

UTILIZAÇÃO DE DRONES PARA IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS E CONSTRUÇÃO DE MODELAGEM 3D DE FACHADAS HISTÓRICAS EM SÃO LUÍS - MA

**Sarah Sophia da Silva Pinto¹, Alison Costa Maciel², Bruno Leonardo Silva Carvalho
Amorim³, Jose Renato de Oliveira Lima⁴**

¹ *Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, sarahsophiapinto@gmail.com*

² *Faculdade do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, eng.alisonmaciel@gmail.com*

³ *Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil,
leonardo.bruno@discente.ufma.br*

⁴ *Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, renato.jose@ufma.br*

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo analisar a importância da utilização de drones para identificação de patologias em fachadas de prédios históricos de São Luís - MA. O referencial teórico apresenta conceitos relacionados à patologias, manifestações patológicas e técnicas de inspeção não destrutivas levando em consideração a necessidade de preservação de prédio tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), Palácio das Lágrimas, construído no século XIX. A metodologia utilizada trata-se de uma revisão sistemática da literatura, que busca selecionar, analisar e sintetizar as principais informações sobre o tema e a apresentação de um estudo de caso. Acerca dos resultados e discussões, realizou-se uma análise dos dados obtidos e correlação com as patologias observadas, bem como a construção da modelagem 3D da fachada do prédio escolhido. A conclusão destaca a importância da utilização de técnicas de inspeção não destrutivas e sugestões para estudos futuros. Em suma, o presente trabalho contribui para a compreensão acerca da utilização da inspeção visual com a utilização de VANTs para identificação de patologias na construção civil como um diferencial para a garantia da segurança e eficiência das fachadas de edificações históricas.

Palavras-chave: Inspeção não destrutiva. Preservação. Palácio das Lágrimas. Edificações históricas.

USE OF DRONES FOR IDENTIFICATION OF PATHOLOGIES AND CONSTRUCTION OF 3D MODELING OF HISTORICAL FACADES IN SÃO LUÍS - MA

**Sarah Sophia da Silva Pinto¹, Alison Costa Maciel², Bruno Leonardo Silva Carvalho
Amorim³, Jose Renato de Oliveira Lima⁴**

¹ *Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, sarahsophiapinto@gmail.com*

² *Faculdade do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, eng.alisonmaciel@gmail.com*

³ *Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil,*

leonardo.bruno@discente.ufma.br

⁴ *Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, renato.jose@ufma.br*

Summary: This study aims to analyze the importance of using drones to identify pathologies on the facades of historic buildings in São Luís - MA. The theoretical framework presents concepts related to pathologies, pathological manifestations and non-destructive inspection techniques, taking into account the need to preserve a building listed by the National Institute of Historic and Artistic Heritage (IPHAN), Palácio das Lágrimas, built in the 19th century. The methodology used is a systematic literature review, which seeks to select, analyze and synthesize the main information on the subject and the presentation of a case study. Regarding the results and discussions, an analysis of the data obtained and correlation with the observed pathologies was carried out, as well as the construction of the 3D modeling of the facade of the chosen building. The conclusion highlights the importance of using non-destructive inspection techniques and suggestions for future studies. In short, this study contributes to the understanding of the use of visual inspection with the use of UAVs to identify pathologies in civil construction as a differential to guarantee the safety and efficiency of the facades of historic buildings.

Key words: Non-destructive inspection. Preservation. Palace of Tears. Historic buildings.

INTRODUÇÃO

Conforme Caporrino (2018), o termo patologia em construções refere-se à ciência que estuda os defeitos e falhas em edificações. A manifestação patológica trata-se da expressão visível desses problemas nas construções. Segundo Villegas Cabredo (2009), o estudo da patologia pode ser dividido em três etapas, comparáveis a atos de uma peça teatral: identificação do problema, investigação e, quando viável, reabilitação da estrutura.

O primeiro passo consiste na observação da existência do problema, quando o técnico se depara com manifestações patológicas, também chamadas de sintomas, lesões, danos ou defeitos, que indicam possíveis falhas estruturais (Helene, 1992). Em seguida, ocorre a investigação, baseada em etapas como reconhecimento, pré-diagnóstico, investigação detalhada e diagnóstico, exigindo profundo conhecimento técnico e experiência para identificar corretamente as causas do problema (Gonçalves, 2004). Por fim, propõe-se a terapêutica adequada, ou seja, a intervenção que visa reparar ou reforçar a estrutura afetada, garantindo sua segurança.

As patologias podem ser classificadas segundo as partes principais de um edifício: local de implantação, envoltória, interiores, estrutura e fundações (Cóias, 2006). Dentre as causas mais comuns estão: falhas na execução, armazenamento inadequado de materiais, descumprimento de normas técnicas, manuseio impróprio de equipamentos e deficiência na capacitação da mão de obra.

Nesse contexto, o uso de técnicas de identificação de patologias torna-se fundamental para a garantia da integridade, segurança e durabilidade das edificações, especialmente quando se trata de imóveis históricos, cuja conservação é crucial. A detecção precoce de falhas pode evitar acidentes, reduzir custos de manutenção e preservar o patrimônio cultural. Um exemplo comum de manifestação patológica crítica ocorre nas fundações, elementos essenciais à estabilidade do edifício, cuja degradação pode causar deslocamentos, trincas e até colapsos (Pereira, 2020).

Técnicas não destrutivas, como inspeção visual, termografia e ultrassonografia, são cada vez mais utilizadas para investigar tais patologias. A inspeção visual, por exemplo, trata-se do primeiro passo no diagnóstico de falhas construtivas, permitindo a identificação prévia de danos em sistemas ou componentes (Gil *et al.*, 2015). Conforme Cyrino (2015), a termografia utiliza variações de temperatura para detectar anomalias em materiais, sendo especialmente útil em estruturas sensíveis, como prédios históricos. Enquanto, a

ultrassonografia, serve para examinar internamente materiais opacos ou de difícil acesso, como tubos ou dutos (Lionetto, 2021).

Fachadas de edificações históricas frequentemente apresentam diversas patologias causadas por envelhecimento, ações climáticas ou interferência humana. Estudos de caso, como os realizados em Recife (Museu da UNICAP) e Guadalupe (PI), revelaram trincas, descolamentos e bolores em edifícios históricos, identificados por meio de inspeções visuais e registros fotográficos (Belon, 2019).

O uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs), como drones, vem se consolidando como alternativa eficiente para inspeções em locais de difícil acesso. Além de reduzir custos e tempo, os VANTs também proporcionam diagnósticos mais objetivos e precisos. Segundo Takeda *et al.* (2018), a combinação entre termografia e drones permite identificar manifestações ocultas em fachadas, ampliando o alcance da inspeção visual tradicional.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo geral desenvolver e aplicar uma técnica de inspeção não destrutiva por meio de drones para detecção e identificação de patologias em fachadas de prédios históricos localizados em São Luís (MA). Especificamente, pretende-se levantar informações sobre metodologias de inspeção com VANTs; analisar imagens captadas para identificar sinais patológicos como fissuras e umidade; construir modelagens 3D das fachadas analisadas; e avaliar a eficácia da técnica na preservação de bens históricos da cidade.

A justificativa deste estudo baseia-se na relevância social e cultural da preservação do patrimônio histórico, que exige métodos eficazes para a identificação precoce de falhas estruturais. Considerando a dificuldade de acesso e a sensibilidade dessas construções, a inspeção com drones destaca-se como uma solução promissora, por ser não destrutiva, precisa e economicamente viável. A pesquisa busca, portanto, contribuir para o aperfeiçoamento das práticas de conservação de edifícios históricos, especialmente em contextos urbanos como o do centro histórico de São Luís, onde se concentra grande parte do acervo arquitetônico colonial brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa metodológica integra duas abordagens complementares para a análise de manifestações patológicas em edificações históricas: a inspeção visual tradicional e a tecnologia de voo não tripulado (VANT). A investigação foi realizada no Centro Histórico de

São Luís, Maranhão, utilizando um drone DJI Phantom 4 Advanced especificamente configurado para capturar imagens de alta qualidade.

O equipamento foi selecionado por suas características técnicas avançadas, que incluem câmera de alta resolução com sensor de imagem de 1 polegada, capacidade de captura de 20 megapixels, sistema de estabilização mecânica de 3 eixos e distância focal variável com zoom óptico. Para garantir a máxima qualidade nas imagens capturadas, foram adotados parâmetros técnicos específicos: ISO entre 100-400, velocidade mínima de obturação de 1/500s e formato RAW para preservação máxima dos dados da imagem.

O processo de utilização do equipamento foi estruturado em três fases principais. Na fase de configuração, os parâmetros técnicos foram ajustados para otimizar a qualidade da captação, com especial atenção ao controle do ruído digital e à estabilização do movimento. A fase de captura de dados foi realizada em altitude entre 30-40 metros, com overlap de 80% entre fotografias adjacentes e intervalo de disparo de 2 segundos, seguindo um padrão de voo sistemático pré-programado.

A fase de análise envolveu o processamento das imagens RAW com software especializado, aplicação de correção radiométrica e georreferenciamento preciso das imagens para contextualização espacial. O processo culminou na geração de modelos 3D para análise tridimensional das edificações, permitindo a identificação de anomalias não perceptíveis a partir do solo, como microfissuras em coberturas e zonas de umidade.

Durante as operações, foram consideradas as particularidades do ambiente urbano histórico, mantendo-se distâncias seguras das edificações e respeitando-se as restrições de voos em áreas urbanas densas. A equipe técnica realizou monitoramento constante das condições meteorológicas e do tráfego aéreo, garantindo a segurança tanto das operações quanto do patrimônio cultural sob investigação.

Os resultados foram organizados em categorias conforme o tipo e a gravidade das patologias identificadas, permitindo a formulação de recomendações técnicas para intervenções corretivas ou preventivas baseadas nos mecanismos causadores das manifestações e nas limitações identificadas para o uso de tecnologias como drones em ambientes urbanos com forte influência climática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A edificação histórica em análise, conhecida como Palácio das Lágrimas, apresenta tipologia construtiva tradicional, com predominância de alvenaria em pedra e argamassa, revestimentos antigos e esquadrias de madeira, configurando um conjunto sensível à ação de agentes físicos, químicos e biológicos. As condições climáticas da cidade de São Luís (MA), marcada por alta umidade relativa do ar, chuvas frequentes e intensa radiação solar, agravam os processos de degradação em fachadas expostas e com manutenção deficiente.

A inspeção técnica foi conduzida com apoio de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), modelo DJI Phantom 4 Advanced, que operou com rota programada para a captação de imagens em alta resolução, em diferentes ângulos e distâncias da envoltória da edificação. O uso do drone seguiu os princípios da boa prática em engenharia diagnóstica, priorizando a segurança do operador, a não interferência no bem edificado e a captação sistemática de dados visuais objetivos. Os voos foram realizados com parâmetros de altitude e sobreposição otimizados para gerar um modelo tridimensional da fachada e permitir o mapeamento detalhado das patologias.

Mapeamento das Patologias Construtivas

A análise técnica das imagens revelou a ocorrência de diferentes manifestações patológicas, agrupadas conforme a origem e o mecanismo de deterioração. A seguir, descrevem-se as principais anomalias identificadas: patologias por umidade ascendente e descendente, fissuração em revestimentos e substratos, delaminação e descolamento de revestimentos, crescimento biológico e vegetação invasiva e degradação de elementos em madeira.

As regiões inferiores da fachada apresentaram manchas escuras, eflorescência salina, bolores e mofo superficial, com padrões característicos de umidade ascendente por capilaridade. Já nas cornijas e beirais, observou-se infiltração descendente, associada à falha nos sistemas de escoamento pluvial e ausência de elementos de proteção (pingadeiras, rufo e calha). Tais manifestações são compatíveis com os padrões descritos por Silva *et al.* (2021), que indicam a umidade como principal vetor de degradação em edificações históricas localizadas em ambientes tropicais.

Foram observadas fissuras longitudinais e ramificadas nos revestimentos de argamassa, concentradas próximas a vãos de esquadrias e transições entre elementos

construtivos. Essas fissuras indicam movimentações diferenciais da estrutura, possivelmente associadas a recalques localizados, variações térmicas e ausência de juntas de dilatação — conforme discutido por Freitas *et al.* (2021), ao abordar patologias em edificações antigas com fundações superficiais e materiais rígidos.

Em diversas áreas, o revestimento de argamassa e pintura apresentava perda de aderência ao substrato, resultando em delaminação, estufamento e posterior deslocamento. Tal fenômeno é frequentemente potencializado por ciclos de umedecimento e secagem, conforme destacado por Cortizo (2007), que relaciona esses processos ao intemperismo acelerado em superfícies expostas.

Registrou-se o desenvolvimento de vegetação espontânea em frestas, platibandas e regiões com acúmulo de água. A literatura especializada (MARTINS *et al.*, 2019) indica que esse tipo de manifestação é agravado pela ausência de manutenção e pela retenção de umidade, favorecendo micro ambientes propícios à ação biológica.

As esquadrias e adornos em madeira encontravam-se com ataques por fungos e insetos xilófagos, apresentando coloração escurecida, apodrecimento, falhas estruturais e comprometimento funcional. Conforme Oliveira (2019), a madeira em edificações históricas é altamente vulnerável quando exposta à umidade crônica e sem proteção adequada, exigindo tratamentos específicos e inspeções periódicas.

As Figuras 1 a 3 demonstram os registros obtidos durante o voo técnico, com destaque para os pontos críticos detectados.

Figura 1. Fachada frontal do Palácio das Lágrimas.



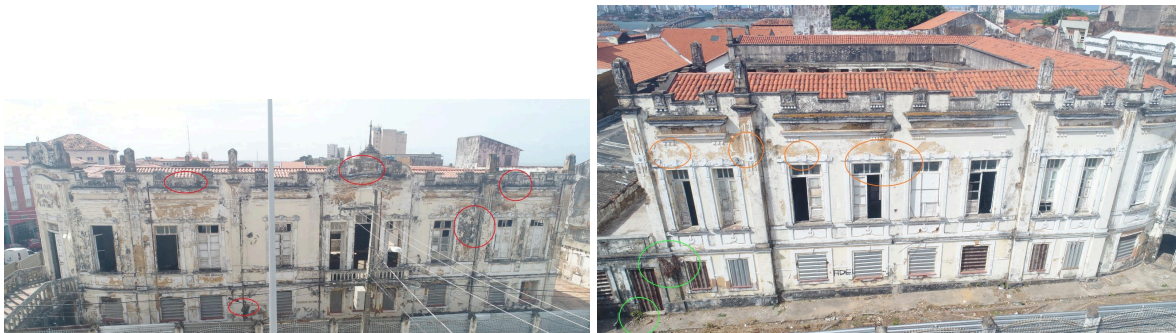
Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 2. Fachada lateral do Palácio das Lágrimas.



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 3. Patologias nas laterais do Palácio das Lágrimas.

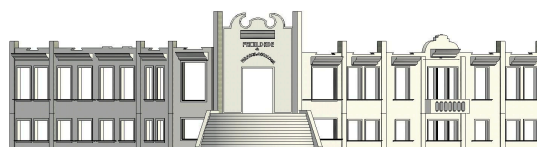


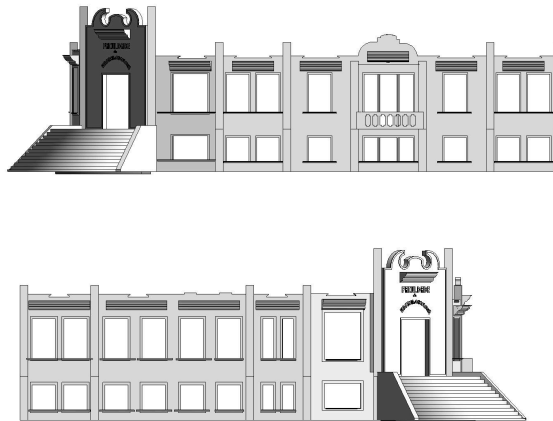
Fonte: Autoria própria (2023)

Modelagem Digital da Fachada

Com base nas imagens ortoretificadas obtidas por VANT, foi elaborada a modelagem tridimensional da fachada por meio do software Autodesk Revit, conforme Figura 4. O modelo permitiu a representação geométrica precisa da envoltória da edificação, com marcação das regiões afetadas por patologias, o que contribui significativamente para o planejamento de intervenções corretivas e preventivas.

Figura 4. Representação panorâmica do modelo 3D da fachada.





Fonte: Autoria própria (2023)

Essa abordagem encontra respaldo em estudos como os de Teixeira e Nogueira (2023), que destacam a eficiência da integração entre modelagens digitais e inspeções visuais por drones como forma de otimizar o planejamento e a execução de projetos de reabilitação, além de favorecer a preservação da memória arquitetônica.

Considerações técnicas sobre o uso de VANTs

O uso de drones em inspeções prediais, especialmente em contextos patrimoniais, representa uma boa prática consolidada na engenharia diagnóstica contemporânea. Segundo a IPTEC (2023), os VANTs proporcionam maior confiabilidade aos diagnósticos, ao eliminar pontos cegos e permitir a análise visual contínua de grandes áreas com alto nível de detalhe. Entre as vantagens observadas neste estudo, destacam-se:

- Segurança operacional, eliminando a necessidade de andaimes ou plataformas elevatórias;
- Alta resolutividade visual, com possibilidade de ampliar e analisar micro detalhes a partir de registros ortofotografias;
- Agilidade e padronização, com redução de tempo de inspeção e maior reprodutibilidade dos dados;
- Acesso a áreas críticas, sem impacto físico sobre a edificação;
- Integração com plataformas digitais, como sistemas CAD/BIM e bancos de dados patrimoniais.

Essas constatações estão em consonância com Moutinho (2015), que reforça a aplicabilidade de drones multirotores para inspeções detalhadas em ambientes urbanos, especialmente em estruturas verticais e fachadas ornamentadas, como as presentes no centro histórico de São Luís.

Além disso, a metodologia aplicada neste estudo possibilita o monitoramento periódico da evolução das patologias, contribuindo para estratégias de manutenção preditiva, fundamental na conservação preventiva de bens históricos, como já defendido por Noorali Shahi et al. (2021) em inspeções automatizadas de patrimônios arquitetônicos.

CONCLUSÃO

A utilização de drones na identificação de patologias na construção civil representa um avanço significativo na garantia da segurança, eficiência e qualidade das edificações, sobretudo no caso de construções históricas. Por se tratar de um método de inspeção não destrutivo, essa tecnologia contribui para a prevenção de problemas estruturais, assegura a integridade dos elementos construtivos e favorece a preservação contínua do patrimônio arquitetônico.

A inspeção por drones demonstrou ser uma técnica eficiente e eficaz na detecção de manifestações patológicas em fachadas de prédios históricos. A captura de imagens em alta resolução permite identificar e mensurar danos em regiões de difícil acesso e, muitas vezes, imperceptíveis a olho nu, reduzindo a subjetividade da inspeção visual convencional e complementando o diagnóstico técnico.

Nesse contexto, a modelagem 3D das fachadas surge como ferramenta estratégica para a elaboração de mapas de danos, facilitando o planejamento e direcionamento das ações de conservação e restauração. Ressalta-se, portanto, a importância de uma análise criteriosa das patologias construtivas, bem como o domínio das técnicas e tecnologias adequadas para sua identificação e tratamento, de modo a preservar a memória histórica e arquitetônica das edificações para as futuras gerações.

REFERÊNCIAS

Aero Engenharia. O que é : Estabilidade de Voo dos Drones. Publicado em: 01 Ago. 2023.
Disponível em:
<https://aeroengenharia.com/glossario/o-que-e-estabilidade-de-voo-dos-drones/>.

Aero Engenharia. Quais são os 7 benefícios dos Drones em Inspeções de Infraestrutura.

Publicado em: 01 Set. 2023. Disponível em:

<https://aeroengenharia.com/glossario/quais-sao-os-7-beneficios-dos-drones-em-inspecoes-de-infraestrutura/>

BELON, K. Manifestações patológicas nas construções pela presença de umidade: uma revisão bibliográfica. 4º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções (4º SPPC), artigo 4SPPC114, pp. 112 – 123, 2019. DOI: 10.4322/2526-7248.034

CABREDO, Luis V. (2009). Patología de la Construcción o una "Obra en Três Actos". 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, PATORREB 2009. Porto, FEUP.

CAPORRINO, C. F. Patologias em Alvenaria. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

CÓIAS, V. (2006). Inspeções e Ensaio na Reabilitação de Edifícios. Lisboa, IST PRESS.

DA Inspeções. Ensaio não destrutivo por inspeção visual – quais as vantagens? Publicado em: 27 Nov. 2023. Disponível em:

<https://deainspecoes.com.br/blog/inspecao/ensaio-nao-destrutivo-por-inspecao-visual-quais-as-vantagens/>.

Freitas, A.R., Ferreira, S.S., Sousa, M.V., & Costa, J.V. (2021). PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES E OS PRÉDIOS DO CENTRO HISTÓRICO DE SÃO LUÍS. Disponível em:

<https://www.semanticscholar.org/paper/PATOLOGIAS-DAS-CONSTRU%C3%87%C3%95E-S-E-OS-PR%C3%89DIOS-DO-CENTRO-Freitas-Ferreira/fb6978f3782331ec5b55d5fa6e3b2bc30c05d11c>.

Gil, Augusto & Prager, Gustavo & Fernandes, Bruno & Pacheco, Fernanda & Tutikian, Bernardo. (2015). Análise das manifestações patológicas em uma edificação do patrimônio histórico por meio de termografia infravermelha e inspeção visual – estudo de caso.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/319015975_ANALISE_DAS_MANIFESTACOES_PATOLOGICAS_EM_UMA_EDIFICACAO_DO_PATRIMONIO_HISTORICO_POR_MEIO_DE_TERMOGRAFIA_INFRAVERMELHA_E_INSPECAO_VISUAL_-_ESTUDO_DE_CASO.

HELENE, Paulo R. L. (1992) Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. São Paulo: Pini.

LIONETTO, Francesca. Ultrasound for Material Characterization and Processing. Publicado em: 12 Jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14143891>. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8304300/>.

OLIVEIRA, Damião Gomes. Ensaio não destrutivos: fundamentos e aplicações. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, 2019.

OLIVEIRA, Gustavo et al. Análise de fissuras em alvenaria de vedação – Estudo de caso: UEMG – Unidade de João Monlevade. *Research, Society and Development*, vol. 8, núm. 12, pp. 01-22, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i12.1617 Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5606/560662203039/html/>.

Nooralishahi, P.; Ibarra-Castanedo, C.; Deane, S.; López, F.; Pant, S.; Genest, M.; Avdelidis, N.P.; Maldague, X.P.V. Drone-Based Non-Destructive Inspection of Industrial Sites: A Review and Case Studies. *Drones* 2021, 5, 106. <https://doi.org/10.3390/drones5040106>.

Silva, N. C., Júnior, A. P. N., Gerude, M. S., Pereira, D. R., Bôas, I. do C. C. V., Lagoa, D. C., Neto, O. J. de A. G., & Coelho, G. T. F. (2021). Manutenção corretiva e preventiva em edifícios históricos: estudo de caso no centro histórico de São Luís/MA / Corrective and preventive maintenance in historic buildings: a case study in the historic center of São Luís/MA. *Brazilian Journal of Development*, 7(4), 36951–36967. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-249>.

Silva, Willians & Casado, Alberto & Ruiz, Ramiro & Aquino Rocha, Joaquin. (2021). Inspeção de manifestações patológicas em edifícios utilizando câmera termográfica integrada ao Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT): uma pesquisa documental. *Revista ALCONPAT*. 11. 123-139. 10.21041/ra.v11i1.447.