

Detecção de Manifestações Patológicas em Pavimento Asfáltico por Meio de Drone

Detection of Pathological Manifestations in Asphalt Pavement by Drone

Eber Luiz Arruda de Carvalho^{*a}; Noelto da Cruz Teixeira^a; Geraldo Antônio Gomes de Almeida^a; Douglas Macena de Carvalho^a

^aInstituto Federal de Mato Grosso. MT, Brasil.

*E-mail: eberarruda9@hotmail.com

Resumo

O uso de pavimento asfáltico para o deslocamento de veículos de carga e pessoas é de grande importância para o desenvolvimento de uma região ou de um país, no qual estratégias que permitem atenuar os problemas constantes na pista de rolamento, prolongando sua vida útil devem ser empregadas. O mapeamento para detecção de manifestações patológicas com o emprego de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) popularizada como drone para estudos na área de pavimentação urbana com a finalidade de manter a qualidade e possibilitar o prolongamento de sua vida útil apresenta, ainda, em estágio inicial no sistema de transporte brasileiro. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é identificar as imperfeições mais comuns em um trecho pavimentado da Avenida Archimedes Pereira Lima na cidade de Cuiabá-MT e verificar a eficácia da câmera RGB (*Red, Green e Blue*) na identificação dos defeitos encontrados de acordo com a Norma DNIT 005/2003 –TER (Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos Terminologia). Foram identificadas manifestações patológicas como panelas, desgastes, remendos e trincas e foram comparadas medidas de distâncias tomadas na imagem fotogramétrica com as medidas efetuadas na via pavimentada com revestimento asfáltico para cada manifestação detectada. Os resultados encontrados remetem potencialidade ao drone na detecção destas manifestações patológicas, indicando a falta de conservação e manutenção apropriada da via.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Mavic 2. Revestimento Asfáltico. Cuiabá.

Abstract

The use of asphalt pavement for the displacement of freight vehicles and people is of great importance for the development of a region or a country where strategies that allow to mitigate the constant problems on the roadway, prolonging its useful life must be employed. Mapping to detect pathological manifestations using a Remotely Piloted Aircraft (RPA) popularized as a drone for studies in the area of urban paving in order to maintain quality and enable the extension of its useful life is still at an early stage in Brazilian transport system. In this sense, the objective of this work is to identify the most common imperfections in a paved section of Avenida Archimedes Pereira Lima in the city of Cuiabá-MT and to verify the effectiveness of the RGB camera (Red, Green and Blue) in identifying the defects found according to the Standard DNIT 005/2003 –TER (Defects in flexible and semi-rigid pavements Terminology). Pathological manifestations such as potholes, wear, patches and cracks were identified and distance measurements taken on the photogrammetric image were compared with measurements taken on the road paved with asphalt for each manifestation detected. The results found refer to the drone potential in detecting these pathological manifestations, indicating the lack of conservation and appropriate maintenance of the route.

Keywords: Remote Sensing. Mavic 2. Asphalt Coating. Cuiabá.

1 Introdução

As rodovias brasileiras, em sua grande maioria, apresentam deficiência em serviços de manutenção, fiscalização e conservação e na falta da última, permite o aumento de patologias, responsáveis pelo aumento do custo tanto para o usuário como para os órgãos públicos, bem como a ocorrência de mais acidentes.

De acordo com Grangeiro (2020), a manutenção das rodovias se torna crítica após a época das chuvas locais, causando grandes prejuízos na pavimentação e em suas áreas marginais. Mesmo assim, segundo o mesmo autor, o deslocamento neste modal é imprescindível às pessoas, uma vez que transporta suas informações e mercadorias, e sua manutenção é indispensável, pois a péssima qualidade das rodovias demanda um tempo maior na entrega das

mercadorias.

Segundo a Confederação Nacional do Transporte – CNT (2018), o Brasil possui uma malha rodoviária de 1.750.000 km de extensão e apenas 12% pavimentada, sendo sua principal utilização o transporte de pessoas em uma taxa de 90% e o transporte de carga pesada, representando valores de 60% comparados com os demais meios de transportes.

Após a execução de uma rodovia e sua liberação ao tráfego, de acordo com Souza (2019), iniciam-se os esforços aplicados em sua superfície pelos diversos tipos de veículos automotores, assim como o processo de intemperismo, entre outros, que contribui com a deterioração gradual do pavimento.

Inúmeros defeitos ou patologias encontradas em pavimentos flexíveis foram descritos por Grangeiro (2020)

como: afundamento, corrugação, desgaste, escorregamento, exsudação, trinca, panela e remendo. E, à medida que uma surge, segundo o autor supracitado, é o ponto de partida para que outras surjam em seguida, aumentando a extensão do defeito e de sua gravidade, o que torna necessário o conhecimento de suas características, suas possíveis causas e como solucioná-las.

Em face à ocorrência destas manifestações patológicas e após decorrido um certo tempo de uso deste pavimento, a rodovia necessita ser monitorada, a fim de definir o estado de conservação do pavimento asfáltico e propor soluções adequadas.

Uma das ferramentas introduzidas no mercado, nas últimas décadas, e que vem sendo cada vez mais aplicada em diversos campos da Engenharia são os Veículos Remotamente Pilotados em que o termo vem do inglês *Remotely Piloted Aircraft* (RPA), popularmente chamado de drones e que se encontra em um estágio inicial (Oliveira, 2020).

O drone é considerado uma aeronave não tripulada categorizada como aeromodelo, que possui sistemas embarcados que permitem realizar tarefas autônomas e/ou automatizadas (ANAC, 2021) criado pelo engenheiro israelita Abe Karem na década de 1970 para o uso de militares, sendo atualmente utilizado para diversos fins. Em projeto de pavimentação, alguns trabalhos têm-se dedicado ao levantamento de manifestações patológicas, visando a detecção e identificação de defeitos nos pavimentos asfálticos como nos trabalhos de Souza (2019), Oliveira (2020) e Fernández-Dávalos *et al.* (2021).

Assim, investigar as manifestações patológicas a partir de imagens de drone é o objetivo deste trabalho, a fim de identificar imperfeições mais comuns em um pavimento em um trecho de uma avenida na cidade de Cuiabá, Estado de Mato Grosso.

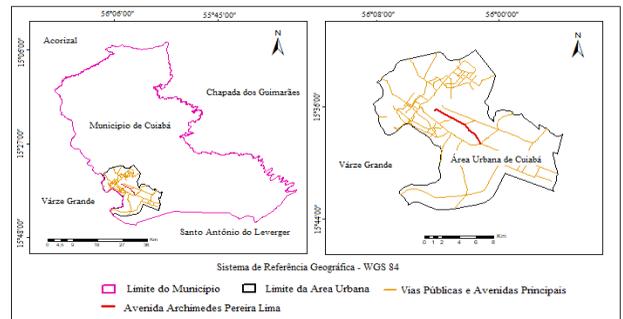
2 Desenvolvimento

2.1 Área de estudo

A Avenida Archimedes Pereira Lima, objeto deste estudo, possui revestimento asfáltico flexível é importante via para o transporte de passageiros e cargas para a região mais ao centro da cidade de Cuiabá.

Para a realização do estudo foi definido um segmento longitudinal com uma extensão de 484 m e transversal de 156 m na via, localizado na área urbana da cidade de Cuiabá entre as coordenadas geográficas de Latitude $15^{\circ}37'41''$ e $15^{\circ}37'50''$ Sul e de Longitude $56^{\circ}01'50''$ e $56^{\circ}01'57''$ Oeste referenciada ao Datum Global WGS 84 como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: os autores.

2.2 Materiais

Para detectar as feições de patologias no trecho escolhido foi utilizado um drone do fabricante DJI, modelo Mavic 2 Pro embarcado com câmeras RGB do espaço eletromagnético do visível.

O referido drone, como mostra a Figura 2, é um multirrotor, pesando aproximadamente, 0,907 kg e é equipado com uma câmera fotográfica de 20 megapixels (capaz de filmar em 4 k/60 fps), com alcance máximo de 8 km. A escolha do equipamento, conforme Fernandes *et al.* (2021), está associado à sua facilidade de uso, estabilidade de voo, qualidade das imagens geradas e preço acessível.

Figura 2 - Drone DJI modelo Mavic 2 Pro utilizado no estudo



Fonte: os autores.

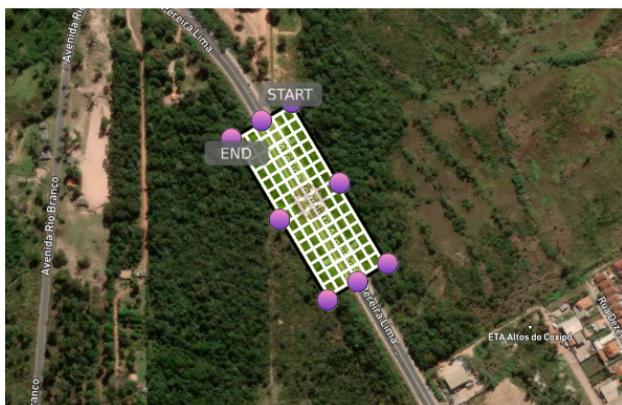
Na obtenção das dimensões das manifestações patológicas foi utilizado uma trena de 5 metros, um Smartphone modelo Moto 6 para fotografar o local e um receptor GPS de navegação modelo *Etrex* para o posicionamento aproximado do ponto de coleta das medidas no trecho da avenida pavimentada.

Os tipos de manifestações patológicas utilizadas neste estudo foram estabelecidos, conforme a Norma DNIT 005/2003, que trata dos defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos a saber as trincas, afundamentos plásticos ou consolidados, ondulações, panelas, exsudação, desgastes, remendos e trilhas de rodas. Entre as patologias citadas foram analisados os seguintes tipos: panelas, desgastes, remendos e trincas (DNIT, 2019).

2.3 Metodologia

Como etapa inicial do planejamento de voo foi realizado o plano de voo com o aplicativo Pix4D. Com o uso deste aplicativo foi realizada uma missão de sobrevoo cruzado, a fim de alcançar maior precisão e detalhamento das manifestações patológicas a partir de imagens extraídas da Figura 3.

Figura 3 - Missão de sobrevoo do trecho da Avenida Archimedes Pereira Lima



Fonte: os autores.

A fim de reduzir o tempo de voo em função da autonomia proporcionada pela duração da bateria, buscou-se configurar a missão, adotando o ponto inicial (*start*) mais próximo do ponto final (*end*) do sobrevoo que possibilitou um menor deslocamento da aeronave, como mostra a Figura 3.

Foi possível, também, parametrizar a missão em função da resolução espacial, da taxa de sobreposição longitudinal e lateral das imagens, bem como a velocidade, duração, a disposição das linhas de voo e a resolução espacial resultante. Os parâmetros de voo utilizados no presente trabalho podem ser visualizados no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros de voo utilizado no levantamento

Parâmetros	Valores
Altura	50 m
Vel. do Voo	6 m/s
Duração do Voo	18 minutos
Sobreposição longitudinal	80%
Sobreposição Lateral	80%
Número de Fotos	450
Resolução (GSD)	1,25 cm/pixel

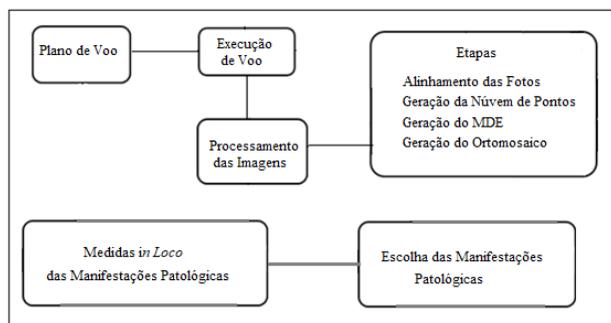
Fonte: dados da pesquisa.

Conforme o Quadro 1, a aeronave sobrevoou a área de estudo a uma altura média de 50 m em relação ao solo com uma velocidade de 6 m/s, tempo de duração de 18 minutos e uma taxa de sobreposição longitudinal e lateral de 80%.

Estes valores interferem diretamente na resolução espacial da imagem, ou seja, a medida no terreno, o GSD (*Ground Sample Distance*), projetada pela dimensão de um pixel da imagem, sendo de maior resolução as imagens que apresentarem menores valores de GSD.

A metodologia utilizada foi delineada de acordo com o fluxograma da Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma metodológico



Fonte: dados da pesquisa.

Após a execução do voo e a aquisição das fotografias aéreas, essas foram processadas no *software Agisoft Metashape* para geração de uma imagem tridimensional (3D), chamada de ortomosaico (AGISOFT, 2018).

Este processo inclui cinco etapas principais: o alinhamento da câmera que gera uma nuvem de pontos esparsa com a combinação de pontos homólogos nas fotografias; a geração de uma nuvem de pontos densa, após a otimização do alinhamento; criação do Modelo Digital de Elevação (MDE); texturização da superfície reconstruída e a geração do ortomosaico (AGISOFT, 2018).

Em adição ao levantamento aéreo, foram consideradas cinco posições referentes às medidas das feições dos diversos tipos de manifestações patológicas observadas *in loco*, com o propósito de comparação posterior com as medidas extraídas das imagens do aerolevante realizado com o drone (ortomosaico), além de verificar a sua eficácia na identificação dos defeitos encontrados no pavimento da avenida estudada.

2.4 Resultados e discussão

De posse da observação visual das manifestações patológicas na imagem final obtida do processamento (ortomosaico), como mostra a Figura 5, foram averiguados cinco tipos de manifestações patológicas a seguir com definições e características, de acordo com DNIT (2019).

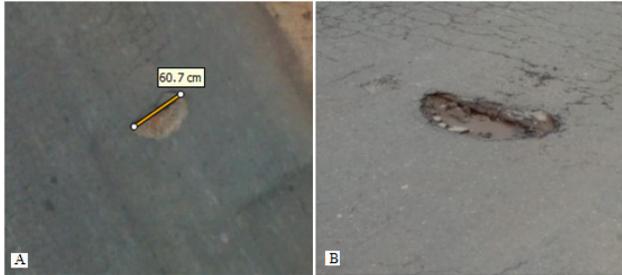
Figura 5 - Ortomosaico e os pontos de coleta de manifestações patológicas



Fonte: dados da pesquisa.

Na Figura 6A foi identificada a patologia do tipo panela na imagem e utilizando a ferramenta do *Agisoft*, mediu-se um comprimento de 60,7 cm para o segmento reto e o seu correspondente *in loco* no pavimento de 61,7 cm (Figura 6B), apresentando uma diferença de 1,0 cm.

Figura 6 - Levantamento de manifestação patológica tipo panela: em (A) vista na imagem, em (B) na fotografia *in loco*



Fonte: dados da pesquisa.

Um outro tipo de manifestação patológica muito comum encontrado em pavimentos é o desgaste, cujo defeito apresenta efeito do arrancamento progressivo do agregado no pavimento.

Na Figura 7A foi computada uma medida de comprimento de 166 cm referente à manifestação patológica desgaste na imagem e seu correspondente no pavimento de 164 cm (Figura 7B), sofrendo uma variação de 2 cm.

Figura 7 - Levantamento de manifestação patológica tipo desgaste: em (A) vista na imagem, em (B) na fotografia *in loco*



Fonte: os autores.

A manifestação patológica do tipo remendo é um tipo de defeito caracterizado pelo preenchimento de panelas ou de qualquer outro orifício ou depressão com massa asfáltica, identificada no campo, conforme a Figura 8, e serve para indicar possíveis serviços de manutenção já executados na via e se destaca pelas suas bordas acima do nível do pavimento e quando mal executada, segundo Barros Filho *et al.* (2020), o remendo pode ser considerado uma manifestação patológica.

Figura 8 - Levantamento de manifestação patológica tipo remendo: em (A) vista na imagem, em (B) na fotografia *in loco*



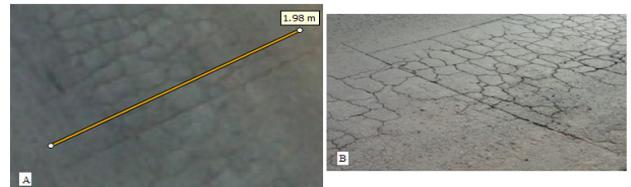
Fonte: os autores.

Por último, foi identificada a manifestação patológica de

conformações geométricas lineares do tipo trincas transversais e quando isoladas apresentam direções predominantemente ortogonais ao eixo da via e interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré como mostra a Figura 9 e 10, respectivamente.

Nesse sentido, foi verificada uma trinca transversal, conforme a Figura 9, e se obteve medida de extensão igual a 198 cm na imagem (Figura 9A) e sua correspondente na superfície pavimentada de 205 cm como mostra a Figura 9B com diferença de 7,0 cm.

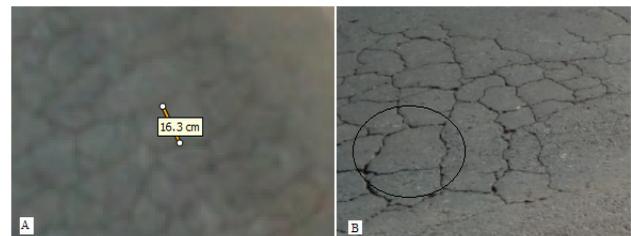
Figura 9 - Levantamento de manifestação patológica tipo trinca transversal: em (A) vista na imagem, em (B) na fotografia *in loco*



Fonte: os autores.

Na Figura 10, foi observada uma medida de 16,3 cm referente à manifestação patológica trinca interligada tipo couro de jacaré na imagem (Figura 10A), cujo defeito antecipa a formação de panela, em função da remoção do revestimento ou mesmo de parte da base perante ação do tráfego e intempéries (Haiden, 2018), contra uma dimensão de 16 cm na superfície pavimentada (Figura 10B), registrando uma diferença de 0,30 m.

Figura 10 - Levantamento de manifestação patológica tipo trincas interligadas: em (A) vista na imagem, em (B) na fotografia *in loco*



Fonte: os autores (2022).

O Quadro 2 e a Figura 11 se referem às medidas realizadas na imagem levantada com o drone e suas correspondentes feitas na superfície do pavimento, respectivamente.

Quadro 2 - Medidas realizadas na imagem e na superfície do pavimento

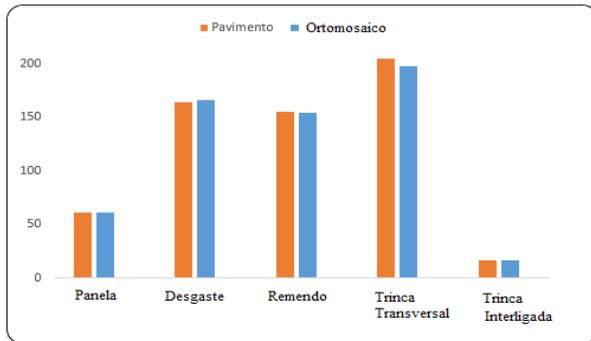
Manifestações Patológicas	Pavimento (cm)	Imagem (cm)	Diferenças (cm)
Panela	61,50	60,70	0,80
desgaste	164,00	166,00	2,00
Remendo	155,00	154,00	1,00
Trinca Transversal	205,00	198,00	7,00
Trinca Interligada	16,00	16,30	0,3

Fonte: dados da pesquisa.

Pode-se observar que as diferenças detectadas nas medidas referentes às manifestações patológicas panela (0,8 cm) e

trinca interligada (0,3 cm) apresentaram menores variações, apesar da menor nitidez apresentada pela trinca interligada em relação à panela, seguida da manifestação patológica remendo (1 cm) e desgaste (2 cm) em que essas sofreram variações intermediárias. Já a manifestação patológica trinca transversal registrou uma maior variação (7 cm).

Figura 11 - Comparação entre medidas de manifestação patológica na superfície pavimentada *versus* imagem



Fonte: dados da pesquisa.

A Figura 11 exemplifica uma comparação visual entre as medidas retiradas da imagem e da superfície pavimentada, em que se pode notar variações pouco perceptíveis com exceção da manifestação patológica trinca transversal que registrou uma maior variação.

3 Conclusão

O estudo revela patologias como painéis, desgastes, remendos e trincas, decorrentes de problemas como a falta de conservação e manutenção apropriada da via pavimentada.

Os resultados encontrados confirmam a potencialidade do drone na detecção dessas manifestações patológicas, podendo colaborar no aperfeiçoamento e confiabilidade de um sistema de gerência de pavimentos no ambiente urbano, a partir da identificação dos defeitos de superfície.

Como sugestão para futuros trabalhos, a fim de obter melhor resolução espacial da imagem e maior precisão nas medidas, indica-se utilizar câmeras multiespectrais e pontos de controle posicionados na área de estudo com posicionamento por satélite o que torna os levantamentos com drones mais eficientes.

Destaca-se, também, a possibilidade de aplicação dos métodos relacionados às Normas DNIT 006/2003 - PRO e DNIT 009/2003 – PRO como ferramentas utilizadas para inventário e correções das diversas manifestações patológicas incidentes em pavimentos asfálticos flexíveis e rígidos.

Referências

- AGISOFT. Agisoft PhotoScan User Manual, Professional Edition. Versão 1.4 (2018).
- ANAC-Agência Nacional de Aviação Civil. Drones. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/páginas-tematicas/drones>. Acesso em: 4 jul. 2023.
- BARROS FILHO, A.H.Q. *et al.* Patologias encontradas na rodovia de pavimento flexível BR101 Sul km 80 a 82 no município de Joãoatã dos Guararapes-Pe e adjacências: uma análise crítica. *Rev. Acta Sci.*, v.2, n.2, p.51-66, 2020.
- CNT - Confederação Nacional dos Transportes. Transporte & Desenvolvimento: Transporte Rodoviário de Passageiros em Regime de Fretamento. Brasília: CNT, 2018.
- DNIT, Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia, Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/terminologia-ter/dnit005_2003_ter.pdf. Acesso em: 5 jun. 2024.
- FERNÁNDEZ-DÁVALOS, A.K. *et al.* Análisis comparativo entre los programas Agisoft PhotoScan y Pix4Dmapper para la identificación de fallas en pavimento flexible usando Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs). In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIAS E REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES. Fortaleza, Brasil, 2021.
- FERNANDES, R.T.V. *et al.* Mapeo de manifestaciones patológicas en pavimento asfáltico por medio del uso de drones. *Rev. ALCONPAT*, v.11, n.1, p.61-72, 2021.
- GRANGEIRO, S.L.S. Análise estatística do índice de condição da manutenção em rodovias federais para o Estado do Ceará. Fortaleza: UNICHRISTUS, 2020.
- HADEN, A.M.H. Manifestações patológicas de pavimento asfáltico – estudo de caso: rodovia pr-323 – km 175 a km 179. Maringá: UNICESUMAR, 2018.
- OLIVEIRA, F.H.L.; ARANTES, A.E.; LIMA NETO, P.S. Estudo de método para identificação de painéis e remendos em pavimentos urbanos com a utilização de UAS quadrrirrotor. *Rev. Technol.*, v.41, n.2, p.1-14, 2020.
- SOUZA, N.G.A. Utilização de Imagens Terrestres e Aérea para a Identificação de Imperfeições no Pavimento Asfáltico. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2019.