2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO E APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL NA ÁREA DE TRANSPORTES – UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE SALVADOR

Nathalie Piccolotto França
Universidade Estadual de Campinas
Julia Kanai
Universidade Estadual de Campinas
Patrícia Stella Pucharelli Fontanini
Universidade Estadual de Campinas

RESUMO

Os Veículos Aéreos não Tripulados (VANT) podem ser utilizados para diferentes fins e é uma ferramenta já estudada para a construção civil na área de transportes. Este artigo tem como objetivo apresentar algumas aplicações dos VANT na área de transportes encontradas na literatura e verificar sua possível utilização como ferramenta para a inspeção de rotina de Obra de Arte Especial, tendo como base a norma ABNT NBR 9452:2016 e o preenchimento de suas fichas. Como estudo de caso, testou-se o uso do VANT como uma ferramenta para a identificação de patologias em um viaduto na cidade de Salvador. Os resultados mostraram que o VANT é uma ferramenta promissora para o auxílio na realização de inspeção de rotina de obra de arte especial e pode ajudar na análise das patologias em locais de difícil acesso. Para agilizar o trabalho de campo, apresenta-se uma proposta de aplicativo. Este artigo é um recorte de uma tese de doutorado em andamento.

Palavras-chave: *Veículos Aéreos não Tripulados (VANT), Obra de Arte Especial, Inspeção de Rotina.*

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles (UAVs) can be used for different purposes and it is a tool already studied for civil construction in the area of transport. This article aims to present some applications of UAVs in the area of transport found in the literature and to verify its possible use as a tool for routine inspection of bridges, based on ABNT NBR 9452: 2016 and its forms. As a case study, the use of UAV as a tool for the identification of pathologies in a viaduct in the city of Salvador was tested. The results showed that the UAV is a promising tool to aid in the routine inspection of bridges and can help in the analysis of pathologies in places with difficult access. To speed up the fieldwork, an app proposal is presented. This article is a part from an ongoing doctorate degree thesis.

Keywords*: Unmannede aerial vehicle (UAV), Bridges, Routine Inspections.*

1 INTRODUÇÃO

Veículos aéreo não tripulado (VANTs ou, em inglês, Unmanned Air Vehicles-UAVs), também conhecidos por drone, é o termo que se refere à plataforma de uma aeronave sem um piloto humano a bordo podendo ser controlado por um controle terrestre ou de forma autônoma utilizando sensores (AL-KAFF et al., 2018).

O início da utilização dos VANTs foi para fins militares e, atualmente, os avanços tecnológicos estão permitindo a utilização desta tecnologia no setor de recreação

e entretenimento, setor de agricultura e pecuária, monitoramento de situações de emergência (por exemplo: incêndios e desastres naturais), setor publicitário, setor imobiliário, etc. (MELO, 2016).

Recentemente, com os desenvolvimentos em microeletrônica e o aumento da eficiência computacional, veículos aéreos não-tripulados têm encontrado um foco significativo entre a comunidade de pesquisa em robótica (AL-KAFF et al., 2018). As aplicações de VANTs cobrem uma ampla gama de aplicações civis e militares podendo ser equipados com vários sensores e câmeras para realizar missões de inteligência, vigilância e reconhecimento. As aplicações dos VANTs podem ser categorizadas de diferentes maneiras, tais como no tipo de missões (militar ou civil), no tipo das zonas de voo (exterior ou interior) e no tipo de ambientes (subaquático, na água, solo, ar e espaço). Os tipos de missões civis podem ser: operação de busca e salvamento (YUAN et al., 2018; LYGOURAS et al., 2018), correspondência e entrega (HASSANALIAN; ABDELKEFI, 2017), exploração planetária (HASSANALIAN et al., 2018), inspeção de edifícios (RAKHA; GORODETSKY, 2018), arqueologia (O'DRISCOLL, 2018), monitoramento de tráfego de pessoas e veículos (LI et al., 2018), monitoramento de culturas agrícolas (MOGILI; DEEPAK, 2018), exploração oceânica (ROYER et al., 2018), segurança na construção e para coletas de dados em áreas inacessíveis (STEFANO et al., 2018).

Neste trabalho serão apresentadas algumas aplicações do VANT na área de transportes e o resultado de um estudo de caso com o uso do VANT para a realização de uma inspeção de rotina em um viaduto na cidade de Salvador e o desenvolvimento de um aplicativo que atenda a norma ABNT NBR 9452: 2019 e facilite ainda mais o trabalho de campo e escritório.

2 APLICAÇÃO DO VANT NA ÁREA DE TRANSPORTES

O Departamento de Transporte dos EUA (Departments of Transportation - DOTs) de alguns estados já começaram a utilizar o VANT, por exemplo, em realização de inventários de estruturas para a manutenção, monitoramento de tráfego, monitoramento de condições ambientais e climáticas e monitoramento de estacionamentos (KARAN et al., 2014).

Existem diversos trabalhos sobre o uso de VANT para operação e monitoramento de rodovias. PURI (2005) fez uma pesquisa em todo o mundo na área de aplicação de VANTs na vigilância de tráfego, mostrando que os VANTs são bem aceitos, muito úteis e bem-sucedidos nesta aplicação. No Brasil, RENZO et al. (2017) utiliza o VANT para monitoramento de rodovias administradas pela concessionária Triunfo Concebra e apresenta técnicas de processamento de imagens e avaliação de métodos de reconhecimento de padrões para reconhecer carros e marcações horizontais.

Um monitoramento em tempo real preciso do tráfego de rodovias pode ser feito através de uma programação de veículos aéreos não tripulados (VANTs) capacitado para monitoramentos e transmissão instantânea de informações. Li et al. (2018) fez uma pesquisa de alocação dinâmica de uma frota de VANTs a uma rede de tráfego para monitorar arcos de demanda em múltiplos períodos em Xangai.

JURIĆ-KAĆUNIĆ et al. (2016) estudaram a possibilidade de usar VANTs para avaliar as condições da rede de infraestrutura de transporte; em seu estudo foi apresentada uma verificação da inclinação ou queda potencial de rochas em

rodovias, na qual o operador guiando o dispositivo não-tripulado estava presente no local e podia compartilhar essas informações em tempo real com pessoas de outros locais, trazendo um ganho técnico.

Omar e Nehdi (2017) focaram em coletar materiais de fissuras e deteriorações a partir da análise térmica e criar um mecanismo para averiguá-los. Os testes foram em pontes reais e trouxeram retornos satisfatórios envolvendo baixo custo e sem intervir no tráfego. Eles exploraram a aplicação da termografia infravermelha de veículos aéreos não tripulados (VANT) na detecção de delaminações subsuperficiais em plataformas de concreto, que não exigem interrupção do tráfego nem contato físico com o convés a ser inspecionado. Um sistema de geração de imagens térmicas baseado em VANT foi utilizado para o levantamento de duas plataformas de concreto em serviço. As imagens foram então aprimoradas e unidas usando códigos desenvolvidos para criar uma imagem térmica em mosaico para todo o tabuleiro da ponte. Assim, foi criado um mapa de condições que delineia diferentes categorias de gravidade da delaminação. Os resultados revelam que o VANT com imagens infravermelhas térmicas de alta resolução oferece uma ferramenta eficiente para detectar precisamente anomalias de subsuperfície em tabuleiros de pontes. A metodologia permite uma inspeção mais frequente e menos dispendiosa da ponte sem interrupção do tráfego. Isso deve permitir a avaliação rápida da condição da ponte em vários estágios de serviço ao vivo, alocando efetivamente fundos de manutenção e reparo.

3 ESTUDO DE CASO

O Estudo de caso a ser apresentado foi um estudo de campo exploratório para testar o VANT como ferramenta para identificação de patologias em obras de arte especiais foi realizado como base na norma ABNT NBR 9452:2016 e o preenchimento de seu anexo B - Ficha de inspeção Rotineira. Essa ficha de inspeção rotineira é dividida em três partes. Na parte I ela apresenta as informações gerais sobre a OAE, sendo elas: identificação e localização, histórico das inspeções e descrição das intervenções executadas ou em andamento. Na parte II ela apresenta o registro das manifestações patológicas, sendo eles: nos elementos estruturais, nos elementos de pista ou funcionais, informações complementares e recomendações de terapia. Na parte III ela apresenta a classificação da OAE (baseada na análise das patologias encontradas) e sua justificativa.

No dia 06/06/2018, foi realizada uma inspeção rotineira, de forma presencial, mas com a utilização do VANT para verificação de locais de difícil acesso, no Viaduto Marechal Mascarenhas de Moraes em Salvador - BA, do qual não se teve acesso a nenhum histórico.

O VANT utilizado foi do modelo MAVIC PRO (LA) do fabricante Dji para a obtenção de fotos. O equipamento utilizado possui uma tecnologia acessível e facilmente encontrada no mercado, segue sua imagem ilustrativa na Figura 01.

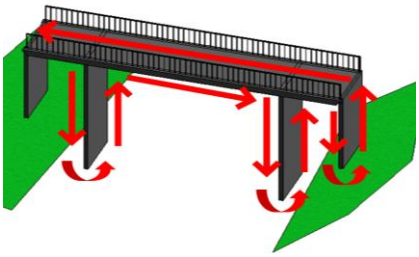
O Voo do VANT foi planejado para cobrir toda a extensão do Viaduto, tendo início pela mesoestrutura e finalizando na superestrutura. Segue figura esquemática do plano de voo utilizado (Figura 02).

Figura 01 - Mavic Pro

Figura 02 - Esquema do Plano de Voo Utilizado



Fonte: Site do fabricante MavicPro[1].



Fonte: autora

Durante o planejamento dos trabalhos de campo, estimou-se que seria necessário um tempo de 1,5 horas, uma equipe composta por um profissional habilitado para realizar a inspeção de rotina no Viaduto e um profissional com capacidade para dirigir o VANT, o VANT e uma bateria extra para o VANT. Este planejamento foi seguido e, com ele, alcançou-se o resultado esperado.

Os ativos visuais (fotos) foram coletados através do voo do VANT para os locais de difícil acesso e, também, para os locais de fácil acesso (ex: passeio, guarda-corpo e pavimento).

Com a análise das verificações de campo, preencheu-se a parte II da Ficha de Inspeção Rotineira - Registro das manifestações patológicas (com exceção do item de recomendações de terapia). Preencheu-se, também, a Ficha de fotos ilustrativas com oito fotos que ou ilustram os elementos estruturais ou registram as patologias encontradas.

Os dados foram analisados com base na percepção in loco do profissional habilitado para a inspeção e na análise, em escritório, das imagens dos locais de difícil acesso do viaduto, e realizou-se a qualificação dos danos/patologias da amostra. Os resultados obtidos foram a base para o preenchimento de recomendações de terapia da parte II e da parte III da Ficha de Inspeção Rotineira.

Finalizando, preencheu-se a Ficha Resumo dos Problemas Detectados, também prevista na norma ABNT NBR 9452:2016.

4 RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

Na parte I da ficha de inspeção de rotina detalhou-se que a denominação da OAE é Viaduto Marechal Mascarenhas de Moraes, localizado em Salvador-BA.

Na parte II da ficha, detalhou-se a situação da superestrutura: lateral do tabuleiro estava com degradação/lixiviação do concreto, presença de vegetação e eflorescência; viga caixão estava com eflorescência devido drenagem sem tubo/buzinotes ou com comprimento insuficiente, armadura exposta e com corrosão e pavimento asfáltico estava deteriorado, com fissuras e manchas de umidade. E da mesoestrutura: pilares com pichação. A infraestrutura não tinha nada evidente. Nos elementos de pista ou funcionais foram constatados guarda-copos com pintura descascadas, concreto quebrado, armadura exposta e ferrugem; muro de contenção com trinca, pichação e infiltração; e sinalização horizontal apagada. Nas informações complementares, colocou-se que a temperatura média da região é de 24 a 30°C; a umidade média é de 75%; a velocidade média dos ventos incidentes é de 24km/h; o trânsito de caminhões e veículos leves é intenso das 7 às 18 horas; a proximidade do mar é de 1530 metros;

[1] Disponível em <https://www.dji.com/mavic/specs>, acesso em 20/11/2018

a proximidade de outras edificações é de 5 metros; e o viaduto está em uma área urbana. Ainda na parte II colocou-se como recomendações de terapia o tratamento das ferragens expostas e recobrimento com concreto; limpeza e pintura da estrutura; melhoria da drenagem / aumento dos comprimentos dos buzinotes e recapeamento asfáltico.

Na parte III da ficha apresentou-se a classificação da OAE: Estrutural 3; Funcional 2 e Durabilidade 2 e as justificativas para a classificação, que foram: tabuleiro apresentando lateral com degradação/lixiviação do concreto, presença de vegetação e eflorescência; viga caixão com eflorescência devido drenagem sem tubo e com comprimento insuficiente, armadura exposta e com corrosão; pilares com pichação; buzinotes com comprimento insuficiente; pavimento trincado e degradado.

4.1 Análise dos resultados do estudo de caso

Analisando-se os resultados deste estudo exploratório para testar o VANT como ferramenta para identificação de patologias em obras de arte especiais percebeu-se que, realmente, as patologias em locais de difícil acesso ficam mais facilmente visualizadas, analisadas e consideradas através da análise, em escritório, das fotos tiradas pelo VANT. No entanto, nem todo local de difícil acesso pôde ser fotografado com nitidez, devido à luminosidade recebida (não pode ser nem pouca luz, pois a imagem sai muito escura, nem muita luz, pois a imagem fica ofuscada); o reflexo da luz do sol nos carros também pode interferir na qualidade das fotos. Uma possível melhoria para os próximos estudos seria ir duas vezes no local tirar as fotos dos locais de difícil acesso, uma pela manhã e outra no período da tarde, pois, assim, a luminosidade do dia atingiria de formas diferentes as partes da OAE.

Durante a análise das fotos, não foi possível verificar detalhes como, por exemplo, o tamanho das aberturas das fissuras, pois o sensor de proximidade do VANT não permite que ele se aproxime da estrutura com uma distância menor que 1 metro. Ou seja, o VANT nos permite verificar a existência ou não de patologias em locais de difícil acesso visual e realizar uma análise qualitativa, mas não quantitativa, das patologias encontradas.

Outra consideração importante é que a presença in loco do profissional habilitado para realizar a inspeção de rotina da OAE é essencial, pois somente a análise em escritório das fotos tiradas pelo VANT não seriam suficientes para se ter a real percepção das condições estruturais, funcionais e de durabilidade do Viaduto. Inclusive, alguns locais de fácil acesso (por exemplo, pavimento e guarda-corpo) não ficaram nítidos nas fotos tiradas com o VANT, por isso, a base para a análise destes locais foi a percepção em campo do profissional habilitado e uma melhoria a ser implementada nas futuras inspeções é tirar fotos com uma câmera fotográfica normal, sem o uso de VANT, dos locais de fácil acesso.

Algumas dificuldades foram encontradas durante a realização do voo, como o limite de tempo de duração da bateria (15 minutos) e ataque de pássaros (defesa de território), além disso, não foi o caso deste estudo, mas a realização do trabalho também fica sujeita a impedimentos por chuva ou ventos fortes. A equipe também ficou sujeita à alguns riscos como o de colisão com veículos, árvores e fiação. Segundo Liu et al. (2014) duas grandes vantagens do VANT são baixo custo e grande mobilidade, no entanto, ele possui diversas restrições com relação as condições climáticas, devido à baixa estabilidade no voo.

Devido ao limite de duração da bateria do VANT é necessário um ótimo planejamento do plano de voo, evitando, assim, que alguma parte da OAE seja esquecida ou vistoriada em duplicidade. Para cada OAE deve ser realizado um plano de voo específico, no entanto, sugere-se, a partir desta experiência, que o plano de voo seja focado nos locais de difícil acesso, pois os locais de fácil acesso podem ser verificados e registrados com fotos de uma câmera normal pelo profissional habilitado.

5 APLICATIVO PARA INSPEÇÃO DE CAMPO

Visando facilitar ainda mais o trabalho de campo para a inspeção de rotina das OAEs e, também, reduzir o tempo dedicado em escritório para o preenchimento das fichas da norma, um aplicativo está em fase de desenvolvimento pelas autoras com base na ABNT NBR 9452: 2019. O aplicativo poderá ser instalado em celulares ou *tablets* e utilizado *on line* e *off line*, imputando e organizando os dados, fotos (tiradas pelo VANT ou por câmera do celular/*tablet*) das patologias encontradas e as informações obtidas em campo pelo profissional habilitado para realizar a inspeção de rotina das OAEs.

Segue a apresentação do aplicativo na Figura 03:

Figura 03 – Apresentação do Aplicativo em Desenvolvimento



A intenção é que esse aplicativo permita um trabalho de campo mais dinâmico e organizado, com ou sem acesso à internet. No caso de não ter acesso a internet, os dados serão armazenados (sem um número limite de OAEs a serem inspecionadas) e ao se conectar com a rede esses dados serão transmitidos para um banco de dados *on line*.

Já no escritório o banco de dados gerado será interligado com uma planilha automatizada de tal forma que as informações sejam apresentadas na formatação das fichas da ABNT NBR 9452: 2019. Neste momento os profissionais também podem complementar suas análises.

6 CONCLUSÕES

O veículo aéreo não tripulado é uma ferramenta versátil que já é aplicada na construção civil em diversos seguimentos da área de transportes. Com o estudo de caso realizado, conclui-se que o VANT é uma ferramenta promissora para a inspeção de rotina de Obras de Arte Especiais, que pode facilitar a identificação de patologias em locais de difícil acesso, que traz a possibilidade de uma melhor análise das imagens em escritório e que facilita a identificação da necessidade de manutenção. No entanto, algumas dificuldades foram encontradas, como a influencia da luminosidade na qualidade das imagens obtidas pelo VANT, a falta de detalhamento devido o limite da proximidade do VANT com a estrutura e o limite de tempo da bateria.

O aplicativo que está em desenvolvimento pelas autoras é uma ideia promissora para facilitar e agregar valor ao trabalho de inspeção de rotina de OAEs.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e à Universidade Federal da Bahia (UFBA).

REFERÊNCIAS

AL-KAFF, A.; MARTÍN, D.; GARCÍA, F. LA ESCALERA, A. de; ARMINGOL, J. M. Survey of computer vision algorithms and applications for unmanned aerial vehicles. **Expert Systems with Applications**, v. 92, p. 447–463, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452:** Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2016.

HASSANALIAN, M.; ABDELKEFI, A. Classifications, applications, and design challenges of VANTs: A review. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 91, p. 99–131, 2017.

HASSANALIAN, M.; RICE, D.; ABDELKEFI, A. Evolution of space VANTs for planetary exploration: A review. **Progress in Aerospace Sciences**, v. 97, p. 61–105, 2018.

JURIĆ-KAĆUNIĆ, D.; LIBRIĆ, L.; CAR, M. Application of unmanned aerial vehicles on transport infrastructure network. **Građevinar**, v. 68, n. 4, p. 287-300, 2016.

KARAN, E. P. et al. **A Comprehensive Matrix of Unmanned Aerial Systems Requirements for Potential Applications within a Department of Transportation**. Construction Research Congress: ASCE 2014.

LI, M.; ZHEN, L.; WANG, S. LV, W.; QU, X. Unmanned aerial vehicle scheduling problem for traffic monitoring. **Computers & Industrial Engineering**, v. 122, p. 15–23, 2018.

LIU, P. et al. A review of rotorcraft unmanned aerial vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering. **Smart structures and systems**, v. 13, n. 6, p. 1065–1094,

2014.

LYGOURAS, E.; GASTERATOS, A.; TARCHANIDIS, K.; MITROPOULOS, A. ROLFER: A fully autonomous aerial rescue support system. **Microprocessors and Microsystems**, v. 61, p.32–42, 2018.

MELO, R. R. S. D. **DIRETRIZES PARA INSPEÇÃO DE SEGURANÇA EM CANTEIROS DE OBRA POR MEIO DE IMAGEAMENTO COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)**. 2016.. (Mestre em Engenharia Civil). PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL, UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, Salvador.

MOGILI, R.; DEEPAK, B. B. V. L. **Review on Application of VANT Systems in Precision Agriculture**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND SMART MANUFACTURING. 2018, Chennai, India. **Anais…** Chenai: RoSMa2018, p. 502–509, 2018.

O'DRISCOLL, J. Landscape applications of photogrammetry using unmanned aerial vehicles. **Journal of Archaeological Science: Reports**, v. 22, p. 32–44, 2018.

OMAR, T.; NEHDI, M. L. Remote sensing of concrete bridge decks using unmanned aerial vehicle infrared thermography. **Automation in Construction**, v. 83, p. 360–371, 2017.

PURI, A. **A survey of unmanned aerial vehicles (UAV) for traffic surveillance**. University of South Florida. 2005

RAKHA, T.; GORODETSKY, A. Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using VANTs. **Automation in Construction**, v. 93, p. 252–264, 2018.

RENZO, A. B. D. et al. **PDI para o Monitoramento de Rodovias com Imagens Aéreas Obtidas por VANT**. XXXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS. São Pedro, SP 2017.

ROYER, J. P.; NAWAF, M. M.; MERAD, D.; SACCONE, M.; BIANCHIMANI, O. GARRABOU, J.; LEDOUX, J. B.; LOPEZ-SANZ, A.; DRAP, P. Photogrammetric Surveys and Geometric Processes to Analyse and Monitor Red Coral Colonies. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 6, n. 42, 2018.

STEFANO, G. di; ROMEO, G.; MAZZINI, A.; IAROCCI, A.; HADI, S.; PELPHREY, S. The Lusi VANT: A multidisciplinary tool to access extreme environments. **Marine and Petroleum Geology**, v. 90, p. 26-37, 2018.

YUAN, H.; XIAO, C.; ZHAN, W.; WANG, Y.; SHI, C.; YE, H.; JIANG, K.; YE, Z.; ZHOU, C.; WEN, Y.; LI, Q. Target Detection, Positioning and Tracking Using New UAV Gas Sensor Systems: Simulation and Analysis. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, 2018.