
INSPEÇÕES ROTINEIRAS EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS COM NOVAS TECNOLOGIAS

Gabriel Mendonça Nossack Rizzo

Leticia Gatti Friolani

Menahem Khafif

Sergio Vicente Denser Pamboukian

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

As obras de artes especiais (OAE) são pontes, pontilhões, viadutos e passarelas. Por causa da importância das OAE, devem-se garantir a integridade física e funcionalidade delas e a segurança dos usuários e da estrutura, que são examinados durante as inspeções rotineiras, preconizadas na Norma Brasileira (NBR) 9452 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). O objetivo foi avaliar como novas tecnologias podem contribuir nas inspeções de OAE. Analisaram-se fotos de câmera termográfica, vídeos realizados por *drones* e uma nuvem de pontos de *laser scanner* com o objetivo de identificar anomalias nas estruturas. Concluiu-se que os equipamentos podem auxiliar na localização de manifestações patológicas e avaliações de variações dimensionais, porém ainda se faz necessária a realização de uma vistoria *in loco* e ensaios para a correta identificação da causa, da origem e do mecanismo de degradação da manifestação patológica.

Palavras-chave: Obra de arte especial. Inspeção rotineira. Novas tecnologias.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Norma Brasileira (NBR) 9452 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2019), obras de arte especiais (OAE) são pontes, pontilhões, viadutos e passarelas. Essas estruturas sofrem ações externas de águas de rios, vento, variações de temperatura e cargas móveis de veículos (trem tipo) e pedestres (Araujo, 2014). Além dos carregamentos, as OAE estão submetidas a mecanismos de degradação por causa da classe de agressividade do meio, conforme NBR 6118 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016a).

Segundo Vitório (2021), as OAE apresentam um valor inestimável devido à sua importância para o desenvolvimento econômico e social do país, sendo o meio de transporte mais utilizado tanto para mercadorias quanto para passageiros. Nesse contexto, a segurança e a funcionabilidade dessas obras devem ser garantidas para evitar o colapso das estruturas e acidentes, que representam riscos aos usuários. Dessa forma, a NBR 9452 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019) preconiza que devem ser realizadas inspeções rotineiras periódicas nas estruturas, conforme determinação de projeto, que podem ou não fazer uso de equipamentos para a coleta de dados.

Segundo o Fórum Econômico Mundial (World Economic Forum, 2016), a produtividade na construção civil está muito abaixo do crescimento visto em outros mercados, considerando o índice de produtividade do trabalho dos Estados Unidos (*index of US labour productivity*). Para tanto, há a necessidade de investimento e inovação nessa indústria, que tem um alto grau de importância para a sociedade. Ainda segundo o Fórum Econômico Mundial (World Economic Forum, 2016), a digitalização dos processos e o desenvolvimento de tecnologias poderão gerar uma economia de 1 a 1,7 trilhão de dólares nos próximos dez anos, em uma escala global.

Visando à segurança da edificação, os dados coletados pelo uso de novas tecnologias podem auxiliar na tomada de decisões, uma vez que trazem informações mais precisas quando comparados às inspeções tradicionais. Algumas das novas tecnologias que podem ser empregadas nesse tipo de inspeção rotineira são *drones*, *laser scanners* e câmeras termográficas, buscando novas contribuições nas inspeções.

Na Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras da cidade de São Paulo (Siurb), há 520 OAE cadastradas, correspondendo a 666 unidades estruturais (São Paulo, 2021). Anualmente, essas estruturas devem ser inspecionadas (visualmente) pela prefeitura.

Segundo a NBR 9452 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019), o procedimento para a realização das inspeções periódicas é visual, sendo opcional o uso de equipamentos para sua realização. Pavi, Bordin e Veronez (2014a, 2014b) ressaltam

que a produtividade das inspeções é baixa e que as obras podem apresentar regiões de difícil acesso, o que pode representar riscos à segurança dos profissionais que fazem esse trabalho.

O objetivo deste trabalho foi identificar como as novas tecnologias podem complementar as inspeções visuais das OAE, analisando a nitidez das imagens geradas, as restrições normativas e as contribuições dos equipamentos para as inspeções.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Manifestações patológicas

Segundo França *et al.* (2011), manifestações patológicas são as degradações identificadas nas edificações que podem ocorrer por falhas de planejamento, projeto e execução ou ainda por causa do longo tempo de utilização da estrutura.

O estudo e o acompanhamento das manifestações patológicas nas estruturas objetivam o alcance da vida útil de projeto, de modo a permitir intervenções preventivas ou corretivas nas obras (Bolina; Tutikian; Helene, 2019). Segundo os autores, o acompanhamento e o diagnóstico de uma manifestação patológica são feitos, inicialmente, por meio de inspeções visuais, cuja frequência é definida em projeto. As inspeções visuais têm como objetivo a observação de sintomas, o mapeamento das anomalias e a constatação da intensidade dos danos. Podem ser utilizados equipamentos como trena, binóculo, *drones*, entre outros, para a coleta de dados e visualização de locais de difícil acesso.

Bolina, Tutikian e Helene (2019) definem mecanismo como a identificação do processo que promoveu a deterioração do material, o que pode ser de natureza química, física ou mecânica. No concreto armado, os principais mecanismos de degradação são a ação dos ácidos, o ataque de sulfatos, a reação álcali-agregado, a corrosão, a carbonatação, o ataque de íons cloreto, a retração, a movimentação térmica, o desgaste superficial, a biodeterioração do concreto, a exposição a altas temperaturas, a extrapolação da capacidade resistente e os mecanismos congênitos de deterioração que estão relacionados ao projeto e à execução. Nas estruturas metálicas, há a corrosão, a fadiga, a exposição a altas temperaturas e os mecanismos congênitos.

2.2 ABNT NBR 9452

A NBR 9452 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019) descreve o procedimento para a inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto, e será utilizada neste trabalho como base para a coleta de dados e posterior classificação da condição das OAE estudadas.

A norma define inspeção rotineira como uma inspeção de acompanhamento periódico e visual, que pode ou não se valer de equipamentos para sua realização. Deve-se atentar aos dados dos relatórios de inspeções anteriores para identificar a evolução, novas ocorrências e o reparo de anomalias. O relatório deve conter as informações básicas das OAE como rodovia e trecho, além de classificação, comentários sobre o estado geral da OAE, ficha de inspeção e registro fotográfico (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019).

A classificação da OAE é concedida de 1 a 5, sendo 1 a condição crítica e 5 excelente. É dada uma nota a cada parâmetro: estrutural, funcional e de durabilidade. Os estruturais são aqueles que podem comprometer a segurança estrutural da OAE, sua estabilidade e capacidade portante. Os parâmetros funcionais estão relacionados com a experiência do usuário, como visibilidade, geometria da obra, guarda-corpo, pista de rolamento e sinalização. Os parâmetros de durabilidade estão associados à vida útil da obra e são definidos como a resistência da estrutura contra ataques de agentes ambientais agressivos.

2.3 *Laser scanner*

Segundo Pavi, Bordin e Veronez (2014a), *laser scanner* é uma técnica não destrutiva e não invasiva, uma vez que o dispositivo é instalado em um tripé (terrestre) ou em bases móveis, como automóveis e *drones*, e faz um escaneamento dos arredores. O resultado é uma nuvem de pontos com as coordenadas (x, y, z) e as cores por meio do RGB (*red, green, blue*), que permitem fazer uma análise tridimensional da estrutura.

O princípio básico desse equipamento é o tempo necessário para que um pulso de laser viaje até uma superfície e volte ao receptor, que faz os cálculos necessários para posicionar os pontos gerados por esse processo nas coordenadas espaciais (x, y, z), que são utilizados para a geração de um modelo digital no formato de nuvem de pontos.

Para a inspeção de OEA, esse equipamento pode ser aplicado na detecção de fissuras e desgastes das peças por causa da precisão do modelo 3D gerado pelo mapeamento. Ainda, com a implementação do Building Information Modelling (BIM) em obras públicas conforme Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020 (Brasil, 2020), esse método pode se tornar um dos principais para o mapeamento das estruturas públicas, pela

capacidade de registro e sobreposição em *softwares* BIM, que possibilitaria a melhor interpretação dos dados e melhores informações em eventuais projetos de recuperação das estruturas.

Segundo Wachowiak e Karas (2009), a precisão das modelagens e medições realizadas pelo uso de *laser scanner* terrestre varia de acordo com a distância e o tamanho do objeto que está sendo escaneado pelo aparelho, e se mantém em um intervalo de milímetros.

2.4 Drone

As aplicações de *drones* nas inspeções de estruturas podem trazer diversas vantagens. O trabalho apresentado por Lisboa *et al.* (2018) utilizou um drone modelo DJI Mavic Pro com câmera de resolução 1080 p para capturar as imagens da fachada de uma edificação. Foram utilizadas fotos pontuais, para manifestações patológicas de pequena extensão, e fotos de varredura, para manifestações patológicas em grande número e para o mapeamento das anomalias. A partir das imagens, identificaram-se fissuras, descolamentos, manchas, eflorescência e gretamento como principais manifestações, e também se encontrou a biodeterioração da fachada.

Segundo Tondelo e Barth (2019, p. 14), a inspeção por *drones* pode ser prejudicada por condições climáticas desfavoráveis e obstáculos próximos à fachada. Em relação ao modo de obtenção de imagens, os autores concluíram que a filmagem da estrutura para posterior extração de frames não resulta em uma resolução adequada para a identificação das manifestações patológicas, sendo necessário um voo com estabilização do equipamento para cada ponto de estudo. O tempo para execução dessa metodologia é maior, porém o método é mais eficaz.

Shibasaki (2019) realizou uma inspeção na Torre do Monte da Virgem, em Portugal, utilizando o *drone* de modelo Matrice 600 com câmera Zenmuse X5 de 16 megapixels acoplada. As imagens foram processadas pelo *software* PIX4Dmapper, para geração de um modelo 3D da estrutura, e pelo *software* MATLAB, para identificação de líquens na superfície do concreto.

Shibasaki (2019) afirma que o uso de veículo aéreo não tripulado (Vant) contribuiu para a redução do tempo de duração da inspeção e possibilitou a visualização de locais de difícil acesso, identificando armadura exposta, corrosão de armadura, manchas de umidade, eflorescência, proliferação de líquens, entre outras manifestações patológicas.

As aplicações apresentadas mostram que os *drones* têm grande potencial na área das inspeções de estruturas. As imagens geradas possibilitaram a identificação das manifestações patológicas, e, em alguns casos, relataram-se a redução do tempo de duração da

inspeção e a facilidade do acesso à estrutura sem a necessidade de trabalho em altura, evitando acidentes.

Segundo regulamento da Agência Nacional de Aviação Civil (2017), *drones* são aeronaves não tripuladas que podem ser classificadas como aeromodelo, aeronave remotamente pilotada (*remotely piloted aircraft* – RPA) ou aeronave não tripulada autônoma, cuja utilização é proibida no Brasil. Quanto ao objetivo da operação, os aeromodelos são utilizados para lazer, as RPA têm outras finalidades, e a Agência Nacional de Aviação Civil (2017) exemplifica fins corporativos e comerciais.

Para utilizar o *drone* em território nacional, é necessário homologá-lo na Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), uma vez que a radiofrequência utilizada pelo equipamento pode afetar os serviços de comunicação via satélite e telefonia existentes (CPE Tecnologia, 2019).

As RPA são divididas em três classes: na classe 1, estão as aeronaves com o peso máximo de decolagem de 150 kg; na classe 2, constam aquelas com peso máximo de decolagem maior que 25 kg e até 150 kg; por último, na classe 3, há as RPA de peso máximo de decolagem de até 25 kg (Agência Nacional de Aviação Civil, 2017).

Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (2017), as RPA da classe 3 devem ser registradas no Sistema de Aeronaves não Tripuladas (Sisant), possuir seguro de cobertura a danos a terceiros, avaliação do risco operacional e voar a mais de 30 m de construções, propriedades e pessoas não anuentes aos riscos da operação, salvo se houver uma barreira mecânica de proteção.

É importante ressaltar que, para todas as classes, os pilotos devem obrigatoriamente ter cadastro no Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea), para que possam obter um código que é utilizado ao realizarem a solicitação de um voo. As operações de voo são informadas e autorizadas pelo Decea por meio do sistema de Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas – Sarpas (Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2022).

Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (2017), existem três tipos de operação de voo: na primeira, o piloto mantém contato visual com a RPA sem auxílio de equipamentos (*visual line-of-sight* – Vlos); na segunda, ele utiliza equipamentos e observadores para manter contato visual com a RPA (*extended visual line-of-sight* – Evlos); e, na última, a RPA está fora do alcance visual do piloto, mesmo com a ajuda de um observador (*beyond visual line-of-sight* – Bvlos).

As RPA com menos de 250 g são isentas das exigências citadas na classe 3 (Agência Nacional de Aviação Civil, 2017), tornando-as uma excelente opção para algumas tarefas. Apenas para voos acima de 400 pés, os pilotos necessitam da documentação emitida pelo Decea para que possam ser considerados licenciados e habilitados para tais voos, independentemente do peso de decolagem.

Em estruturas com autorização do proprietário ou locatário responsável pela estrutura, é válida a consideração do princípio da sombra. O princípio da sombra, representado na Figura 1, é o espaço aéreo limitado a 5 metros acima de uma estrutura ou um obstáculo e afastado horizontalmente até 30 metros, e, inicialmente, não necessita de gerenciamento de tráfego aéreo, pois, em condições normais, não é utilizado por aeronaves tripuladas, como helicópteros e aviões (Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2020).

Para o princípio da sombra, é solicitado o acesso ao espaço aéreo por meio do sistema de Sarpas. No caso de uma RPA com peso máximo de decolagem menor que 250 g, dispensa-se a interdição do tráfego, o que aumenta a eficiência da inspeção e torna o uso de *drones* ainda mais viável.

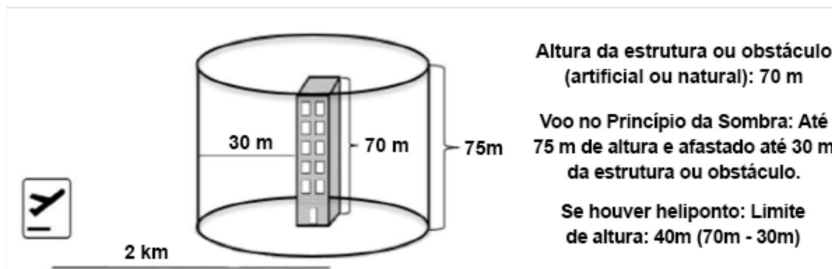


Figura 1 Princípio da sombra

Fonte: Departamento de Controle do Espaço Aéreo (2020).

2.5 Câmera termográfica

As câmeras termográficas são utilizadas para detectar a radiação infravermelha emitida por uma superfície e convertê-la em sinais eletrônicos. Tais sinais são processados e utilizados para formação de termogramas, imagens que representam, por meio de escalas de cores (tons de cinza ou coloridos), a distribuição de temperatura aparente do objeto analisado (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016b; Máximo; Pantoja, 2020). Esse processo só é possível quando a estrutura se encontra em fase de aquecimento ou resfriamento ocasionado por meios naturais, como a radiação solar e o vento, ou artificiais, como micro-ondas, lâmpadas de aquecimento ou outros métodos.

Segundo Máximo e Pantoja (2020), a tendência é de que ao longo do dia os materiais se aqueçam até o ponto em que a temperatura fica uniforme em toda a estrutura analisada, tornando inviável a captação de termogramas com morfologias bem

definidas. Washer *et al.* (2016) também observam que o contraste de temperatura entre superfícies íntegras e danificadas de concreto, para diferentes profundidades de danos, varia em tempo e intensidade.

Em virtude dessa defasagem de tempo necessário para o aquecimento e resfriamento de diferentes materiais, torna-se inviável determinar um melhor horário para a realização da inspeção termográfica. Washer *et al.* (2016) apresentam como solução a realização de um acompanhamento prolongado do objeto em estudo por meio uma câmera termográfica estática. Dessa forma, quando se analisam as imagens coletadas, é possível selecionar a mais propícia para a análise.

Contrastes térmicos inferiores a 0,5°C não permitem a detecção de manifestações patológicas, pois podem ter sido ocasionadas por fontes de energia externas ou por radiação refletida por objetos próximos (Rocha; Póvoas, 2019). Contrastes elevados só foram detectados em peças que apresentaram corrosão de aço a uma profundidade máxima de 2,5 cm e com perda mínima de 10% de massa, ocasionando vazios internos significativos (Rocha; Póvoas, 2019).

Tais vazios, preenchidos com ar ou água, afetam a transferência de calor da peça, tornando as regiões próximas mais suscetíveis a mudanças de temperatura (Rocha; Póvoas, 2019).

Com relação às fissuras, Leone (2019) evidencia que apenas aquelas consideradas mais espessas são facilmente detectáveis. Conforme a espessura da fissura diminui, há uma redução da diferença de temperatura entre a fissura e seu entorno, o que torna mais difícil detectá-las. Leone (2019) também menciona que os termogramas são um meio eficiente para identificação de elementos estruturais não visíveis a olho nu e regiões com umidade.

Diante dos trabalhos apresentados nesta seção, entende-se que uma coleta instantânea é suficiente para identificação de manifestações patológicas, tais como infiltrações, fissuras e deslocamento. Porém, para uma melhor análise, é necessário coletar imagens por um extenso período com a finalidade de identificar um ou mais instantes que apresentam um gradiente térmico adequado para a análise de danos em diferentes profundidades.

Segundo a NBR 15424 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016b), que regulamenta as terminologias utilizadas em ensaios não destrutivos de termografia, a inspeção termográfica é um método de inspeção não destrutivo e sem contato, no qual se realiza a medição de temperatura de uma determinada superfície por meio de câmeras de termografia.

A NBR 16969 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021) trata sobre princípios gerais da termografia e normatiza duas técnicas distintas de termografia infravermelha: técnica ativa, em que se utiliza um estímulo adicional proveniente de uma fonte artificial de energia, e técnica passiva, em que não há a necessidade do uso

de outros estímulos em virtude da presença de fontes naturais. A termografia infravermelha passiva é a técnica utilizada para monitorar edifícios e estruturas.

Com relação aos critérios de análise, a termografia por ser classificada em quantitativa ou qualitativa. A quantitativa é aplicada quando a temperatura é fundamental para análise da situação, e a qualitativa é aplicável quando o principal parâmetro a ser analisado é a “morfologia da distribuição térmica”, que apresenta maior relevância para construção civil (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021; Rocha; Tavares, 2017).

Em caso de inspeções ao ar livre, devem ser considerados outros parâmetros, como temperatura, umidade, presença de vento, índices de radiação solar, entre outros fatores (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021; Rocha; Póvoas, 2019).

As informações mínimas a serem apresentadas são a descrição da técnica, os equipamentos utilizados, os critérios de análise, o processamento da informação térmica e a qualificação de pessoal (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020).

3 METODOLOGIA

Nesta seção, será apresentada a metodologia para a análise de inspeções visuais com o uso de *laser scanner*, câmera termográfica e *drone*.

Inicialmente foram analisadas imagens RGB e termográficas captadas durante as inspeções em pontilhões realizadas por equipes da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), sob supervisão do Prof. Dr. Sergio Vicente Denser Pamboukian, com prévia autorização e acompanhamento da São Paulo Obras (SPObras). A SPObras é um setor da prefeitura municipal de São Paulo (PMSP) vinculada à Siurb (São Paulo Obras, 2022). Na ocasião, foram inspecionados seis pontilhões, entre os dias 17 de novembro de 2021 e 2 de dezembro de 2021. De acordo com registros do Laboratório de Geotecnologias (LabGeo), a câmera Flir C2, utilizada nas inspeções, estava configurada com as especificações apresentadas no Quadro 1.

QUADRO 1

Configurações da câmera Flir C2 durante inspeções aos pontilhões

Cor	Ferro
Emissividade	0,95
Temperatura refletida	20 °C
Distância	1,50 m

Fonte: Laboratório de Geotecnologias da Universidade Presbiteriana Mackenzie (2022).

As equipes da UPM utilizaram a técnica de inspeção por meio de termografia passiva, visto que, no emprego de tal técnica, é dispensado o uso de equipamentos complementares, além da câmera térmica, pois o aquecimento da estrutura é realizado naturalmente pela radiação solar e pelos ventos.

A análise das imagens foi feita de forma qualitativa, por meio de comparação da morfologia da distribuição térmica, entre a imagem captada e outros presentes na literatura existente.

Em seguida, pela impossibilidade de realizar a inspeção com *laser scanner*, utilizou-se como objeto de análise a nuvem de pontos da Ponte Eusébio Matoso, elaborada pela SPObras (São Paulo Obras, 2019). Para navegação na nuvem de pontos, foi utilizado o *software* Autodesk ReCap Pro. A partir do modelo obtido, houve a procura e o registro das anomalias presentes na estrutura.

Também se realizaram análises utilizando *drone* com base nas experiências dos pesquisadores do LabGeo em outros tipos de estrutura. Fizeram-se análises de cenários em que se consideraram as características dos *drones* e das OAE. Também foram analisados vídeos de inspeções com *drones*. Realizaram-se capturas de tela para a análise das manifestações patológicas. Para finalizar, fez-se uma entrevista com um profissional da área.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados e a discussão das análises de inspeções com a câmera termográfica, o drone e o *laser scanner*.

4.1 Câmera termográfica

As câmeras termográficas são equipamentos que detectam a radiação infravermelha emitida por superfícies, em função do seu calor irradiado, e a converte em sinais eletrônicos que são processados e utilizados para formação de termogramas. Nos termogramas, podem-se observar anomalias térmicas que indicam a existência de alguma anomalia física da peça, que pode ou não ser uma manifestação patológica (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016b; Máximo; Pantoja, 2020). Este tópico tem como objetivos apresentar e analisar termogramas obtidos durante inspeções rotineiras por equipes da UPM.

Dos seis pontilhões previamente citados, apenas três foram inspecionados com uso de câmeras termográficas, portanto apenas estes foram analisados neste estudo. As imagens apresentadas a seguir foram realizadas por equipes da UPM, sob supervisão do Prof. Dr. Sergio Vicente Denser Pamboukian em parceria com a PMSF.

No dia 18 de novembro de 2021, realizou-se a inspeção do pontilhão na Avenida São Miguel. Localizada na Avenida São Miguel sobre o Rio Itaquera – Parque Cruzeiro do Sul, a OAE apresenta um vão isostático em vigas em concreto isoladas, largura de 22 m e comprimento de 13 m, sem juntas de dilatação. O pontilhão está localizado em pista simples com quatro faixas e foi dimensionado para o trem tipo T.T. 36tf.

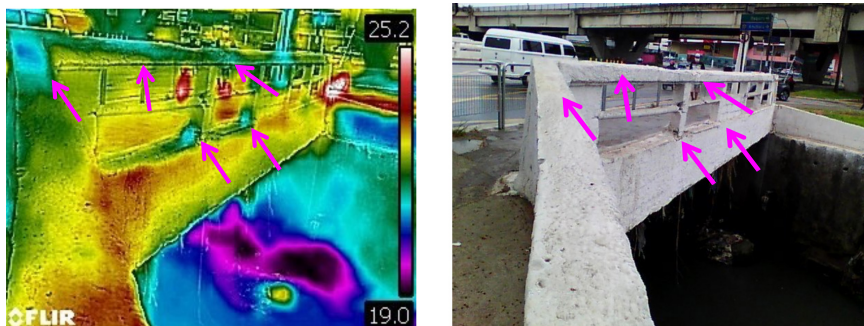


Figura 2 Termograma e foto RGB geral do pontilhão localizado na Avenida São Miguel indicando possíveis pontos com manifestações patológicas

Fonte: Acervo do Laboratório de Geotecnologias da Universidade Presbiteriana Mackenzie (2021).

A Figura 2 apresenta um registro mais amplo do pontilhão, em que é possível observar pontos (indicados por seta) de anomalias térmicas, indicando a provável presença de alguma manifestação patológica a ser investigada de forma mais detalhada.

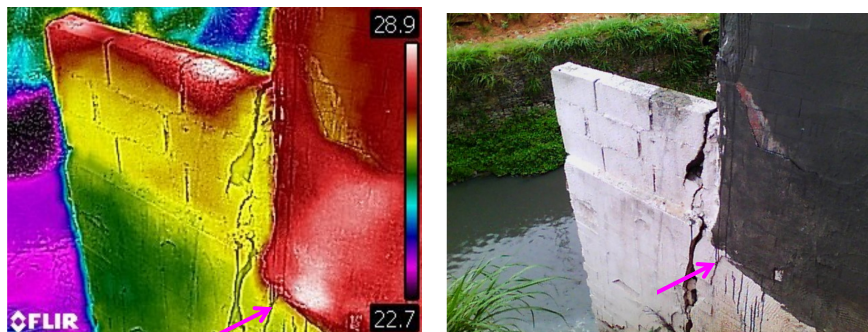


Figura 3 Termograma e foto RGB do pontilhão localizado na Avenida São Miguel apresentando detalhe de alvenaria complementar ao pontilhão

Fonte: Acervo do Laboratório de Geotecnologias da Universidade Presbiteriana Mackenzie (2021).

A Figura 3 apresenta uma fotografia e um termograma de uma região com manifestações patológicas evidentes, tais como trincas e rachaduras no encontro de alvenarias e deslocamento de revestimento na área pintada de preto. Quando se observam os termogramas, percebe-se uma anomalia térmica no local sinalizado com a seta, indicando a presença de manifestação patológica oculta, imperceptível nas imagens RGB.

Quando se analisaram os termogramas obtidos durante as inspecões em pontilhões realizadas por equipes da UPM, não foi possível obter conclusões assertivas a respeito das manifestações patológicas presentes nas imagens, por conta da ausência de cuidados com relação à regulagem do equipamento, ao horário de registro das imagens, ao ângulo de captação e ao enquadramento dos elementos fotografados, não levando em consideração pontos de sobra e o tempo de aquecimento dos materiais.

4.2 *Laser scanner*

Nesta seção, é analisada a nuvem de pontos da Ponte Eusébio Matoso, localizada no bairro de Pinheiros, na cidade de São Paulo (São Paulo Obras, 2019). Por meio da navegação na nuvem de pontos, foi possível identificar 49 manifestações patológicas. Todas as anomalias identificadas foram marcadas com a ferramenta de colocação de notas do Autodesk ReCap Pro. A Figura 4 mostra a distribuição das manifestações patológicas ao longo da ponte. Uma parte das manifestações patológicas identificadas é apresentada a seguir por meio de imagens obtidas com a ferramenta de extração de imagens do *software*.



Figura 4 Nuvem de pontos processada no Autodesk ReCap Pro com marcação das 49 manifestações patológicas identificadas durante navegação pelo modelo

Fonte: São Paulo Obras (2019).



Figura 5 Presença de infiltração, com desenvolvimento de vegetação entre o pilar parede e o tabuleiro

Fonte: São Paulo Obras (2019).



Figura 6 Mancha de umidade em pilar parede e fissuras no tabuleiro

Fonte: São Paulo Obras (2019).

Nas figuras 5 e 6, é possível ver manchas de infiltração nas paredes do vão inferior da ponte. Pelas imagens, percebe-se que ambas as infiltrações têm origem nas juntas entre vigas e tabuleiro. Na Figura 5, nota-se a presença de vegetação no tabuleiro.

Conforme indicações presentes no arquivo da nuvem de pontos, as regiões apresentadas nas figuras 5 e 6 foram captadas por diversos posicionamentos de *laser scanner*, garantindo uma boa resolução e a possibilidade de formação de uma imagem completa, o que não ocorreu em outras regiões, como pode ser visto em parte das figuras 7 e 8. Tal fato foi fundamental para permitir a identificação de manifestações patológicas apenas por meio da navegação na nuvem de pontos da ponte.



Figura 7 Fissuras na pintura e deslocamento da argamassa de assentamento nos encontros

Fonte: São Paulo Obras (2019).



Figura 8 Fissura vertical em pilar

Fonte: São Paulo Obras (2019).

Na Figura 7, há falhas na nuvem de pontos no talude lateral e na vegetação. Essas falhas ocorrem por falta de sobreposição de nuvens de pontos isoladas com ângulos de captação distintos. Outro motivo para a presença de falhas refere-se ao fato de a região estar atrás de alguma outra superfície, se vista da posição do equipamento, tal como ocorreu na Figura 8.

A Figura 8 apresenta uma fissura vertical em um dos pilares da estrutura. Por meio da nuvem de pontos, não é possível definir a espessura de uma fissura, sendo necessária a realização de uma medição *in loco*.

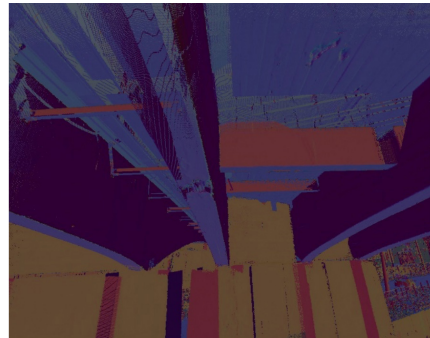


Figura 9 Armadura exposta em viga principal e parte inferior do tabuleiro da ponte

Fonte: São Paulo Obras (2019)

Na versão RGB da Figura 9 (à esquerda), é possível notar, na parte inferior da viga, uma região com deslocamento de concreto e armadura exposta. Se vista a versão em falsa cor (à direita), também da Figura 9, já é possível perceber uma variação na coloração indicando uma variação de profundidade na região. Isso demonstra que imagens em falsa cor são eficientes para evidenciar diferenças sutis no relevo da peça analisada.

Por meio da nuvem de pontos, descobriu-se que a região de deslocamento possui 0,95 m de comprimento por 0,75 m de largura, conforme indicado na Figura 10. Em uma segunda análise, por meio da rotação do modelo, foi possível identificar a profundidade máxima do deslocamento de 0,13 m (Figura 11).

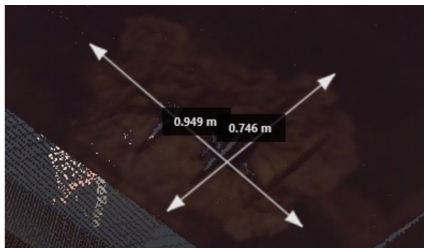


Figura 10 Detalhe da área de deslocamento com indicação das dimensões

Fonte: São Paulo Obras (2019).

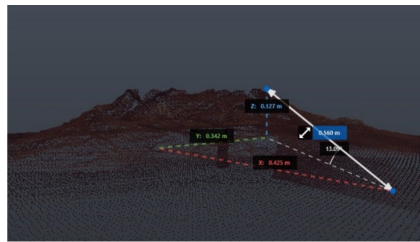


Figura 11 Medição de profundidade da região com deslocamento – ponto B

Fonte: São Paulo Obras (2019).

Na nuvem de pontos da ponte analisada, observou-se que o escaneamento por meio de *laser scanners* não foi completamente eficiente, pois, por se tratar de uma ponte, o vão central está localizado acima d'água, impossibilitando o posicionamento do equipamento nessa localidade. Logo, a parte inferior do tabuleiro central só pode ser captada por posicionamentos de equipamentos feitos nas margens do rio, tendo como resultado uma nuvem de pontos incompleta dessa região.

4.3 Drone

Os *drones* são equipamentos que podem auxiliar na inspeção de OAE ao promover o acesso a elementos antes inacessíveis às câmeras. Serão indispensáveis com a revisão da NBR 9452, que exigirá a inspeção de todas as peças que compõem as estruturas.¹

1 Conforme o engenheiro Alexandre Beltrame em entrevista realizada nas dependências do LabGeo da UPM, em 1º de novembro de 2022.

A seguir, apresentam-se os resultados e a discussão realizados por análise de cenários e com base em vídeos de inspecões de OAE.

As imagens apresentadas a seguir foram adaptadas de capturas de tela de vídeos da internet em que se utilizaram *drones* nas inspecões de OAE.



Figura 12 Inspeção do tabuleiro, das longarinas e das transversinas sobre corpo hídrico com uso de *drone*

Fonte: Apresentação de uso de *drone* em inspeção de OAE (2016).



Figura 13 Foto realizada por *drone* de armadura exposta em longarina

Fonte: Apresentação de uso de *drone* em inspeção de OAE (2016).

Na Figura 12, nota-se que o uso de *drone* possibilitou o acesso ao tabuleiro da ponte sobre corpo hídrico, e a Figura 13, da mesma inspeção, mostra armadura exposta em uma das longarinas da ponte, sendo a resolução da câmera do *drone* suficiente para a identificação desse tipo de manifestação patológica.



Figura 14 Vista da obra de arte especial

Fonte: Inspeção de ponte sobre vale: inspeção com *drone* (2019).



Figura 15 Inspeção dos aparelhos de apoio com auxílio de *drone*

Fonte: Inspeção de pontes & viadutos com *drone* (2019).

A Figura 14 é de uma inspeção de uma OAE sobre vale com oito vãos, em elementos pré-moldados, em que se nota a extensão e a altura da OAE. A inspeção dessa obra seria de difícil acesso sem o uso de *drones*, sendo necessário o uso de balancins. A Figura 15 é de outra inspeção e mostra uma vista dos aparelhos de apoio. Atualmente, a PMSP utiliza binóculos para realizar a inspeção de locais com alturas elevadas.²

Inicialmente, cogitou-se a realização de inspeção visual nas OAE com os *drones* Phantom 4 Pro e Mavic 2 Pro e a câmera térmica Flir Duo acoplada ao *drone* Phantom 4 Pro, equipamentos disponíveis no LabGeo da UPM, porém ambos os *drones* apresentaram peso de decolagem superior a 249 g (DJI, 2022a, 2022b). Por isso, foi necessário obter anuência dos riscos da operação de todas as pessoas presentes dentro de um raio de projeção em solo de 30 m a partir da posição do *drone* (Agência Nacional de Aviação Civil, 2017). Tal prática não foi considerada viável, pois não seria possível solicitar anuência de todas as pessoas sujeitas a transitar dentro do limite de 30 m já descrito.

Cogitou-se a interdição da OAE durante o período do voo, porém tal medida não é aplicável por causa do alto fluxo de veículos, que seria diretamente afetado pela interdição. Como alternativa, a interdição poderia ser realizada durante o período noturno, desde que fosse empregada iluminação adequada para garantir a qualidade das imagens captadas. Um exemplo de *drone* com possibilidade de iluminação própria é o Mavic 2 Enterprise Advanced da DJI (2022c), que possui holofotes como acessório.

Identificou-se que a alternativa mais viável seria a utilização de *drones* com peso de decolagem inferior a 250 g, que dispensam a solicitação de anuência de pessoas com relação aos riscos da operação (Agência Nacional de Aviação Civil, 2017). Nesse caso, recomenda-se apenas vigiar a via para alertar o piloto a respeito da aproximação de veículos que possam vir a colidir com o *drone* em voo, como ônibus, caminhões e maquinários.

Para inspeção da parte inferior do tabuleiro, é necessário utilizar *drones* cuja câmera tenha capacidade para atingir inclinações superiores ao plano horizontal de voo ou que esteja instalada sobre o equipamento, completamente virada para cima, como o *drone* Matrice 210 da DJI (2022d).

Por causa da massa de concreto da estrutura e da presença de altas taxas de aço, quando se posiciona o *drone* abaixo da ponte quando o piloto está acima dela, a estrutura acaba por impedir a passagem do sinal de rádio controle,³ o que também acontece

2 Conforme o Prof. Dr. Sergio Vicente Denser Pamboukian em palestra sobre “Inspeções com tecnologias avançadas: *drones*”, realizada em 22 de setembro de 2022.

3 Conforme o engenheiro Alexandre Beltrame em entrevista realizada nas dependências do LabGeo da UPM, em 1º de novembro de 2022.

com os sinais GNSS, sistema que garante a estabilidade do voo, elevando o risco da operação.

Outro fator é a existência de elementos estruturais próximos à área de voo, o que exige o desligamento dos sensores de proximidade do equipamento para que seja possível acessar a estrutura. Porém, se essa medida fosse tomada, o *drone* ficaria instável e dependeria somente da experiência e capacidade do piloto para evitar uma colisão. Uma alternativa para proteger a integridade do *drone* seria utilizar um suporte protetor de hélices do tipo gaiola.

Cabe ressaltar que os *drones* são equipamentos com alto valor agregado, e a sua preservação é fundamental. Além do seguro obrigatório, conforme Agência Nacional de Aviação Civil (2017), existe o seguro que cobre danos ao casco. Esse tipo de seguro tem alto custo, que chega a aproximadamente 50% do valor do *drone*, além de a cobertura não ser adequada, inviabilizando a sua contratação.⁴

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabe-se que as OAE são importantes para a infraestrutura do país e que necessitam periodicamente da realização de inspeções rotineiras anuais. Por conta do grande volume de OAE e da baixa produtividade das inspeções, faz-se necessário o estudo de novas tecnologias que possam contribuir para a sua modernização. Este trabalho teve como objetivo avaliar como as novas tecnologias podem complementar as inspeções visuais das OAE. Para o estudo com câmera termográfica, foram analisados termogramas obtidos durante inspeções de pontilhões por equipes da UPM. Para *laser scanner*, utilizou-se uma nuvem de pontos a fim de identificar anomalias na estrutura. Também foram analisados vídeos de inspeções com *drones*. Buscou-se avaliar a nitidez das imagens geradas, as restrições normativas e as contribuições de cada equipamento para as inspeções visuais.

Em relação à câmera termográfica, concluiu-se que por meio dos termogramas não foi possível determinar qual a manifestação patológica presente em cada ponto, mas, em capturas mais amplas, identificaram-se pontos com anomalias térmicas que sustentam a probabilidade da existência de alguma manifestação patológica no local.

4 Conforme o Prof. Dr. Sergio Vicente Denser Pamboukian em palestra sobre “Inspeções com tecnologias avançadas: *drones*”, realizada em 22 de setembro de 2022.

Essa identificação só foi possível por conta do uso de termografia na inspeção, não sendo visível na imagem RGB.

Uma forma de aplicação de termografia em inspeções visuais seria a captura de termogramas gerais da estrutura, que seriam utilizados para mapear possíveis pontos com presença de manifestações patológicas em função de anomalias térmicas existentes nas imagens térmicas. Após mapeados, esses pontos seriam inspecionados de forma mais detalhada, a fim de identificar a causa da anomalia e/ou da manifestação patológica presentes neles.

Observou-se que, para OAE com gabarito baixo, pode ser viável o emprego de câmeras RGB ou térmicas montadas sobre veículos, semelhante ao sistema *Deck and Soffit Scanner* (IR-DSS) apresentado por Washer *et al.* (2016), descrito no item 2.4 deste artigo.

Sobre o *laser scanner*, observou-se que a nuvem de pontos gerada com a utilização dele é uma boa maneira de determinar a posição dos elementos estruturais das OAE e avaliá-los de forma macro com relação a possíveis deslocamentos da estrutura, como desaprumo ou recalque, e a formação de flechas em vigas e lajes.

Quando analisado de forma micro, pode-se identificar a existência de manifestações patológicas, porém não é possível classificá-las. Para tal, seria necessário um mapeamento com maior densidade de pontos, por meio de mais pontos de coleta de dados e de equipamentos mais sofisticados. A utilização desse equipamento requer um tempo maior para a realização da inspeção e pode prejudicar sua produtividade, além da necessidade de posterior análise da nuvem de pontos em escritório. Financeiramente torna-se inviável por conta dos custos com equipamentos e licenças de *softwares*.

Em relação aos *drones*, concluiu-se que esses equipamentos podem auxiliar no acesso a tabuleiros sobre corpos hídricos e elementos com gabaritos altos, como aparelhos de apoio de viadutos. Para a inspeção de tabuleiros, é necessária uma câmera que aponte para cima. A resolução da câmera dos *drones* foi suficiente para identificação de armadura exposta, eflorescência e fissura, e para a inspeção dos aparelhos de apoio.

Elementos estruturais próximos e locais confinados são limitações, uma vez que o *drone* não consegue se aproximar por causa dos sensores de proximidade e da possível perda de sinal GNSS. Existem gaiolas para proteção do *drone* nessa situação, porém ele ficará instável com a perda do sinal de GNSS e dependerá somente da experiência e capacidade do piloto.

Outro impeditivo refere-se às restrições normativas, o que exige uma interdição de tráfego, não sendo possível realizar voos em vias de alto fluxo de veículos. Para contornar a necessidade da anuência de pessoas e edificações, pode-se utilizar um *drone* com peso máximo de decolagem inferior a 250 g, porém o tráfego da via pode impedir que

ele acesse o vão. Uma alternativa é o voo em horários de menor fluxo de veículos, mas o local deve estar bem iluminado ou o *drone* deve contar com iluminação própria.

Tanto a câmera termográfica quanto o *laser scanner* e o *drone* são equipamentos de alto valor agregado e têm o risco de sofrer roubos durante as inspeções, por haver OAE em locais perigosos e menos movimentados,⁵ o que pode desincentivar o uso desses equipamentos.

Os equipamentos estudados são úteis para identificar a existência de anomalias em uma inspeção visual das estruturas, sendo necessários ensaios específicos para cada manifestação patológica, a fim de identificar corretamente a causa, a origem e o mecanismo de degradação.

ROUTINE INSPECTIONS ON ENGINEERING STRUCTURES USING NEW TECHNOLOGIES

Abstract

The engineering structures (ES) analyzed were bridges, viaducts and footbridges. Due to its importance, its physical integrity, functionality and safety of users and the structure must be guaranteed, which are examined during routine inspections, recommended in the Brazilian Standard 9452 of the Brazilian Association of Technical Standards (2019). It was evaluated how new technologies can contribute to inspections of these ES. Photos from a thermographic camera, videos taken by drones and a cloud of points from a laser scanner were analyzed in order to identify anomalies in the structures. It was concluded that the equipment can help in locating pathological manifestations and evaluating dimensional variations, but it is still necessary to carry out an on-site inspection and tests for the correct identification of the cause, origin and degradation mechanism of the pathological manifestation.

Keywords: Engineering structures. Routine inspections. New technologies.

5 Conforme o engenheiro Alexandre Beltrame em entrevista realizada nas dependências do LabGeo da UPM, em 1º de novembro de 2022.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. *Orientações para usuários de drones*. Brasília: Anac, 2017. Disponível em: https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/orientacoes_para_usuarios.pdf. Acesso em: 23 abr. 2022.

APRESENTAÇÃO de uso de *drone* em inspeção de OAE. Direção e produção: Eder Iguti, 27 maio 2016. 1 vídeo (7 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=34nofAlcqvU>. Acesso em: 11 out. 2022.

ARAUJO, C. J. R. V. Vistoriando obras de arte especiais. *Notícias da Construção*, São Paulo, p. 60-62, out. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6118*: projeto de estruturas de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016a. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15424*: ensaios não destrutivos: termografia: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2016b. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 9452*: inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto: procedimento. 4. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 48 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 16818*: ensaios não destrutivos: termografia infravermelha: procedimento para aplicações do método da termografia infravermelha. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 16969*: ensaios não destrutivos: termografia infravermelha: princípios gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 20 p.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. *Patologia de estruturas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

BRASIL. Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020. Estabelece a utilização do *Building Information Modelling* na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* – Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, n. 65, seção 1, p. 5-7, 3 abr. 2020.

CPE TECNOLOGIA. Como fazer homologação de *drones* na Anatel? Blog da Topografia, 2019. Disponível em: <https://blog.cpetecnologia.com.br/homologacao-de-drones-na-anatel/>. Acesso em: 16 maio 2022.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. Tráfego aéreo: aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro. Decea, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/cartografia/divcar/2021/ica_100-40_trafegoaereo_22_05_2020.pdf. Acesso em: 19 out. 2023.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. *Drones*. Decea, 2022. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/drone/>. Acesso em: 30 mar. 2022.

DJI. Phantom 4 Pro: especificações. DJI, 2022a. Disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-4-pro/info#specs>. Acesso em: 2 maio 2022.

DJI. Mavic 2: especificações. DJI, 2022b. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mavic-2/info#specs>. Acesso em: 2 maio 2022.

DJI. Mavic 2: enterprise advanced. DJI, 2022c. Disponível em: https://www.dji.com/br/mavic-2-enterprise-advanced?site=brandsite&from=landing_page. Acesso em: 6 out. 2022.

DJI. Matrice 200 Series: especificações. DJI, 2022d. Disponível em: https://www.dji.com/br/matrice-200-series?site=brandsite&from=insite_search. Acesso em: 20 nov. 2022.

FRANÇA, A. A. V. *et al.* Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. *Techne*, v. 19, n. 174, p. 72-77, 2011. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2011/07/Artigo-Techne-174-set-2011-Prof.pdf>. Acesso em: 9 set. 2022.

INSPEÇÃO de ponte sobre vale: inspeção com *drone*. Direção e produção: Age drone, 3 jul. 2019. 1 vídeo (5 min). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=_U6mDmtL8J0. Acesso em: 11 out. 2022.

INSPEÇÃO de pontes & viadutos com *drone*. Direção e produção: DR1 Aerial Inspections, 3 jul. 2019. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=M7xeoa8VK6I>. Acesso em: 11 out. 2022.

LABORATÓRIO DE GEOTECNOLOGIAS DA UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE. Projeto Integrador Tecnologias Avançadas para Inspeção. São Paulo: UPM, 2021. Acervo digital do laboratório. Fotografias diversas, coloridas.

LEONE, C. *Estudo de manifestações patológicas através da utilização de câmera termográfica em edifícios na cidade de São Paulo*. 2019. Monografia (Especialização em Excelência Construtiva e Anomalias em Edifícios) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2019.

LISBOA, D. W. B. *et al.* Utilização do Vant na inspeção de manifestações patológicas em fachadas de edificações. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2018, Maceió. *Anais [...]*. Maceió: Contec, 2018. Disponível em: https://www.confex.org.br/sites/default/files/antigos/contec2018/civil/187_udvnmpe.pdf. Acesso em: 30 mar. 2022.

MÁXIMO, M. A. da S.; PANTOJA, J. da C. Aplicação da termografia infravermelha para identificar patologias em edifícios da arquitetura monumental. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 60377-60392, ago. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n8-450>. Acesso em: 17 mar. 2022.

PAVI, S.; BORDIN, F.; VERONEZ, M. R. O potencial do uso do *laser scanner* terrestre para a identificação de manifestações patológicas em obras de arte especiais: uma revisão bibliográfica. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS - CINPARACIÓN DE ESTRUCTURAS, 10., 2014, Santiago. *Anais [...]*. Santiago, Chile: Cinpar, 2014a. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263251621_O_Potencial_do_Uso_do_Laser_Scanner_Terrestre_para_a_Identifi

cacao_de_Manifestacoes_Patologicas_em_Obras_de_Arte_Especiais_uma_Revisao_Bibliografica. Acesso em: 11 mar. 2022.

PAVI, S.; BORDIN, F.; VERONEZ, M. R. O uso do *laser scanner* terrestre na inspeção de pontes e viadutos de concreto: uma revisão bibliográfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 7., 2014, Rio de Janeiro. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: Abpe, 2014b. Disponível em: http://www.abpe.org.br/trabalhos/trab_31.pdf. Acesso em: 11 mar. 2022.

ROCHA, J. H. A.; PÓVOAS, Y. V. Detecção de corrosão em concreto armado com termografia infravermelha e ultrassom. *Ambiente Construído*, v. 19, n. 3, p. 53-68, set. 2019. DOI <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000300324>.

ROCHA, J. H. A.; TAVARES, Y. V. P. A termografia infravermelha como um ensaio não destrutivo para a inspeção de pontes de concreto armado: revisão do estado da arte. *Revista Alcompat*, [S.l.], v. 7, n. 3, p. 200-214, 29 set. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.223>. Acesso em: 17 mar. 2022.

SÃO PAULO (Município). Programa de manutenção de pontes e viadutos recebe R\$ 100 milhões em investimentos. Secretaria Especial de Comunicação, 2021. Disponível em: <https://www.capital.sp.gov.br/noticia/programa-de-manutencao-de-pontes-e-viadutos-recebe-r-100-milhoes-em-investimentos#:~:text=Hoje%2C%20est%C3%A3o%20cadastradas%20na%20Secretaria,o%20caso%20da%20Ponte%20Estaiada>. Acesso em: 24 abr. 2021.

SÃO PAULO OBRAS. Nuvem de pontos da ponte Eusébio Matoso. SPObras, 2019.

SÃO PAULO OBRAS. Sobre a SPObras. São Paulo, 24 fev. 2022. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/obras/sp_obras/empresa/index.php?p=21480. Acesso em: 27 set. 2022.

SHIBASAKI, A. K. R. *Inspeção da Torre do Monte da Virgem com o auxílio de veículo aéreo não tripulado*. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.22/15724>. Acesso em: 24 abr. 2022.

TONDELO, P. G.; BARTH, F. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com Vant. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, v. 10, p. e019009, 26 fev. 2019. DOI <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652817>.

VITÓRIO, J. A. P. Uma análise das falhas estruturais em obras de arte especiais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 12., 2021. *Anais [...]*. [S. l.]: CBPE, 2021. Disponível em: http://www.abpe.org.br/trabalhos2021/ID_002.pdf. Acesso em: 5 abr. 2022.

WACHOWIAK, M. J.; KARAS, B. V. 3D scanning and replication for museum and cultural heritage applications. *Journal of The American Institute For Conservation*, London, v. 48, n. 2, p. 141-158, Aug. 2009. DOI <http://dx.doi.org/10.1179/019713609804516992>.

WASHER, G. *et al.* Field testing of hand held infrared thermography, phase II TPF 5(247). Final report. Columbia, MO: MoDOT, 2016. 100 p. Disponível em: <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/29671>. Acesso em: 19 out. 2023.

WORLD ECONOMIC FORUM (org.). *Shaping the future of construction: a breakthrough in mindset and technology*. Coligny, Switzerland, WEF, 2016. 61 p. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_full_report__.pdf. Acesso em: 5 abr. 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Presbiteriana Mackenzie e aos nossos professores, que foram essenciais no nosso processo de formação profissional.

Um agradecimento especial ao engenheiro Alexandre Beltrame, à mestra Ligia Vitória Real, à mestra Fabiola Rago Beltrame, ao mestre Antônio Ivo de Barros Mainardi Neto e ao engenheiro Marco Aléssio Antunes, da SPObras.

Agradecemos aos nossos familiares e amigos todo o apoio e amor ao longo desses anos, e a todos que participaram e contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

Contato

Leticia Gatti Friolani
E-mail: friolani.leticia@gmail.com

Tramitação

Recebido em: 15/01/2023
Aprovado em: 26/05/2023