de acordo com o autor, o sistema pode alcançar a casa dos centímetros na acurácia do posicionamento do veículo, e na casa dos metros na acurácia das coordenadas 3D dos objetos mensurados a partir da sequência de imagens georreferenciadas.

Um sistema de mapeamento móvel consiste em três componentes: aquisição de dados (georreferenciamento direto, sensores de posicionamento e mapeamento, avaliação da acurácia dos sensores), extração de informação (mensuração de objetos, detecção e reconhecimento de objetos) e sistema de gerenciamento de informação (softwares).

Mapeamento móvel é um conceito inovador que representa um avanço significativo dos multi-sensores integrados no mapeamento digital, além de ser verdadeiramente multidisciplinar por envolver princípios de navegação, posicionamento, fotogrametria, geodesia, imagens digital e sistemas de informação geospacial. Um sistema de mapeamento instalado em uma plataforma móvel pode ser utilizado para fazer um trabalho que exigiria vários agrimensores cartógrafos, de uma forma mais rápida e precisa. A aplicação deste sistema pode ser usada em diversas áreas como mapeamento de rodovias, mapeamento utilitário para inventário, mapeamento para infraestruturas, mapeamento para planejamento e cadastro, dentre outros (TAO et al., 2000).

Sistema de mapeamento móvel integra sensores de navegação e algoritmos junto com sensores que podem ser usados para determinar a posição de pontos remotos (ELLUM, 2002). Todos os sensores são montados de forma rígida juntos à uma plataforma, os sensores de navegação determinam a posição e orientação da plataforma, enquanto os outros sensores determinam a posição dos pontos externos à plataforma.

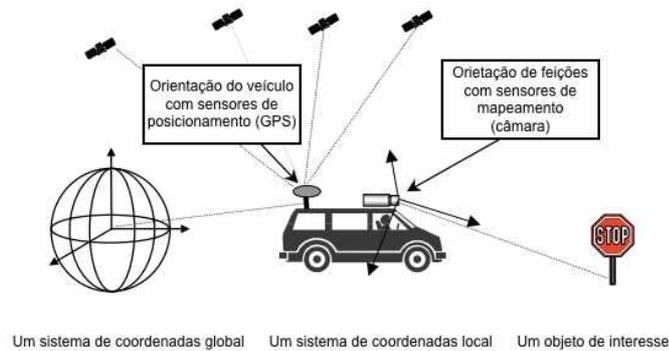
Para Ellum (2002), uma das principais vantagens do SMM está na capacidade de georreferenciar seus sensores de mapeamento de forma direta. Um sensor de mapeamento é georreferenciado assim que sua posição e orientação relativa a um quadro de coordenadas do mapeamento é conhecida. Uma vez georreferenciado, o sensor de mapeamento pode ser utilizado para determinar a posição de pontos externos à plataforma no mesmo quadro de coordenadas do mapeamento.

No georreferenciamento direto feito pelo sistema de mapeamento móvel, os sensores de navegação na plataforma são usados para determinar sua posição e orientação. O que não ocorre no tradicional georreferenciamento indireto, onde a posição e orientação da plataforma são determinados usando medições feitas para controlar pontos (ELLUM et al., 2002).

De acordo com Tao (2000), o conceito mais importante do mapeamento móvel é o georreferenciamento direto. O mesmo se refere à determinação da orientação exterior do sensor

de mapeamento sem o uso de pontos de controle na superfície e a triangulação de blocos fotogramétricos. A seguir, na Figura 02, pode ser observado o conceito de georreferenciamento direto.

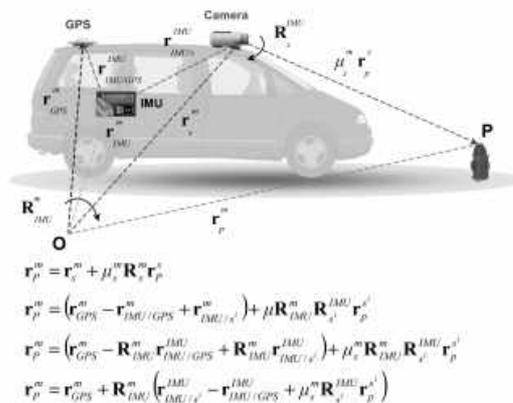
Figura 02: Conceito de georreferenciamento direto.



Fonte: Tao, C. V, 2000.

Já a Figura 03 apresenta o desenvolvimento da equação da fórmula do georreferenciamento para um sistema integrando um sensor de mapeamento com integração GPS e um IMU (Inertial Measurement Unit). Equação essa onde já é levado em consideração que a posição e orientação do sistema com respeito ao sistema de coordenadas do mapeamento estão mudando com o tempo, devido ao constante movimento do SMM durante a mensuração.

Figura 03: Desenvolvimento da fórmula do georreferenciamento.



Fonte: Ellum, C. e El - Sheimy, N, 2002.

O significado e determinação dos variados parâmetros da equação da fórmula do

georreferenciamento são apresentados na Figura 04, que pode ser observada logo abaixo:

Figura 04: Termos da fórmula do georreferenciamento expandido.

Variável	Descrição
\mathbf{r}_p^m	Vetor de posição do ponto de interesse no quadro de mapeamento. Desconhecido.
\mathbf{r}_p^s	Vetor de posição do ponto na imagem. Mensurado.
$\mathbf{r}(t)_{GPS}^m$	Vetor de posição do GPS da antena. Determinado usando GPS cinemático, e mensurado no quadro de coordenadas do mapeamento.
$\mathbf{R}(t)_{IMU}^m$	Matriz de rotação entre IMU e o quadro de coordenadas do mapeamento. Determinado usando a integração de medidas IMU.
$\mathbf{r}_{IMU/s}^{IMU}$	Vetor de diferenças de posição entre IMU e a câmara. Determinado através da calibração, e mensurado no quadro de coordenadas IMU.
$\mathbf{r}_{IMU/GPS}^{IMU}$	Vetor de diferenças de posição entre IMU e a antena do GPS. Determinado através da calibração, e mensurado no quadro de coordenadas IMU.
μ_s^m	Fator de escala do espaço da câmara para o do objeto. Determinado usando técnicas estéreo.
\mathbf{R}_s^{IMU}	Matriz de rotação entre IMU e o quadro de coordenadas da câmara. Determinado através da calibração.

Fonte: Ellum, C. e El - Sheimy, N, 2002.

4.4 Patologias de Pavimentos Asfálticos

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006) define pavimento como sendo uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocados em contato, resultando em um elevado grau de complexidade no que respeita ao cálculo de tensões e deformações e atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego.

Pavimento constitui em uma estrutura sobreposta por diversas camadas, de diferentes materiais e granulometrias, construída sobre o subleito, com o intuito de resistir e distribuir ao subleito esforços horizontais e verticais, assim como melhorar o conforto e as condições de segurança aos usuários (NASCIMENTO et al., 2016).

A malha rodoviária é um bem nacional precioso da qual, para sua preservação, é necessário a utilização de métodos com o intuito de manter a pavimentação bem conservada e quando preciso, restaurá-la. A não aplicação de tais métodos para manutenção do pavimento asfáltico, pode comprometer as condições de tráfego nas vias e acarretar num aumento de veículos danificados e acidentes. A importância da restauração do pavimento num nível adequado implica no baixo custo de manutenção da via, comparado com o gasto da restauração quando o mesmo atinge a condição de nível mau/péssimo. Além disso, quando a restauração é

feita no momento adequado, é necessário somente a aplicação de uma camada delgada de recapeamento, que é sobreposta à estrutura atual (VISCONTI et al., 2000).

Uma forma de avaliar as condições do pavimento e escolher o momento adequado a se fazer a manutenção de uma via é através de um sistema de gerenciamento. Em um sistema de gerenciamento de manutenção de estrada, a avaliação de irregularidades da superfície do pavimento é uma das tarefas importantes para o desenvolvimento de estratégias de reparação e manutenção. Buracos, rachaduras e remendos são alguns dos tipos de irregularidades da superfície do pavimento dos quais a avaliação é essencial para determinar como deve ser feita a restauração da malha viária (MORTH, 2004 apud HUIDROM, 2013).

Recentemente diversos métodos para detecção de buracos e trincas foram propostos. Os métodos de detecção de buracos e trincas estão divididos em três abordagens diferentes (CASSANIGA et al., 2017):

- Métodos que utilizam técnicas de detecção de buracos e trincas por vibração: se destinam apenas a levantamentos preliminares já que carecem de precisão e confiabilidade;
- Métodos que utilizam o varrimento de lasers para reconstrução 3D: basicamente implicam em custos elevados de equipamentos (Koch e Brilakis, 2011 apud Cassaniga, 2017);
- Métodos baseados em visão: utilizam câmaras e imagens 2D para detectarem os buracos e trincas presentes nas estradas asfaltadas. Esta técnica proporciona um baixo custo, já que câmeras comuns podem ser utilizadas na captura das imagens (Kim e Ryu, 2014 apud Cassaniga, 2017).

Da Rocha (2010) afirma que a condição da superfície do pavimento asfáltico é importante, pois as irregularidades e deformações nessa superfície são percebidos, por afetarem o conforto e segurança dos usuários da via. O autor ainda salienta que, quando o conforto é prejudicado, os veículos sofrem estragos com mais frequência o que acaba acarretando em maiores custos operacionais, associados à reposição de peças, aumento do consumo de combustível e desgastes dos pneus com o tempo de viagem, entre outros.

As principais irregularidades e defeitos, também chamadas de patologias de pavimentos asfálticos, são descritas como “doenças” ocorridas nos pavimentos, cuja origem pode ter sido a má execução do projeto, problemas construtivos, falha na seleção dos materiais, inadequações nas alternativas de conservação e manutenção entre outros fatores (DA ROCHA, 2011). Além disso, destaca que esses defeitos provocam a deterioração do revestimento e das

camadas subjacentes, prejudicando o rolamento, conforto e a segurança na via, trazendo também prejuízos aos usuários e aos veículos.

Para que possa ser feita a avaliação das patologias presentes no asfalto numa área de estudo, é necessária a classificação do tipo de revestimento utilizado na composição do pavimento. Levando em consideração os materiais empregados na camada de revestimento, base e sub-base do pavimento, pode ser feita então a classificação do mesmo. De modo geral, os tipos de pavimento que podem ser classificados em flexíveis, semirrígidos e rígidos (DNIT, 2006).

De acordo com dados da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (Abeda), mais de 90% das estradas pavimentadas nacionais são de revestimento asfáltico flexível. Para Nakamura (2011), uma das soluções mais tradicionais e utilizadas na construção e recuperação de vias urbanas, vicinais e de rodovias é o revestimento asfáltico aplicado na composição de pavimentos flexíveis.

Segundo Norma DNIT 005/2003 – TER (Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos Terminologia) e Silva 2008, no pavimento com revestimento asfáltico podem existir os seguintes diferentes tipos patologias.

1. Fendas: descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor (fissuras) ou maior (trincas) porte;
 - a. Fissuras: são fendas visíveis somente a uma distância inferior a 1,50 m. Podem estar posicionadas de forma longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via;
 - b. Trincas: são fendas com abertura superior à da fissura, facilmente perceptível a olho nu. Podem aparecer como trincas isoladas ou interligadas;
 - b.1 Trincas Isoladas: são divididas em transversal, longitudinal ou trinca de retração;
 - b.1.1 Trincas Transversais: causadas pela reflexão de juntas ou trincas subjacentes, ou pela retração da camada asfáltica. São trincas isoladas perpendiculares ao eixo do pavimento, quando sua extensão for menor ou igual a 1 m é chamada trinca transversal curta, já quando sua extensão for maior a 1 m é denominada trinca transversal longa;
 - b.1.2 Trincas Longitudinais: são trincas isoladas paralelas ao eixo do pavimento, quando sua extensão for menor ou igual a 1 m é chamada trinca longitudinal curta, já quando sua extensão for maior a 1 m é denominada trinca longitudinal longa. Formada

pela má execução da junta de construção, reflexão de trincas ou retração da camada asfáltica;

b.1.3 Trincas de Retração: trincas isoladas atribuídas aos fenômenos de retração térmica ou do material de revestimento ou base subjacentes ao revestimento trincado, e não atribuídas aos fenômenos de fadiga. A identificação desta patologia deve ser feita não somente por observação de imagem e sim por um estudo mais metuculoso em campo, para que possa ser identificada a causa de formação da trinca;

b.2 Trincas Interligadas: classificadas como do tipo couro de jacaré ou do tipo bloco;

b.2.1 Trincas Tipo “Couro de Jacaré”: conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais. Esse tipo de trinca concentra-se nas trilhas de roda, pois está associada a repetição das cargas de trafego;

b.2.2 Trincas Tipo “Bloco”: causadas pela retração do revestimento asfáltico e por variações de temperatura. São um conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados;

Importante: tanto as trincas do tipo couro de jacaré quanto as do tipo bloco, podem apresentar erosão acentuada nas bordas se não forem tratadas.

2. Deformações de superfície: divididas em afundamentos e corrugações;
 - a. Afundamento: deformação causada pela ação repetida da passagem das cargas de roda dos pneus. São caracterizados por depressão longitudinal da superfície;
 - b. Ondulação ou Corrugação: popularmente conhecida como costela de vaca, essa imperfeição é formada por ondulações transversais ao eixo da via. Ocorre principalmente devido à uma base instável ou à uma baixa resistência da massa asfáltica;
3. Escorregamento do Revestimento Betuminoso: trincas ou fendas em forma de meia-lua, ocorrem principalmente em áreas de frenagem. Consiste no deslocamento do revestimento em relação à base, devido à falta de aderência entre a camada de revestimento e a camada subjacente ou à baixa resistência da massa asfáltica;

4. Defeitos de Superfície: constituídos por exsudação de asfalto e desgaste;
 - a. Exsudação de asfalto: esta patologia acontece em consequência de um baixo volume de vazios ou excesso de ligante (problemas na composição da massa asfáltica). No calor o asfalto dilata e quando não há espaço para ele ocupar o mesmo exsudara através do revestimento e terá uma superfície que brilha devido ao excesso de ligante betuminoso;
 - b. Desgaste: este defeito no pavimento é caracterizado pela aspereza superficial, devido a perda progressiva de agregados. Pode ser causado pela ação abrasiva do tráfego e do intemperismo;

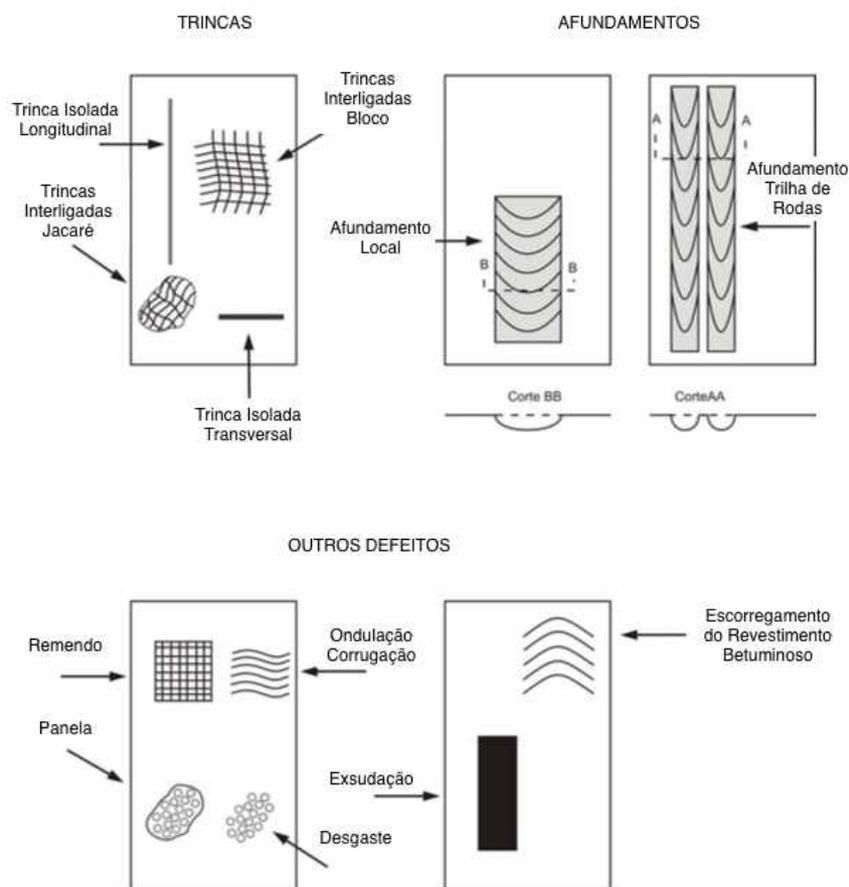
5. Panela: também chamada de buraco, se forma no revestimento e pode atingir a base. Esta imperfeição é formada pela água, que tende a penetrar no asfalto por outras patologias como trincas, desgaste e afundamento. A água então ira amolecer e desagregar as camadas do pavimento, causando assim a formação de buracos;

6. Remendo: panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento;
 - a. Remendo Profundo: aquele em que há substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento, usualmente apresenta forma retangular;

 - b. Remendo Superficial: correção, em área localizada, da superfície do revestimento, pela aplicação de uma camada betuminosa;

Na Figura 05, exibida no Anexo B da Norma DNIT 005/2003 – TER, é possível observar através de uma ilustração como cada uma das patologias citadas se manifestam na superfície dos pavimentos flexíveis.

Figura 05: Representação esquemática dos defeitos ocorrentes no pavimento.



Fonte: DNIT 005/2003 – Anexo B.

Para Scaranto e Gonçalves (2008), a proposta estabelecida para a definição das medidas de manutenção deve ser baseada na determinação dos tipos de intervenções para os pavimentos urbanos. O ponto de partida é estabelecido na correlação entre o valor do Índice de Gravidade Global (IGG) do pavimento e o tipo de via onde estes pavimentos estão inseridos. Para que possa ser determinado o valor do IGG deve ser executado um Inventário do Estado de Conservação da Superfície do Pavimento, como estabelecido pela norma do DNER-PRO 08/94. Na Tabela 01 temos um exemplo desse inventário utilizado por Silva (2008) no seu manual de patologia e manutenção de pavimentos.

Tabela 01: Exemplo de Inventário do Estado de Superfície do Pavimento.

INTESSADO		FAIXA		R.S. Nº		NORMA DNER-PRO 08-94																	
OBRAVIA		PISTA		O. S. Nº		CADASTRO Nº		ESTACA	ESTACA														
LOCAL		TRECHO/SENTIDO		OPERADOR		DATA																	
INVENTÁRIO DO ESTADO DE SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO – DNER PRO 08 - 94																							
ESTACA ou km	SEÇÃO TERRAP.	OK	FC-1					FC-2		FC-3		ALP (4)	ATP (4)	O (5)	P (5)	Ex (6)	D (7)	R (8)	ALCATC	E	FLECHAS		OBS.
			FI (1)	TTC (1)	TTL (1)	FLC (1)	TLL (1)	TRR (1)	J (2)	TB (2)	JE (3)										TBE (3)	TRI	
0	A							X	X			X				X	X			2	23		
1	A							X				X		X		X	X			0	19		
2	A							X				X		X		X	X			0	24		
3	A		X									X				X	X			0	15		
4	A		X									X				X	X			0	19		
5	A							X				X								18	10		
6	A		X									X								15	20		
7	A								X							X	X			3	8		
8	A								X							X	X			1	6		
9	A		X													X	X			3	6		
10	A		X									X				X	X			0	23		
11	A											X				X	X			0	30		
12	A		X									X				X	X			6	13		
13	A		X									X				X	X			0	33		

Fonte: SILVA, Paulo Fernando A. 2008.

Seguindo a norma DNIT 006/2003, após ser feito o calculo do IGG da área de estudo, o seu valor final será utilizado então para que possa ser feita a classificação do Conceito do Pavimento, que pode ser observado na Tabela 02.

Tabela 02: Conceito do Pavimento de acordo com o valor do IGG.

Conceitos	Limites
Ótimo	0 < IGG ≤ 20
Bom	20 < IGG ≤ 40
Regular	40 < IGG ≤ 80
Ruim	80 < IGG ≤ 160
Péssimo	IGG > 160

Fonte: Norma DNIT 006/2003 – PRO.

No caso dos pavimentos flexíveis, para que possa ser determinada a forma de manutenção da via, devemos seguir com o proposto na norma DNIT 008/2003 – PRO. De acordo com essa normativa, deve ser feita uma avaliação do Índice da Condição do Pavimento

Flexível (ICPF), que é estimado com base numa análise visual do pavimento. Posteriormente, é possível classificar a superfície da via e com base na Tabela 03, determinar qual medida de manutenção deve ser aplicada no pavimento asfáltico.

Tabela 03: Conceito do ICPF.

CONCEITO	DESCRIÇÃO	ICPF
Ótimo	NECESSITA APENAS DE CONSERVAÇÃO ROTINEIRA	5 - 4
Bom	APLICAÇÃO DE LAMA ASFÁLTICA - Desgaste superficial, trincas não muito severas em áreas não muito extensas	4 - 3
Regular	CORREÇÃO DE PONTOS LOCALIZADOS OU RECAPEAMENTO - pavimento trincado, com "panelas" e remendos pouco freqüentes e com irregularidade longitudinal ou transversal.	3 - 2
Ruim	RECAPEAMENTO COM CORREÇÕES PRÉVIAS - defeitos generalizados com correções prévias em áreas localizadas - remendos superficiais ou profundos.	2 - 1
Péssimo	RECONSTRUÇÃO - defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão. Degradação do revestimento e das demais camadas - infiltração de água e descompactação da base	1 - 0

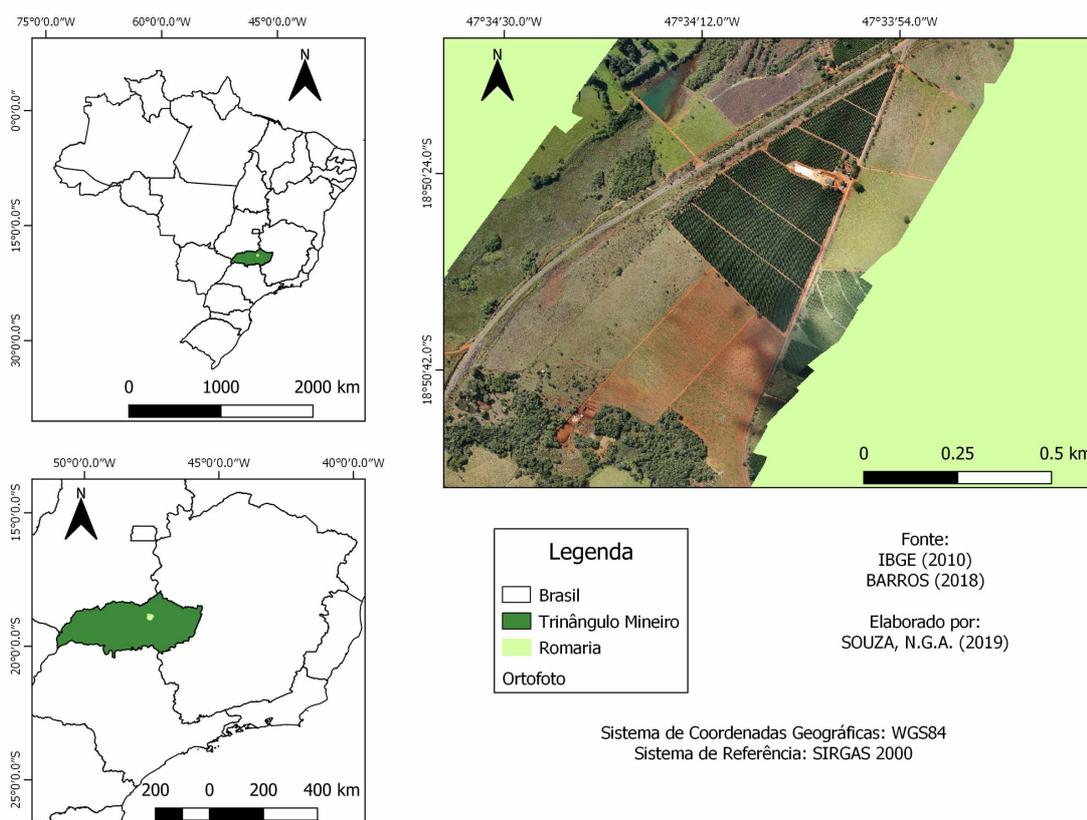
Fonte: DNIT 008/2003 – PRO.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Área de Estudo

Para a realização do estudo foi considerado um trecho de pavimento flexível na área rural do município de Romaria – MG, próximo às coordenadas geográficas 18° 50' 26" de latitude sul e 47° 33' 59" de longitude oeste. A escolha desse trecho foi feita com o intuito de se aplicar métodos de fotogrametria para a identificação das patologias presentes no mesmo.

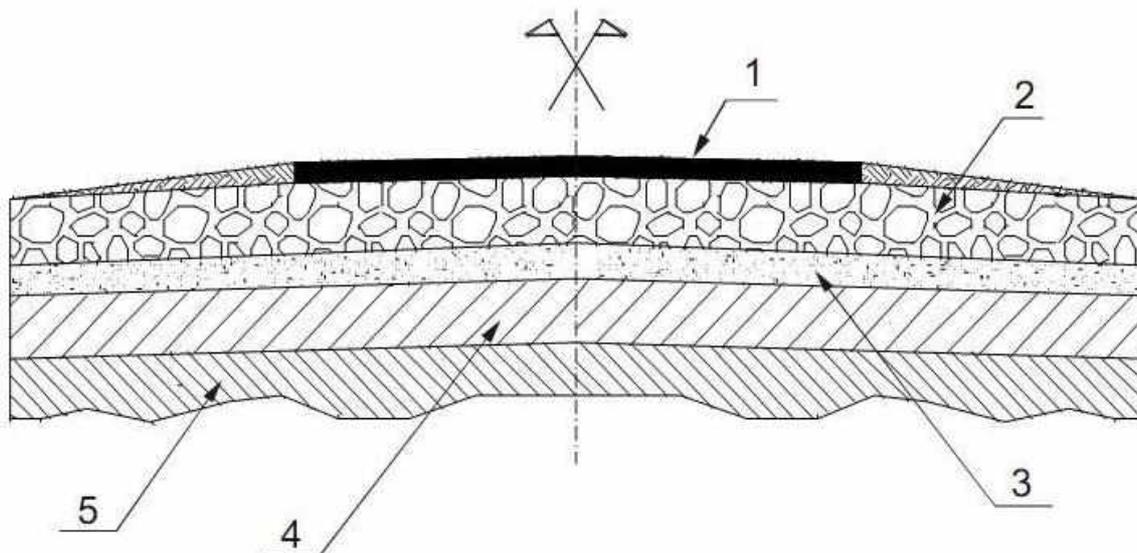
Figura 6: Área de estudo.



Fonte: O autor.

O percurso em análise caracteriza-se como um pavimento flexível composto por uma camada de revestimento de asfalto, base com material granular e sub-base com material granular e solo. A sub-base tem por finalidade resistir às cargas transmitidas pela base e proteger o subleito (terreno de fundação do pavimento). A camada de base é destinada a resistir e distribuir os esforços verticais provenientes do veículo, repartindo estes esforços uniformemente à sub-base e ao subleito (NOGUEIRA BAPTISTA, 1980), além disso, tem a função de permitir a drenagem das águas que se infiltram no pavimento. Por fim, a camada de revestimento, também chamada de capa de rolamento, recebe diretamente ação do tráfego e tem por objetivo melhorar o conforto ao rolamento e impermeabilizar o pavimento, protegendo assim as camadas inferiores da deterioração causada pela ação do tráfego e do intemperismo.

Figura 7: Seção transversal do pavimento flexível.



Fonte: Manual de Pavimentação, DNIT, 2006.

A Figura 7 ilustra como é dividido em camadas um pavimento asfáltico flexível, onde:

- 1: camada de revestimento;
- 2: base;
- 3: sub-base;
- 4: revestimento do subleito;
- 5: subleito.

5.2. Material

Com a finalidade de efetuar o presente trabalho de forma pertinente, foi de extrema importância o uso de material e software eficazes, para que possam ser concretizadas as etapas de coleta, processamento e análise dos dados.

5.2.1. Sistema de Câmaras LadyBug 5

O sistema de imageamento esférico da LadyBug 5, é composto por seis câmaras de 5MP (Mega Pixels) que possibilitam uma cobertura 360° esférica do sistema de vídeo. Além disso, o dispositivo pode ser sincronizado com aparelhos externos, como receptor GPS.

Figura 8: LadyBug 5.



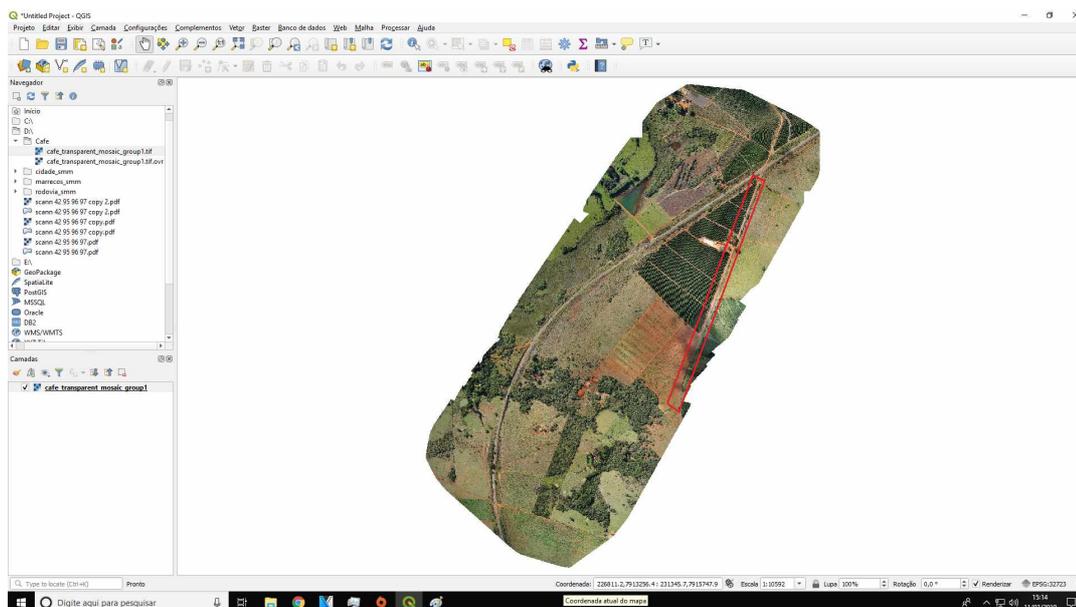
Fonte: O autor.

As características do aparelho tornam seu uso propício para aplicações em sistema de mapeamento móvel. Basta a utilização de uma plataforma para o sistema de câmaras LadyBug 5, e um sistema de posicionamento que sincronize os dados de navegação com a câmara. Na seção referente a metodologia aplicada para a realização deste trabalho é possível observar como o sistema de câmaras deve manter-se sobre o veículo.

5.2.2. Ortofoto da área de estudo

A ortofoto referente a área de estudo foi empregada com a premissa de efetuar posteriormente a integração das informações aéreas junto às terrestres, para que pudesse então ser realizado o diagnóstico das imperfeições presentes na via a partir da análise dessas informações. Tal imagem foi gerada e disponibilizada pelo Engenheiro Agrimensor Cartógrafo Victor Godoy de Barros, que fez o levantamento no ano de 2017 utilizando um VANT Arator 5A da empresa Xrobots. De acordo com as normas da ANAC, este aparelho é classificado como uma ARP de classe 3. Na Figura 09 pode ser observado em vermelho o trecho referente ao pavimento estudado nesta pesquisa.

Figura 9: Ortofoto gerada a partir do VANT Arator 5A.



Fonte: Victor Godoy de Barros.

5.2.3. Software LadyBug Cap Pro

Ladybug Cap é o software utilizado para gerenciar a aquisição de imagens, a produção de imagens esféricas e panorâmicas, e as configurações das câmeras LadyBug 5. Tal software fornece um mecanismo simples para a geração de imagens panorâmicas 360° a partir do vídeo capturado com o sistema de câmeras LadyBug 5. O software também será empregado para o processamento dessas imagens panorâmicas 360°. Para que se possa ter um entendimento melhor sobre o software, mais adiante temos um print screen da tela do computador utilizando o mesmo.

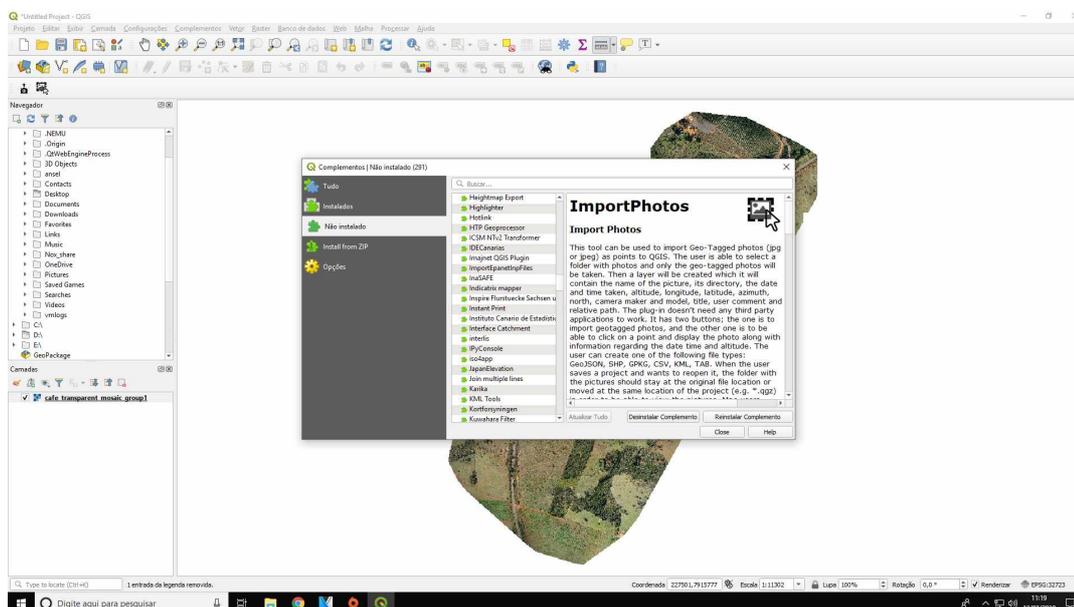
5.2.4. Quantum Gis

O software também conhecido como QGIS, permite aos seus usuários criar mapas com várias camadas usando diferentes projeções de mapa, compor mapas a partir de camadas raster e/ou vetoriais, e os dados podem ser armazenados como pontos, linhas ou polígonos. Além de ser capaz de georreferenciar imagens e dispor de várias ferramentas que podem auxiliar na obtenção de maiores informações nas imagens.

A principal ferramenta do software usada para o desenvolvimento deste trabalho foi a ferramenta *Measure* e os *plug-ins Import Photos* e *Click Photos*. A ferramenta *Measure* possibilitou verificar o comprimento de patologias do tipo afundamento e também calcular a área de painéis e remendos. Já o *plug-in Import Photos* foi utilizado para fazer a integração

entre as imagens dos dois métodos de fotogrametria.

Figura 10: *Plug-in Import Photos.*



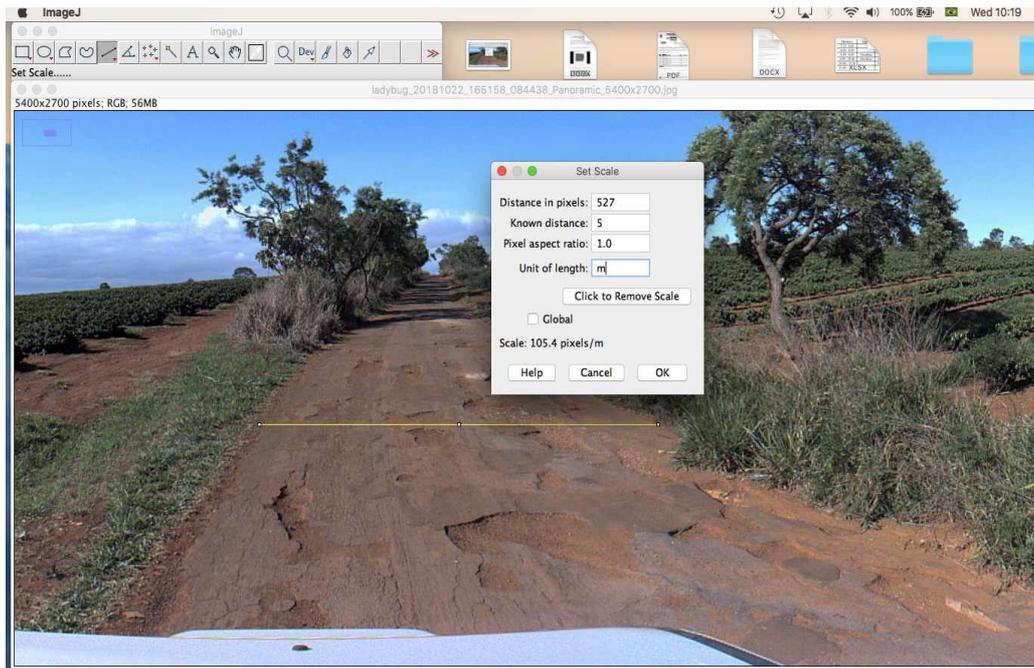
Fonte: O autor.

5.2.5. ImageJ

O software ImageJ possibilita a exibição, edição, análise e processamento de imagens. Com ele pode-se trabalhar com uma imagem colorida ou em nível de cinza, e usar diversos formatos de imagens como o TIFF, o PNG, o GIF, o JPEG e muitos outros.

Para que pudessem ser medidas o comprimento e/ou a área das patologias, foi necessário criar uma escala da imagem em pixels/m utilizando a ferramenta *Analyse > Set Scale*. Com o intuito de fazer esse escalonamento, primeiro foi observado a largura da via na ortofoto e posteriormente usou-se esse mesmo valor para determinar a largura da via nas imagens do SMM, assim pode ser determinada uma escala em pixels/m para as imagens terrestres. Na Figura 11 esse procedimento pode ser bem observado.

Figura 11: Determinação da escala no ImageJ.



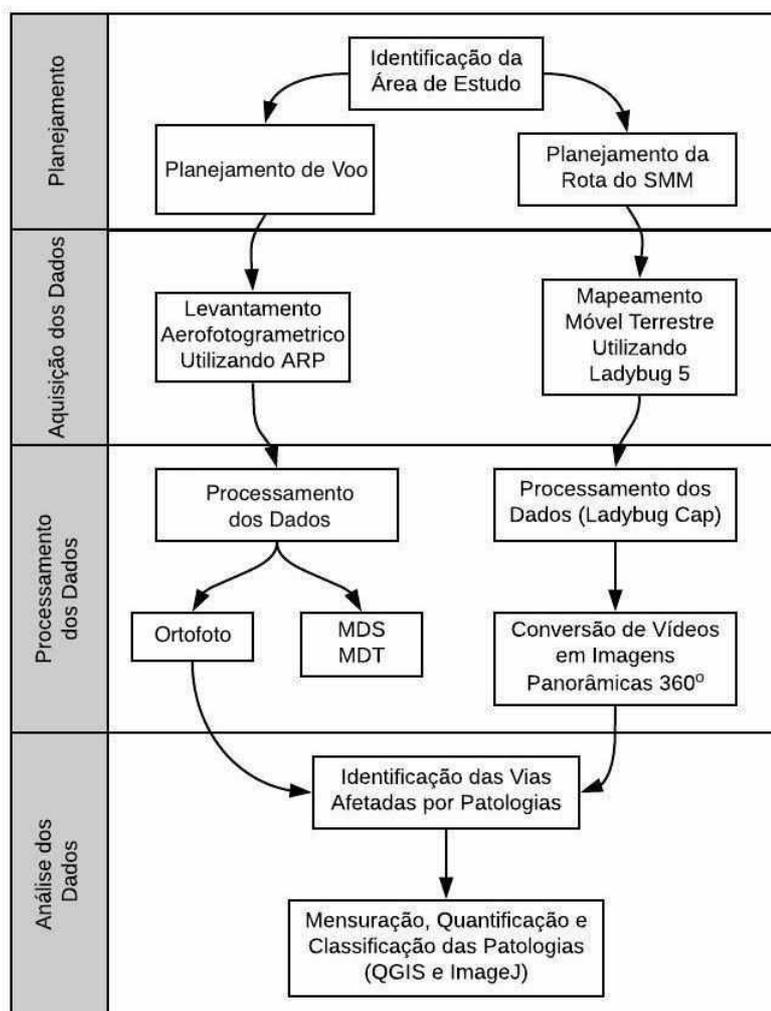
Fonte: O autor.

Após a criação da escala da imagem, foi possível então realizar as medidas desejadas através da ferramenta *Analyse > Measure*. Esse software foi usado principalmente para realizar as medidas nas imagens obtidas pelo SMM.

5.3. Metodologia

Com o intuito de auxiliar no planejamento e desenvolvimento da metodologia que foi aplicada neste estudo, foi criado um fluxograma onde são ilustrados os procedimentos que serão empregados em cada uma das etapas. As etapas são compostas de uma sequência temporal passando do planejamento inicial, aquisição dos dados, processamento dos dados e análise das informações acerca da execução das etapas precedentes. Na Figura 12 está representado o fluxograma de atividades.

Figura 12: Fluxograma da Metodologia.



Fonte: O autor.

Importante destacar que para a obtenção da ortofoto as etapas de planejamento, aquisição e processamento dos dados não foram realizadas neste trabalho, pois já existe uma ortofoto referente a área estudada.

5.3.1. Levantamento em campo com SMM

Para a realização da coleta de dados com o sistema de mapeamento móvel foi utilizado o sistema de câmaras LadyBug 5. Com a finalidade de adquirir imagens da via em análise foi necessário o uso de um veículo disponibilizado pela UFU, para que pudéssemos acoplar o sistema de câmaras na parte superior do veículo onde seria possível a captura de imagens que nos fornecesse informações satisfatórias para uma análise das deformações presentes no pavimento. Na Figura 13 é possível ver como o sistema de câmaras fica acoplado no veículo.

Figura 13: Sistema de câmaras LadyBug 5 acoplado ao veículo.



Fonte: O autor.

No entanto, depois de acoplar o sistema de câmaras na parte superior do veículo, antes de começar a rota para aquisição de dados referentes a via, foi feita a conexão entre a LadyBug 5 e um computador. Isto deve ser feito para que todo o material coletado pela LadyBug 5 seja salvo no computador. Além disso, o computador deve ter instalado o software LadyBug Cap Pro, pois através deste é possível observar todo o trajeto realizado em tempo real. Por último, após conectar o sistema de câmaras na máquina com o software LadyBug Cap Pro instalado, foi conectado no computador um aparelho GPS que deve estar sincronizado com o software LadyBug Cap Pro, como pode ser observado na Figura 14. A utilização do GPS é de suma importância durante todo o período de aquisição de dados, porque assim todo o material obtido estará georreferenciado.

Figura 14: Computador com o software LadyBug Cap Pro e GPS.



Fonte: O autor.

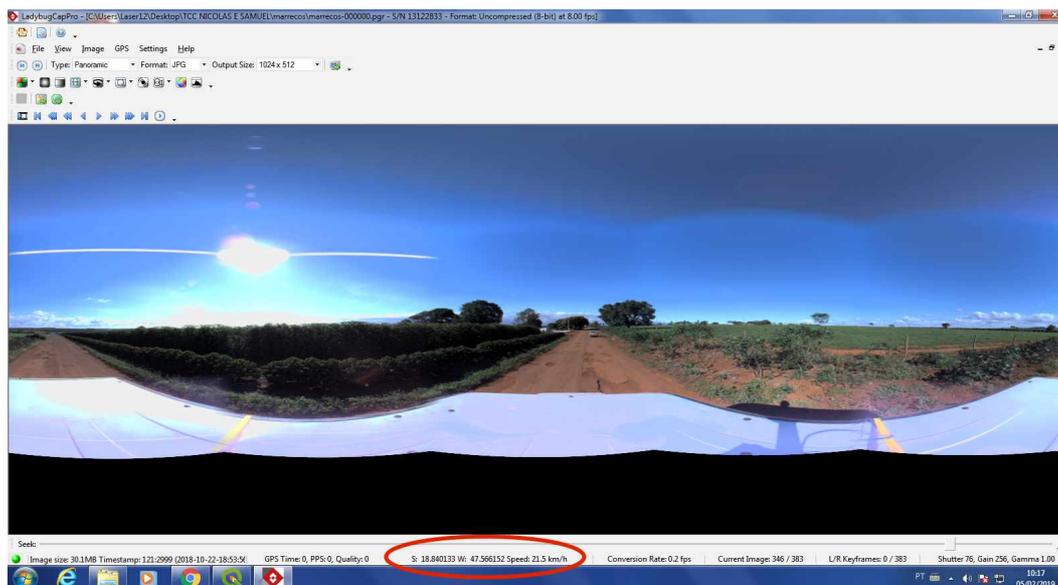
Finalmente, após seguir todas estas etapas pode dar início ao trajeto correspondente à área de estudo, com a intenção de obter informações cruciais para a análise de patologias no pavimento. O material gerado através do levantamento com o sistema de mapeamento móvel, é um vídeo condizente com a rota seguida pelo veículo onde está acoplado o sistema de câmaras LadyBug 5.

5.3.2. Processamento dos dados obtidos pelo SMM

Por meio do vídeo gerado a partir do levantamento com o sistema de mapeamento móvel e da utilização de ferramentas do software LadyBug Cap Pro, foram criadas imagens com o propósito de contribuir para o estudo das deformações presentes na via. Depois de geradas tais imagens, com o auxílio do software LadyBug Cap Pro podemos verificar se todo o material obtido em campo segue georreferenciado como planejado na etapa do levantamento.

Posteriormente, pôde ser realizada então a análise frame a frame para identificar as patologias existentes no pavimento. Na Figura 15 temos o exemplo de uma imagem retirada do vídeo gerado no levantamento em campo, na parte inferior central da imagem (destacado em um círculo vermelho) é possível ver que as coordenadas do ponto onde foi recortada a imagem são informadas pelo software, além de outras informações como a velocidade do veículo e quantas imagens foram geradas no total a partir do vídeo.

Figura 15: Software LadyBug Cap Pro.



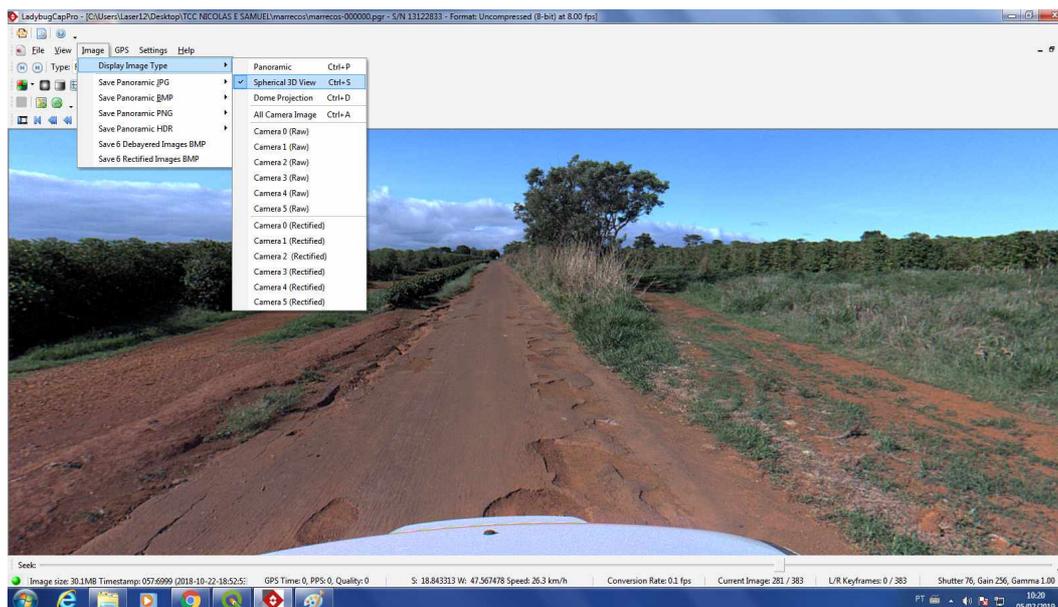
Fonte: O autor.

5.3.3. Análise dos dados do SMM

Com o auxílio das imagens geradas a partir do vídeo adquirido no levantamento com o sistema de câmaras LadyBug 5, foi possível então realizar a busca por patologias no asfalto. Através do uso da opção de menu *Image > Display Image Type > Spherical 3D View*, temos a capacidade de analisar de uma forma mais objetiva as imperfeições existentes na via, como pode ser visto na Figura 16.

Mediante a análise das imagens e usando o *Zoom In* do software, é possível então observar com clareza as patologias presentes no asfalto objeto de estudo deste trabalho. Informações como, identificação de quais tipos de patologias, quantidade de patologias, tamanho em metros e as coordenadas do local onde tais estavam presentes, são informações fundamentais para o planejamento de alternativas de intervenções corretivas e preventivas para melhorar a qualidade, funcionalidade e vida útil do pavimento.

Figura 16: Opção de menu *Spherical 3D View* do software LadyBug Cap Pro.

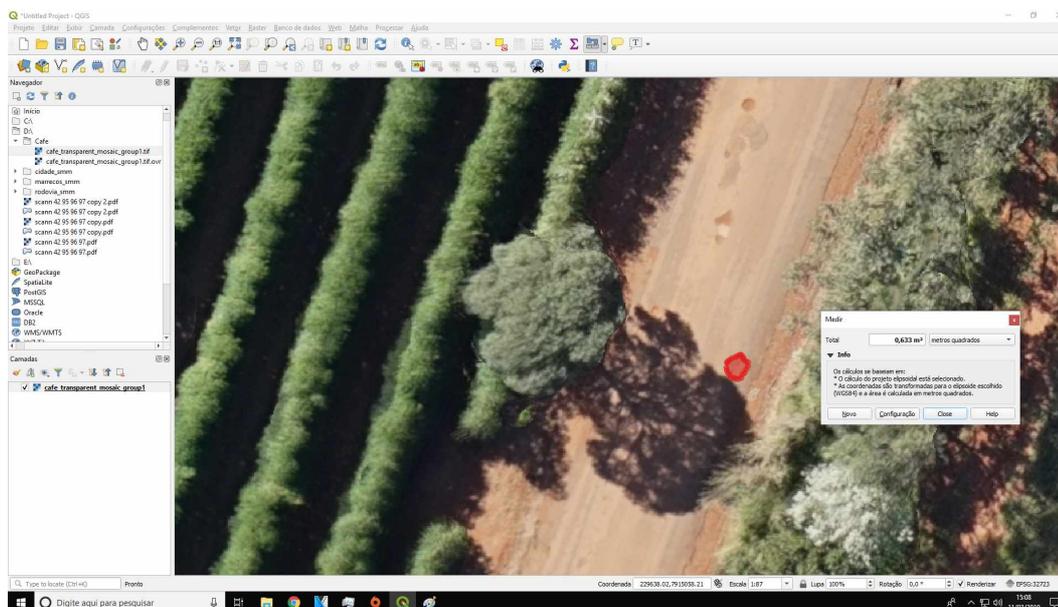


Fonte: O autor.

No entanto, devido ao fato que o software LadyBug Cap Pro não disponibiliza ferramentas que permitam a mensuração e o cálculo de área das patologias, foi utilizado o então o software QGis para que pudesse ser gerada tais informações referentes a ortofoto, e o software ImageJ no caso das imagens terrestres.

5.3.4 Análise da Ortofoto

A partir da utilização de ferramentas do software QGis é possível fazer um estudo minucioso da ortofoto referente à área de estudo. Essa análise é crucial para o reconhecimento das deformações existentes no pavimento asfáltico. Como dito anteriormente, a ferramenta *Measure* permite que sejam feitos a mensuração do comprimento das patologias do tipo afundamento e exsudação de asfalto, ademais tal ferramenta também possibilita o cálculo da área das tantas panelas presentes no trajeto. Como exemplo disso, na Figura 17 é possível observar como é usada a ferramenta em questão.

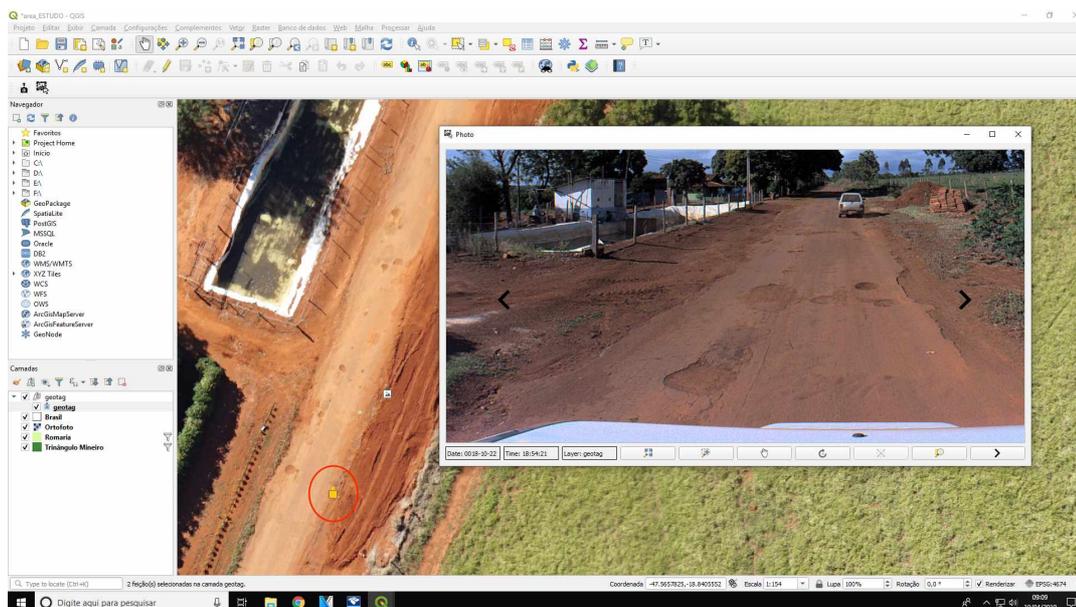
Figura 17: Painela com área de 0,633 m².

Fonte: O autor.

5.3.5. Integração das imagens aérea e terrestres

Posteriori a análise das imagens referentes ao levantamento aéreo e terrestre, foi feita a integração dos dados adquiridos pelos dois métodos de fotogrametria. Tal ação foi realizada com a expectativa de enriquecer a quantidade de dados referentes ao pavimento, com a finalidade de alcançar um resultado onde é possível efetuar o reconhecimento das patologias, a avaliação de qualidade do pavimento e por fim criar um diagnóstico que demonstre as causas da existência das imperfeições e formas de recuperar a qualidade da malha viária. Para que isso pudesse ser feito, utilizamos os *plug-ins Import Photos* e *Click Photos* no software QGIS, como pode ser visto na Figura 18.

Figura 18: Resultado da integração entre a ortofoto e as imagens terrestres.



Fonte: O autor.

A integração entre as imagens aérea e terrestres fica clara na Figura 18. Dentro do círculo vermelho no canto inferior esquerdo da imagem é possível observar um ícone de *shape* destacado em amarelo, isso indica que a imagem obtida pelo SMM que pode se observar é referente a aquele ponto da ortofoto. Assim fica evidente informações de um mesmo trecho da área de estudo em pontos de perspectivas diferentes.

6. RESULTADOS

Este trabalho teve o intuito de determinar se o uso dos dados obtidos através da aerofotogrametria pode ou não complementar as informações adquiridas pelo sistema de mapeamento móvel, com a finalidade de auxiliar na identificação das deformações na malha viária. Além disso, investigar qual dos produtos gerados pode contribuir com um maior número de dados referentes ao objeto de estudo, para que pudesse ser identificado fatores como a causa da existência de patologias no pavimento e as alternativas de recuperação do mesmo.

Ademais, outro propósito que satisfaça a produção deste trabalho é a avaliação da qualidade em que o pavimento estudado se encontra. O resultado da investigação desse fator auxiliará na compreensão de quais são as alternativas que devem ser aplicadas na via para a correção das imperfeições presentes, e posterior a essa correção, procedimentos para a preservação do pavimento asfáltico. No entanto, antes que possa ser feita a avaliação de

qualidade do pavimento asfáltico, deve ser feito um diagnóstico que procure identificar as principais razões para a presença das patologias na via,

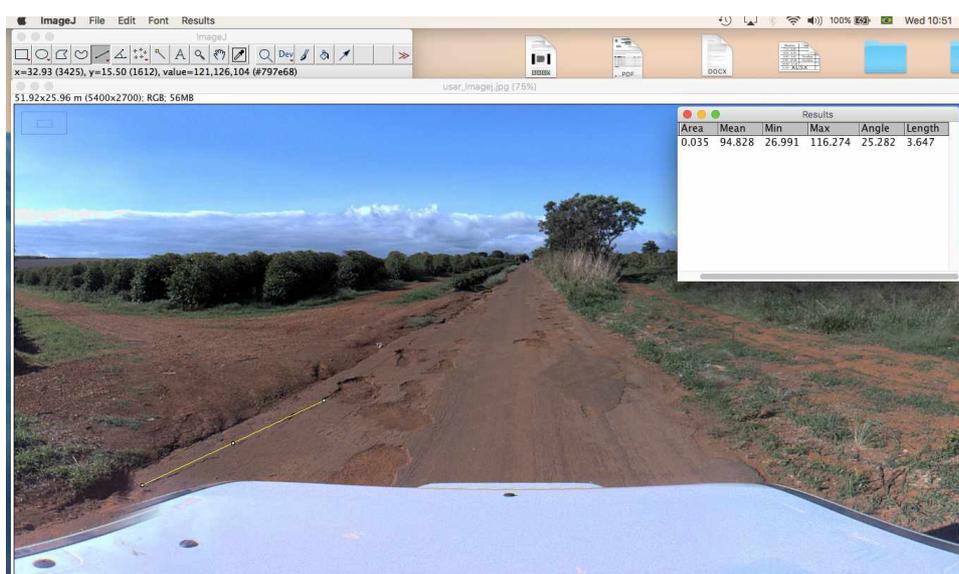
É importante destacar que de acordo com as normas do DNIT o diagnóstico, a avaliação de qualidade do pavimento e a determinação das alternativas de intervenção no mesmo, devem ser executados após vários estudos em campo e testes em laboratório. No desenvolvimento desta pesquisa, os resultados e conclusão foram feitos baseados somente na análise de imagens. Por isso, saliento que as assertivas feitas na composição deste trabalho devem ser descritas como uma análise previa da condição em que o pavimento asfáltico se encontra, e uma ferramenta para uma melhor tomada de decisão na forma como as patologias presentes no mesmo deverão ser tratadas.

6.1. Avaliação das Patologias Utilizando as Imagens Terrestres e Aéreas

Com o objetivo de verificar qual a melhor forma de aplicação dos produtos gerados em ambos os métodos da fotogrametria, foi feita uma análise meticulosa em alguns aspectos importantes no que diz respeito a avaliação das patologias. Estes aspectos são, a possibilidade ou não para detectar, classificar, quantificar e mensurar a patologia, a partir das imagens geradas pela ARP e pelo SMM. Tal estudo foi realizado com a intenção de deduzir se a utilização de uma ARP é realmente plausível durante a criação de um diagnóstico referente as patologias de um determinado pavimento.

Quando se trata de imperfeições do tipo fenda, tanto trincas quanto fissuras, a sua identificação é bem perceptível nas imagens obtidas pelo SMM, o que por outro lado não ocorre na ortofoto. Além disso, com as imagens geradas pela LadyBug 5, ainda é possível classificar qual o tipo de trinca ou fissura e em alguns casos mensurar as mesmas como pode ser observado na Figura 19. No entanto quantificar esse tipo de deformação no trecho em estudo seria uma tarefa inviável, devido a sua grande presença na via.

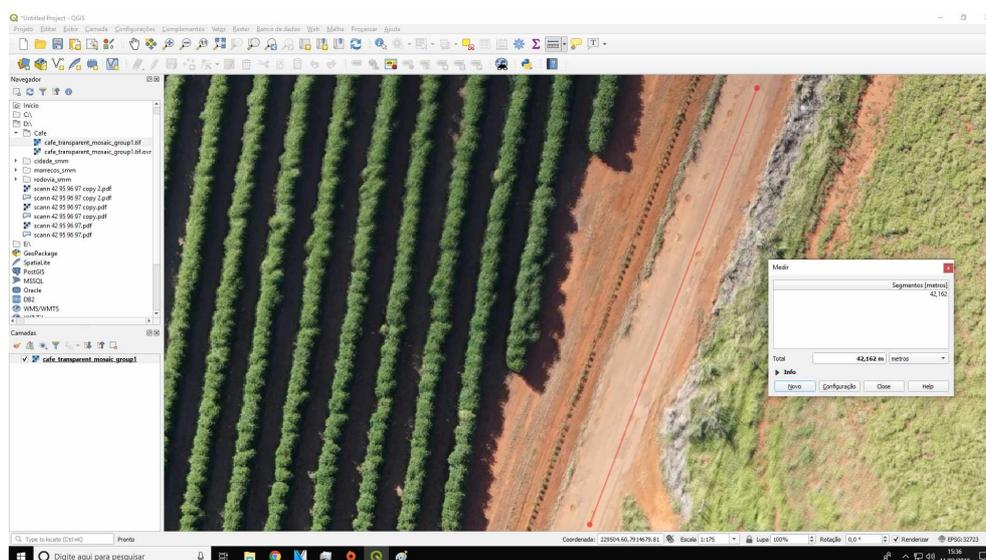
Figura 19: Trinca isolada longitudinal de 3,647 m de extensão, imagem terrestre.



Fonte: O autor.

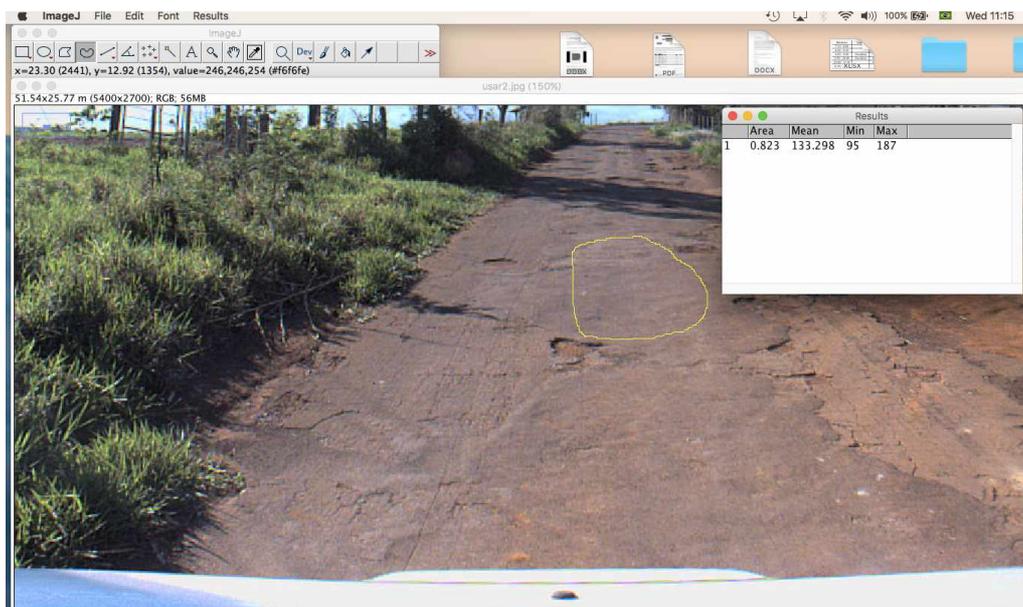
Com relação as deformações de superfície, temos o afundamento e a corrugação. O afundamento em alguns casos pode ser identificado por ambos os métodos. No entanto, devido ao fato dos afundamentos presentes no pavimento em análise serem muito cumpridos, a imagem aérea é melhor para fazer a sua mensuração, que é dada em metros como pode ser constatado na Figura 20. Já a presença de corrugação no pavimento, apesar de não haver muita, só é evidente pelas imagens do SMM. Sua unidade de medida é o metro quadrado da área afetada, e pôde ser mensurada a partir das imagens terrestres utilizando o software ImageJ.

Figura 20: Afundamento de 42,162 m no pavimento, imagem aérea.



Fonte: O autor.

Figura 21: Corrugação com área igual a 0,823 m², imagem terrestre.



Fonte: O autor.

O escorregamento do revestimento betuminoso aparece com pouca frequência na via. Sua identificação é imperceptível pela imagem aérea, sendo aparente somente pelas fotos geradas pelo sistema de câmaras LadyBug 5, como na Figura 22.

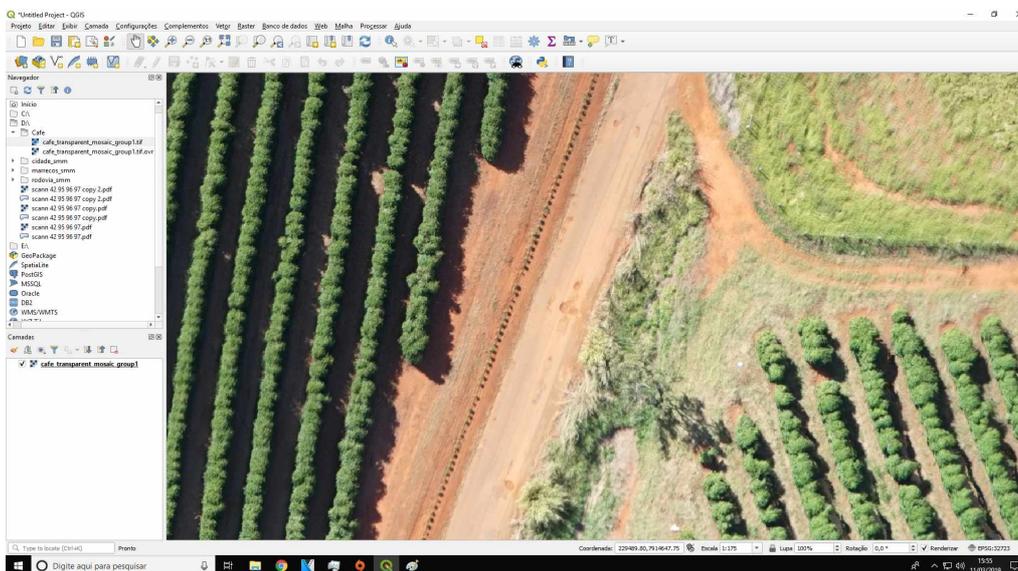
Figura 22: Escorregamento do asfalto betuminoso.



Fonte: O autor.

As patologias do tipo defeitos de superfície são classificadas entre exsudação de asfalto e desgaste. A existência de exsudação de asfalto é evidente nos dois tipos de metodologia fotogramétrica empregados neste trabalho, como pode se observar nas figuras a seguir.

Figura 23: Exsudação do asfalto, imagem aérea.



Fonte: O autor.

Apesar de poder ser observado nas imagens terrestres e também na aérea, a imagem aérea é melhor para que possa ser medida a extensão desse tipo de patologia, assim como ocorre nos afundamentos.

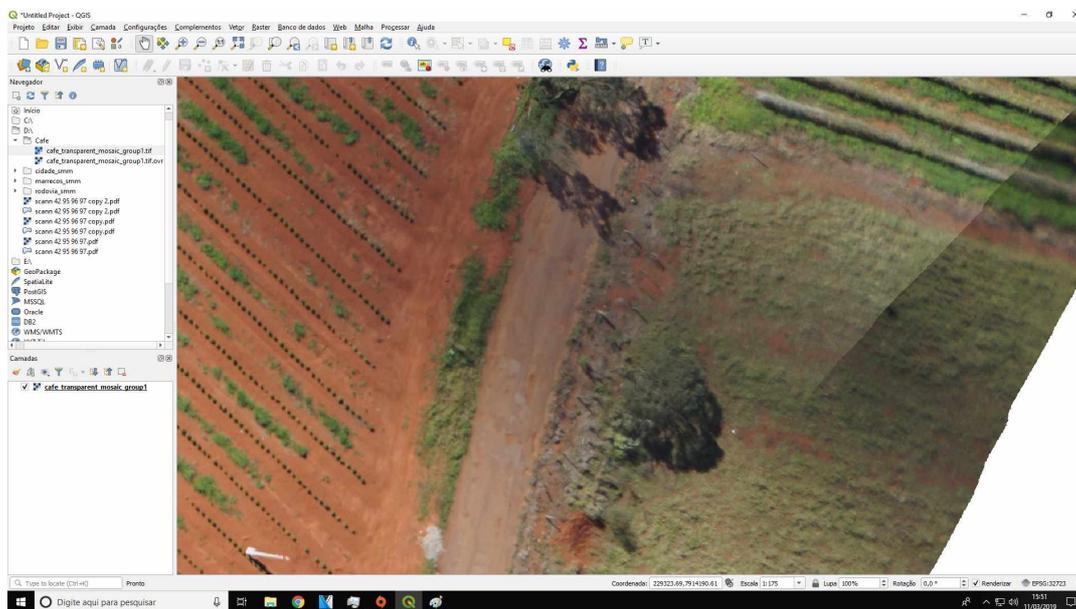
Figura 24: Exsudação do asfalto, imagem terrestre.



Fonte: O autor.

Da mesma forma o desgaste, no entanto quando sua área é menor que 1m^2 a identificação por imagem aérea deixa de ser viável. Na Figura 25 é possível observar essa patologia pela imagem aérea.

Figura 25: Desgaste do asfalto, imagem aérea.



Fonte: O autor.

Porém, como dito anteriormente, a observação dessa patologia quando sua área for inferior a 1m^2 , deve ser feita utilizando imagens terrestres.

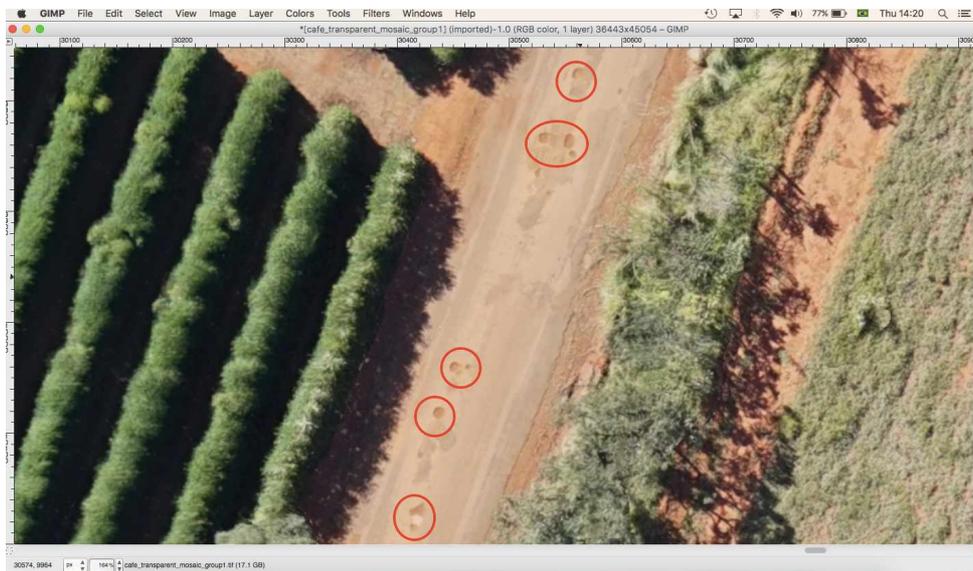
Figura 26: Desgaste do asfalto, imagem terrestre.



Fonte: O autor.

Em relação as painelas, estas aparecem de forma abundante no pavimento estudado. A identificação e a mensuração dessa imperfeição podem ser feitas utilizando dados de ambos os métodos. Nas Figuras a seguir é possível observar como essa deformação se manifesta.

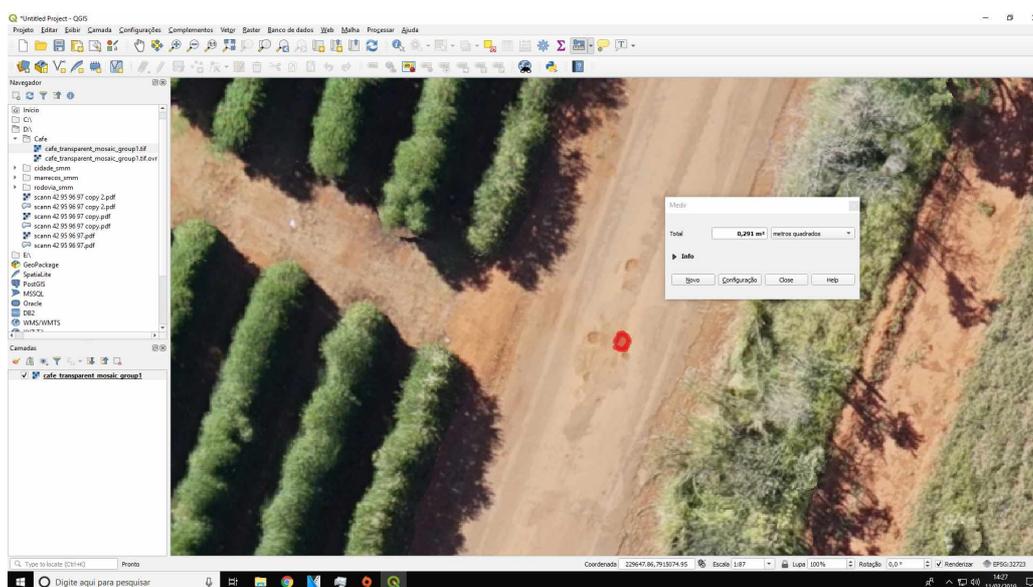
Figura 27: Identificação de painelas no pavimento, imagem aérea.



Fonte: O autor.

Na Figura 28 podemos observar a área de uma determinada painela na área de estudo. O calculo dessa área foi feito utilizando a ferramenta Medir do software QGIS.

Figura 28: Painela com área de 0,291m², imagem aérea.



Fonte: O autor.

As imagens geradas pelo SMM são mais ricas em detalhes, o que pode ser útil para tomar conhecimento das possíveis causas da aparição dessa patologia na via, além de poder contribuir com informações que auxiliaram no estudo de uma alternativa de intervenção corretiva da via.

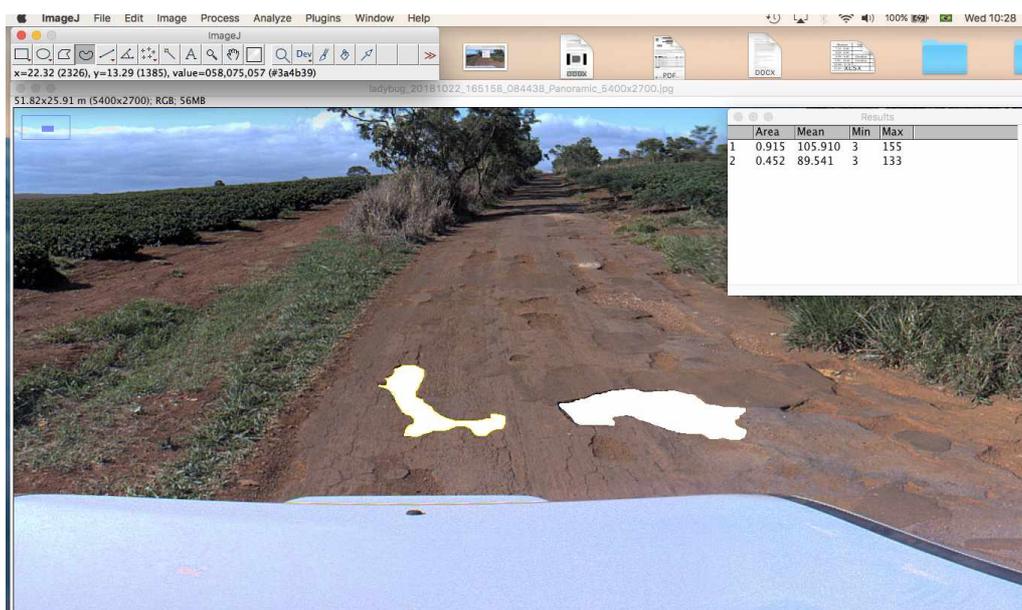
Figura 29: Panela presente no pavimento asfáltico, imagem terrestre.



Fonte: O autor.

Observando a Figura 30 podemos observar a presença de varias panelas na via, utilizando o software ImageJ pudemos calcular a área de algumas dessas deformidades.

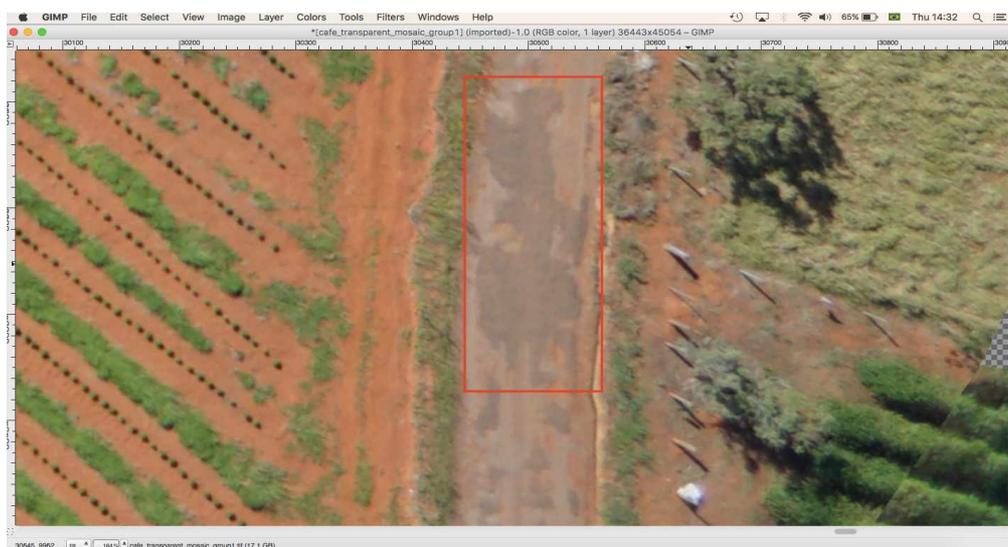
Figura 30: Calculo da área de panelas usando o software ImageJ, imagem terrestre.



Fonte: O autor.

Por fim, temos a presença dos remendos no pavimento, tanto profundo quanto superficial. Do mesmo modo como no desgaste, os remendos podem ou não ser identificados pelas imagens adquiridas pela ARP, vai depender do tamanho da área em m^2 que corresponde ao remendo.

Figura 31: Remendo profundo já desgastado, imagem aérea.



Fonte: O autor.

Já pelas imagens terrestres é possível detectar e mensurar essa patologia presente na via. Além disso, os remendos superficiais só podem ser observados por esse ponto de perspectiva.

Figura 32: Remendo superficial, imagem terrestre.



Fonte: O autor.

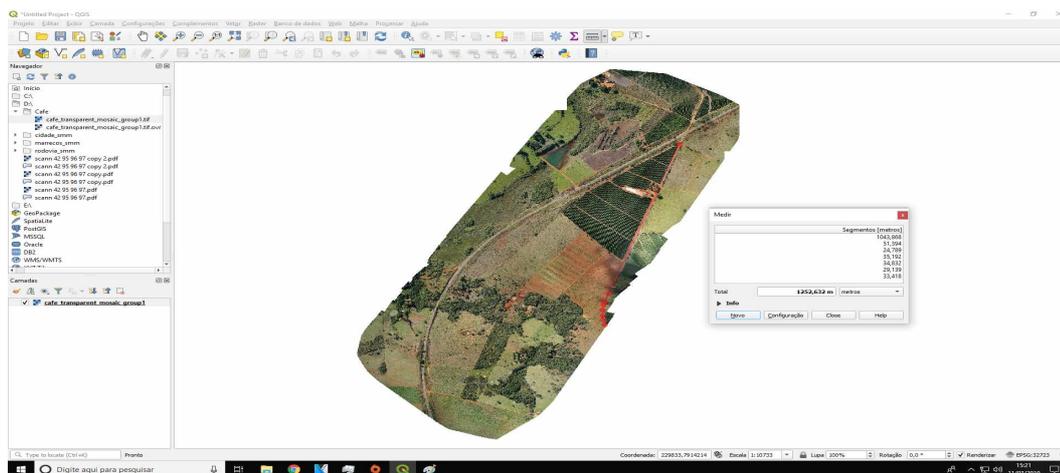
Em conclusão, podemos afirmar que a utilização de apenas um método de fotogrametria seria prejudicial na realização desta pesquisa acadêmica. Pois, as patologias existentes no pavimento asfáltico que foi estudado se manifestam em diferentes formas e tamanhos. Por isso a possibilidade de executar uma análise da malha viária a partir de diferentes pontos de vista é importante. Em alguns casos a utilização das imagens adquiridas pelo sistema de câmaras LadyBug 5 são a única forma de observar uma patologia, como no caso da corrugação. Já em outros, o uso da ortofoto é imprescindível, o que acontece nas imperfeições do tipo afundamento e exsudação do asfalto.

6.2. Diagnóstico das Deformações Existentes no Pavimento

A partir da análise dos dados obtidos através da aerofotogrametria e do sistema de mapeamento móvel, foi possível fazer o diagnóstico das patologias presentes no pavimento em estudo. Após a identificação das deformações existentes na área estudada, é relevante que se faça um estudo para compreender por qual razão tais imperfeições se manifestaram na via e o que deve ser feito para evitar futuras patologias no pavimento.

O pavimento asfáltico em análise nesta pesquisa tem um comprimento de aproximadamente 1.200m, como pode ser visto na Figura 33. Nesta extensão foram encontradas patologias do tipo fissura, trincas isoladas longitudinais e transversais, trincas interligadas do tipo couro de jacaré e de bloco, afundamento, ondulação, escorregamento do revestimento betuminoso, exsudação de asfalto, desgaste, panela e remendos. Para uma melhor compreensão do real motivo da formação de tais deformações deve ser feito um estudo climático e de tráfego na via. Contudo este trabalho não tem o intuito de fazer tal, pois a principal vertente do mesmo é somente expor qual a melhor metodologia para a identificação visual das deformações da camada de revestimento.

Figura 33: Comprimento em metros da malha viária, 1250m.



Fonte: O autor.

Apesar deste trabalho não apresentar um estudo climático e de tráfego na via que corresponde o objeto de estudo por fugir do escopo do mesmo, pôde ser feita uma inspeção no que diz respeito aos materiais utilizados para elaboração deste pavimento a partir das imagens obtidos. Como dito anteriormente, o trecho apresenta características de um pavimento asfáltico flexível, e com base nessa classificação de pavimento é possível saber os materiais que compõe o mesmo. Em seguida, foi feita então uma breve investigação, baseada somente na análise de imagens, com o intuito de observar se a maneira como o pavimento foi elaborado segue com as recomendações do DNIT. Se não, podemos concluir que a mistura usada para a formação do pavimento é uma das possíveis causas para a aparição de imperfeições no mesmo.

Posteriori a investigação no que diz respeito a composição do pavimento, podemos deduzir que a forma como o mesmo foi produzido influência sim no surgimento de patologias na via. Sabemos que por se tratar de um pavimento asfáltico flexível, a camada de revestimento e a base devem ser compostas de asfalto e material granular respectivamente. O pavimento material de estudo desta pesquisa segue com esse padrão, no entanto a quantidade de asfalto na camada de revestimento e a quantidade de material granular na base é insuficiente para assegurar que a via permaneça em um bom estado, livre de grandes patologias.

Isto se deve ao fato de que as recomendações do DNIT implicam que a espessura mínima do revestimento asfáltico seja de 5cm, e a espessura do asfalto utilizado na camada de revestimento na área de estudo se apresenta, em alguns trechos, inferior a este valor. Já em relação a base do pavimento, o DNIT recomenda que a espessura mínima para a compactação das camadas granulares seja de 10cm, o que não acontece na área de estudos. Por esses motivos,

o pavimento está mais vulnerável à presença de patologias, como pode ser observado na Figura 34.

Figura 34: Peça do pavimento e panela presente na área de estudo.



Fonte: O autor.

Além disso, ainda que não tenha sido feito um estudo do tráfego, temos o conhecimento de que se trata de uma via que dá acesso a área rural e existem fazendas produtoras de café ao redor do pavimento. Com isso, podemos presumir que exista um tráfego de veículos pesados e maquinários na via, que conseqüentemente pode ser dado como mais uma das causas para o surgimento de defeitos no pavimento.

6.3. Avaliação da Qualidade do Pavimento

De acordo com o DNIT 006/2003 – PRO, é possível fazer uma Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis por meio do cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG) do pavimento, como apresentado na Tabela 01. Esta avaliação pode ser feita com o propósito de classificar o pavimento de acordo com o Conceito de Deterioração do mesmo, apresentado na Tabela 02.

Na execução desta pesquisa não foi realizado o cálculo do Índice de Gravidade Global da via em análise, pois para que tal possa ser calculado com exatidão é preciso fazer um estudo conciso do pavimento. No entanto, devido a grande presença de patologias do tipo panela, que pôde ser observada através da investigação das imagens coletadas em campo, e das

características de deterioração que o mesmo apresenta, é possível concluir que o pavimento em estudo é classificado como péssimo, seguindo as descrições mencionadas na norma do DNIT 008/2003 apresentada na Tabela 03.

6.4. Alternativas de Intervenção Corretiva e Preventiva

Com base em todos os fatores estudados, podemos concluir que os aspectos causadores das patologias presentes na área de estudo são gerados principalmente devido à má composição do asfalto e ao tráfego de veículos de carga. Devido a esses fatores acontece então a formação das patologias citadas anteriormente, onde a patologia que mais afeta o pavimento é do tipo panela. Em consequência da existência de tantas panelas, o número das outras patologias é menor, pois a panela é efeito da falta de manutenção de outras patologias como, trincas, fissuras e desgaste.

O número de trincas é maior que o de fissuras, e dentre as trincas isoladas a mais presente é a longitudinal. Já com relação as trincas interligadas, não existem muitas, porem quando existem é possível observar que já estão em um estado avançado de deterioração, formando então novas panelas.

A patologia do tipo afundamento pode ser bem observada em alguns trechos da via na trilha de roda, porém a mesma não aparece com frequência na extensão do trajeto. A presença de corrugação no pavimento é baixo, no entanto isso não é bom, pois este número só é baixo devido a grande quantidade de panelas.

No que diz respeito ao desgaste, este existe em grande proporção, o que deduz que se não houver uma intervenção corretiva no pavimento o número de panelas vai aumentar. Durante toda a extensão da via, é possível observar algumas tentativas, não bem-sucedidas, de corrigir as imperfeições existentes utilizando remendos.

Por fim, a patologia escorregamento do revestimento betuminoso não se manifesta com frequência na via. Acredito que pelo fato do trecho ser em uma rodovia, quase não existe a presença do escorregamento do revestimento betuminoso, pois esta patologia é formada onde há uma intensa quantidade de frenagem no mesmo local, o que não acontece com regularidade em rodovias.

Sabendo então quais patologias existem na via e por qual razão tais surgiram ali, é possível afinal estabelecer quais as melhores alternativas para corrigir as imperfeições já

existentes, e após concluir a intervenção corretiva deve ser aplicada formas de prevenir o surgimento de futuras imperfeições no pavimento asfáltico.

Baseado no diagnóstico feito com relação as patologias presentes no asfalto, e seguindo a norma DNIT 008/2003 – PRO apresentada na Tabela 01, podemos afirmar que a alternativa de intervenção corretiva para a malha viária em análise é a reconstrução. Visto que, a superfície do pavimento asfáltico é classificada como péssima, pois existe a presença de defeitos generalizados com correções prévias em toda a extensão da mesma, além de existir degradação do revestimento e das demais camadas.

Posteriori a aplicação da intervenção corretiva sugerida, devem ser tomadas medidas para intervenção preventiva, buscando manter a via em ótima ou boa qualidade para a utilização dos usuários. Essa medida de intervenção preventiva pode ser realizada com uma simples conservação rotineira ou, caso necessário, aplicação de lama asfáltica.

7. CONCLUSÃO

O uso de pavimento asfáltico para o deslocamento de veículos de carga e pessoal é de suma importância para o desenvolvimento do país, pois a malha viária, quando em boas condições, proporciona um maior conforto no deslocamento e mais segurança ao usuário em circunstâncias de pista úmida ou molhada. Diante disso, para que a via cumpra com sua finalidade, é crucial que sejam aplicadas estratégias que visam manter a qualidade da pista em bom estado e prolongue sua vida útil.

Para que tais estratégias sejam elaboradas, devem ser feitos estudos da composição referente ao pavimento estudado, do tráfego que passa pela via e da ação do intemperismo que a pista sofre. Consequentemente, é possível deduzir quais os tipos de patologia que podem vir a se manifestar no pavimento asfáltico e como deve ser feita a sua manutenção. Porém, antes que sejam executadas técnicas de correção do pavimento, deve ser realizado uma análise que demonstre quais imperfeições existem na malha viária.

O emprego da fotogrametria na obtenção de imagens pertencentes ao pavimento asfáltico vem sendo aplicado com o intento de adquirir informações que auxiliam na busca de imperfeições na via. É pertinente destacar que um maior número de dados relativos à malha viária pode ser crucial para uma análise acurada. Dessa forma, podemos inferir que o uso de métodos da fotogrametria aérea e terrestre é essencial para um estudo conciso da via.

Além da utilização de dois métodos da fotogrametria nos proporcionar um rico banco de dados referente ao pavimento, ainda nos é disposto informações com pontos de perspectivas

diferentes. Esse fator pode ser fundamental para o reconhecimento de alguma patologia, e também contribuir para a mensuração das imperfeições. Acrescento aqui o benefício do Sistema de gerenciamento para a programação das manutenções e definições de prioridades na gestão das obras (prazos e custos).

Em conclusão, a partir dos resultados obtidos através da análise dos dados gerados, podemos afirmar que a integração entre as imagens obtidas pela ARP e pelo sistema de mapeamento móvel é essencial para que possa ser criado um diagnóstico meticuloso do pavimento asfáltico. Tal diagnóstico possui informações referentes ao tipo de patologias presentes na via, a mensuração de algumas dessas deformações, e os possíveis fatores responsáveis pela aparição das imperfeições. A partir dessas informações foi possível fazer a avaliação da qualidade do pavimento e sugerir alternativas de intervenção corretiva e preventiva para a malha viária estudada neste trabalho.

Por fim, pode se afirmar que o material e métodos empregados na realização deste trabalho servem como apoio para trabalhos futuros de análise de patologias no pavimento asfáltico. Dentre esses possíveis trabalhos destaco: a realização de testes em laboratórios para verificar se o diagnóstico baseado nas imagens está correto; a análise da degradação das superfícies inferiores a camada de revestimento; e um estudo exclusivo para as alternativas de manutenção que devem ser empregadas no pavimento asfáltico.

8. REFERÊNCIAS

BEMIS, S. P. et al. Ground-based and UAV-based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. **Journal of Structural Geology**, v. 69, p. 163-178, 2014.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, p. 504, 2008.

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 3ª. **Reimpressão. PETROBRÁS–Petróleo Brasileiro S/A, ABEDA–Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto. Rio de Janeiro, 2010.**

BOCK, O.; FLAMANT, C.; DUQUESNOY, T. Integrated water vapor estimated by GPS compared to independent observations during MAP. In: **Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere VI**. International Society for Optics and Photonics, 2002. p. 289-299.

BRASIL. ANAC. **Requisitos Gerais para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil**. RBAC-E nº 94. Brasília, 2017.

CASSANIGA, M. J. Detecção de Trincas e Buracos em Estradas Asfaltadas. **Anais do Computer on the Beach**, p. 200-209, 2017.

CHOI, K.; LEE, I. A UAV-based close-range rapid aerial monitoring system for emergency responses. **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci**, v. 38, p. 247-252, 2011.

DA ROCHA, R. S. **Patologias de pavimentos asfálticos e suas recuperações–estudo de caso da Avenida Pinto de Aguiar**. 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE – INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de Pavimentação**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006.

DNIT, DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE, DNIT – TER 005/2003. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2003.

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

DNIT PRO-008. **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

EISENBEIß, H. **UAV photogrammetry**. 2009. Tese de Doutorado. ETH Zurich.

ELLUM, C.; EL-SHEIMY, N. Land-based mobile mapping systems. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, v. 68, n. 1, p. 13-17, 2002.

FERNANDES, RAFAEL AUGUSTO; RODOVIAS, E. M. CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA.

FRITZ, A.; KATTENBORN, T.; KOCH, B. UAV-based photogrammetric point clouds—Tree stem mapping in open stands in comparison to terrestrial laser scanner point clouds. **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci**, v. 40, p. 141-146, 2013.

GALLIS, RBA et al. Mapeamento móvel no Brasil: resultados obtidos com a utilização da unidade móvel de mapeamento digital. **SÉRIE EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba**, v. 2, p. 248-266, 2002.

HUIDROM, L.; DAS, L. K.; SUD, S. K. Method for automated assessment of potholes, cracks and patches from road surface video clips. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 104, p. 312-321, 2013.

KASSER, M.; EGELS, Y. **Digital photogrammetry**. London: Taylor and Francis, 2002.

KIM, T.; RYU, S. K. Pothole DB based on 2D images and video data. **J. Emerg. Trends Comput. Inform. Sci**, v. 5, p. 527-531, 2014.

KRAUS, K. **Photogrammetry: geometry from images and laser scans**. Walter de Gruyter, 2007.

LUHMANN, T. et al. **Close-range photogrammetry and 3D imaging**. Walter de Gruyter, 2013.

NAKAMURA, J. **Pavimento Asfáltico: Os tipos de revestimentos, o maquinário e os cuidados na contratação, projeto e execução**. Dez 2011. Ed. 16.

NASCIMENTO, E. D. I. **Avaliação do nível de serventia e identificação de defeitos em trecho recém-construído da PB-111, entre a cidade de Cacimba de Dentro e a PB-105: estudo de caso**. 2016.

NÓBREGA, E. S. **Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, 2003.

REMONDINO, F. et al. UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives. **International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences**, v. 38, n. 1, p. C22, 2011.

SCARANTO, M.; GONÇALVES, F. P. Manutenção de pavimentos urbanos com revestimentos asfálticos Maintenance of urban asphalt pavements. **Teoria e prática na Engenharia Civil**, n. 12, p. 69-80, 2008.

SILVA, P. F. A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. PINI, 2008.

SUCGANG, N. J.; RAMOS JR, M.; ARRIOLA, N. A. Road surface obstacle detection using vision and LIDAR for autonomous vehicle. In: **Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists**. 2017.

TAO, C. V. Mobile mapping technology for road network data acquisition. **Journal of Geospatial Engineering**, v. 2, n. 2, p. 1-14, 2000.

TAO, C. V.; LI, J. (Ed.). **Advances in mobile mapping technology**. CRC Press, 2007.

TOMMASELLI, A. M. G. et al. **Fotogrametria: aplicações a curta distância**. In: FCT. 1999. p. 147-59.

VISCONTI, T. S. O sistema gerencial de pavimentos do DNER. **Departamento Nacional De Estradas De Rodagem (DNER). Instituto De Pesquisas Rodoviárias (IPR)-Divisão De Apoio Tecnológico. Rio de Janeiro/RJ, 2000.**