CBPAT 2020 ANAIS
CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
DE 15 A 17 DE ABRIL | FORTALEZA - CE
http://dx.doi.org/10.4322/CBPAT.2020.104
ISBN 978-65-86819-05-2

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA INSPEÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE FACHADAS UTILIZANDO CÂMERA TERMOGRÁFICA INTEGRADA AO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT): REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

SILVA, WILLIANS
Estudante
Escola Politécnica de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
williansperlley-12@hotmail.com

LORDSLEEM, ALBERTO
Professor
Escola Politécnica de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
acasado@poli.br

BALLESTEROS, RAMIRO
Engenheiro Civil
Escola Politécnica de Pernambuco
Pernambuco; Brasil
Ramiro.DBR@hotmail.com

ROCHA, JOAQUIN
Engenheiro Civil
Universidad del Valle
Cochabamba; Bolívia
joaquinaquinorocha@gmail.com

RESUMO

A fachada é o elemento construtivo exterior cuja atenção deve ser prioritária em relação ao projeto, execução e manutenção, tendo em vista ser suscetível ao surgimento de manifestações patológicas que acabam por colocar em risco à segurança dos usuários e a perda de desempenho do edifício. O presente trabalho tem como objetivo apresentar pesquisa relativa ao emprego da câmera termográfica integrada ao Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) ou drone nos processos de inspeção de fachadas. A metodologia contemplou revisão sistemática de bibliografias na área de conhecimento, investigando o funcionamento e as principais características das câmeras termográficas, o uso e integração aos VANTs e os fatores que influenciam na detecção de manifestações patológicas. Os resultados encontrados permitiram verificar que a câmera termográfica integrada ao VANT se mostrou uma ferramenta poderosa na realização dos processos de inspeção, capaz de identificar anomalias térmicas associadas às manifestações patológicas, além das vantagens e limitações do uso em conjunto dessas tecnologias. Como contribuição, obteve-se o desenvolvimento de protocolo de voo elencando as etapas e os procedimentos necessários para o uso da câmera termográfica integrada ao VANT nos procedimentos de inspeção de fachadas.
Palavras-chave: Inspeção de fachadas, termografia infravermelha, drones.

ABSTRACT

The façade is the exterior constructive element whose attention must be given priority to the design, execution and maintenance, in order to be susceptible to the emergence of pathological manifestations that endanger the safety of users and the loss of performance of the building. This paper aims to present research related to the use of thermographic camera integrated with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) or drone in the inspection processes of facades. The methodology included systematic review of bibliographies in the area of knowledge, investigating the operation and main characteristics of thermographic cameras, the use and integration with UAVs and the factors that influence the detection of pathological manifestations. The results showed that the thermographic camera integrated with the UAV proved to be a powerful tool in performing inspection processes, capable of identifying thermal anomalies associated with pathological manifestations, in addition to the advantages and limitations of using these technologies together. As a contribution, the development of the flight protocol was obtained, listing the steps and procedures necessary for the use of the VANT integrated thermal camera in the façade inspection procedures.
Keywords: Facade Inspection, infrared thermography, drones.

1. INSTRUÇÕES GERAIS

A fachada é o elemento construtivo exterior que constitui a envoltória do edifício, sendo responsável por fornecer as condições de habitabilidade, estética e a valorização aos empreendimentos (GRIPP, 2008). No entanto, nem sempre recebe a atenção que necessita em relação ao projeto, execução e manutenção (SILVA, 2007), fato que aumenta a suscetibilidade do desenvolvimento de manifestações patológicas. Bauer *et al.* (2011) afirma que as manifestações patológicas podem interferir na vida útil e no desempenho do sistema de revestimento e, segundo Viégas (2015), tais

ISBN 978-65-86819-05-2

fatores podem gerar desconforto e risco, tanto para as pessoas que utilizam diretamente o empreendimento quanto para os transeuntes de seu entorno.

Em vista disso, é imprescindível o processo de investigação e monitoramento das faces de uma edificação, pois de acordo com Agostinho (2012), tais procedimentos permitem o acompanhamento do comportamento das mesmas ao longo do uso do empreendimento, recolhendo informações que ao serem enviadas para os modelos de análise e decisão permitem acompanhar e detectar avarias. Para Freitas *et al.* (2014) os ensaios destrutivos aplicados em materiais, componentes ou sistemas construtivos tornam-se indesejáveis quando se trata de diagnóstico de problemas no contexto das edificações em uso. Com efeito, o desenvolvimento de técnicas não destrutivas que visem ao diagnóstico de deteriorações nas construções, de forma geral, vem sendo objeto de estudo de muitas pesquisas. A partir daí, o uso da termografia infravermelha e de veículos aéreos não tripulados (VANT) nos processos de investigação de fachadas vem sendo explorado e difundido na sociedade visto os trabalhos de Nascimento (2014), Ellenberg *et al.* (2016), Entrop e Vasenev (2017).

A termografia infravermelha é uma técnica não destrutiva de imagens de sensoriamento remoto utilizada para detectar falhas em equipamentos elétricos, bem como alterações em diferentes partes do edifício, como a cobertura, os sistemas estruturais, os sistemas de vedação em alvenaria e os revestimentos. Uma dessas alterações refere-se à detecção de excessos de umidade e temperatura, responsáveis por danos nos materiais, com reflexos na saúde dos usuários (CORTIZO, 2007; LERMA *et al*., 2011; FREITAS *et al*., 2014). Segundo Cortizo *et al.* (2008), embora a técnica da termografia infravermelha seja amplamente difundida nos países europeus, graças ao acervo histórico, no Brasil sua utilização é relativamente incipiente, seja pelo alto custo dos equipamentos de análise, seja pela dificuldade de aplicação prática.

Em paralelo, o uso de VANT tem sido alvo de estudos no que diz respeito à inspeção de fachadas de edificações para verificar as condições de desempenho e determinar medidas preventivas e corretivas que se fizerem necessárias, em virtude da inerente complexidade (altura, tamanho, dificuldades de acesso e condições exposição) (WITCZUK *et al.,* 2017). O VANT pode reduzir o tempo destas operações de monitoramento, bem como, auxiliar em outros processos de inspeção que colocam em risco a vida humana (ÁLVAREZ *et al.,* 2016). Neste contexto, o presente artigo trata da aplicação de câmera infravermelha integrada aos veículos aéreos não tripulados (VANT) como ferramenta de inspeção e monitoramento de fachadas, explanando acerca dos fatores processuais (Fatores que influenciam na obtenção de termogramas precisos para a identificação de manifestações patológicas), além das vantagens e limitações dessa tecnologia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Termografia Infravermelha

A termografia é uma técnica utilizada na prevenção e no diagnóstico precoce de falhas e outros problemas, tendo seus resultados representados de forma instantânea por meio de termogramas (imagens térmicas representam a distribuição da temperatura superficial do objeto observado e, como tal, registra os dados para fins de futuras análises) durante os processos de inspeção e monitoramento dos objetos estudados (CORTIZO, 2007; LERMA *et al.,* 2011; FREITAS *et al.,* 2014). Os equipamentos de termografia infravermelha captam a radiação térmica, pelo fato de todos os corpos estarem a uma temperatura superior ao zero absoluto, e convertem-na num termograma o qual possui uma escala policromática (cores) ou monocromática (cinza). O fenômeno da radiação infravermelha (IR) foi descoberto por William Herschel em 1800 e, em 1821, houve a descoberta do efeito termoelétrico por Thomas Johann Seebeck, que é a conversão direta da diferença de temperatura em tensão elétrica e vice-versa, sendo esse efeito a base para o funcionamento câmeras térmicas (BRIQUE, 2016). Outrossim, essa técnica pode ser classificada em passiva e ativa, de acordo com a excitação térmica utilizada. Na termografia passiva, onde nenhuma estimulação artificial é utilizada, deve existir uma diferença natural de temperatura entre o objeto em estudo e o meio no qual ele está inserido, que frequentemente está a uma temperatura mais elevada. Em contrapartida, na termografia ativa um estímulo externo é necessário para gerar diferenças relevantes de temperatura (BAUER, *et al.,* 2011; BATISTA, 2019). Diferentes técnicas podem ser empregadas para provocar um fluxo de calor no objeto de estudo, cada qual com características e limitações próprias. A escolha do tipo de estímulo térmico depende das características do objeto a ser testado e do tipo de informação a ser pesquisada (BATISTA, 2019). Por conseguinte, as câmeras termográficas captam a energia infravermelha emitida pelos objetos e convertem em um sinal elétrico e, finalmente, em uma imagem visível, em que cada nível de energia é representado em uma escala de cores (Policromática) ou em uma imagem monocromática cinza, conforme a figura 1.

ISBN 978-65-86819-05-2

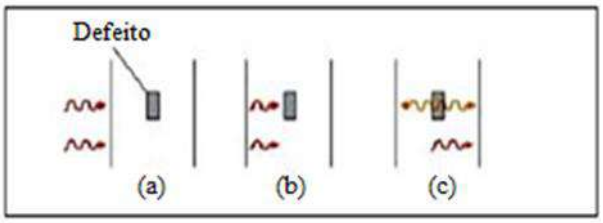

Figura 1: Propagação idealizada de um único pulso de calor em um material [8].

A partir da imagem verifica-se uma propagação idealizada de um único pulso de calor em um material. Inicialmente um impulso de energia é aplicado a superfície, posteriormente o pulso de calor viaja dentro do material e encontra um defeito, e por conseguinte o defeito reflete parcialmente e transmite parcialmente o pulso, que o mesmo é convertido em sinal elétrico na câmera térmica, gerando o termograma. Essa técnica aplicada nos procedimentos de monitoramento de fachadas permite a identificação das principais patologias que atingem as faces do edifício tais como o descolamento de revestimento, fissuras, umidade, conforme se pode observar na figura 2, visto a existência do gradiente de temperatura.

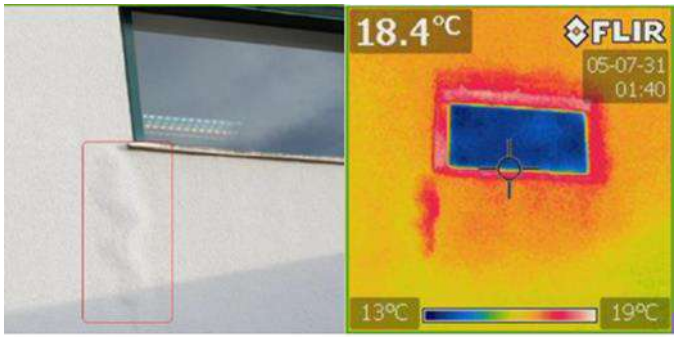

Figura 2: Presença de umidade confinada e infiltração na fachada da edificação. (AGOSTINHO, 2012)

2.2 VANTs

Os VANT´s estão relacionados a uma classe de aeronaves pilotadas remotamente ou de forma automática através da utilização de coordenadas pré-definidas. Os primeiros modelos desenvolvidos surgiram na década de 50 e destinavam-se exclusivamente para fins militares (AGOSTINHO, 2012). A expansão dessa tecnologia para as diversas áreas da sociedade, inclusive a construção civil, se deu devido a agilidade de coleta e processamento de dados, facilidade de manobra das aeronaves, eficiente sistema de captura de imagem, além da redução do risco de segurança das pessoas (FREIMUTH; KÖNIG, 2018). Ademais, são ferramentas eficazes para realização de procedimentos de sensoriamento remoto, sendo o principal argumento para o seu uso a sua capacidade de alcançar locais de difícil acesso e de sensores que podem ser incorporados aos mesmos, como detectores de luz e sensores de distância (LIDAR, em inglês *Light Detection And Ranging*) (SEIBERT; TEIZER, 2014). Em vista disso, atualmente no mercado existem dois tipos de VANTs, onde a diferença básica se refere ao sistema aerodinâmico, sendo ele de asa rotativa ou fixa. O primeiro se assemelha a um helicóptero ou multirotor, são aeronaves compactas de fácil operação e menor custo. Em contrapartida, os de asa fixa apresentam tamanhos variados de acordo com a funcionalidade (JORGE; INAMASU, 2014; MELO; COSTA, 2015).

2.3 A termografia integrada ao VANT

Embora a termografia e os drones sejam alvos de pesquisas, não são comumente estudados de forma conjunta. Analisar os benefícios relacionados a esses dois tópicos motiva a combinação de suas funcionalidades para obter benefícios mútuos (ENTROP; VASENEV, 2017). Os VANTs acoplados a câmeras termográficas são importantes ferramentas para avaliar grandes áreas de forma automatizada e com reduzida demanda de tempo para a execução (VIANA *et al*., 2018). Os principais desafios do método são a baixa resolução de algumas câmeras térmicas, regulamentos que limitam as operações envolvendo VANT à linha visual e a alta dependência do clima (WITCZUK *et al.,* 2017).
Harvey *et al*., afirma que os sensores térmicos são uma opção de carga útil para geração de imagens térmicas aéreas de alta resolução. Esta tecnologia permite o levantamento rápido e seguro de áreas térmicas, muitas vezes presentes em terrenos inacessíveis ou perigosos. Essas imagens coletadas pelo VANT tem o potencial de se tornar uma ferramenta

ISBN 978-65-86819-05-2

fundamental na ciência geotérmica, incluindo levantamentos geológicos, geoquímicos e geofísicos, linha de base ambiental e monitoramento estudos, estudos geotécnicos e obras civis, destacando-se no caso dessa pesquisa, a inspeção de fachadas (CORTIZO, 2007).

Tal ferramenta pode ser utilizada para o mapeamento de perda de calor, além de poder reunir informações térmicas, tais como vazamentos de calor, empregando uma câmera térmica e fazendo o processamento da imagem obtida. Embora, a realização inspeções térmicas seja um processo relativamente fácil para pequenos e médios edifícios, coletar dados térmicos em arranha-céus e telhados é muito mais complicado, sendo um processo perigoso (KAYAN *et al.,* 2018). Assim, a termografia aérea é uma tecnologia que tem sido utilizada nos tempos recentes para gravar imagens térmicas sem a necessidade de acesso aos edifícios, além de ser capaz de alcançar uma área de difícil acesso, como os telhados, enquanto carrega câmeras térmicas e outros equipamentos necessários (CHU *et al.,* 2016).

Portanto, a combinação dos drones e com a termografia por infravermelho permite que as tarefas de manutenção sejam otimizadas, e consequentemente, trazendo vantagens econômicas significativas. Assim, sendo equipado com câmeras térmicas de alta resolução, os VANTs se tornam uma excelente ferramenta para coletar informações térmicas de edifícios (ZHANG *et al.,* 2015; MUÑOZ *et al.,* 2017; RAMÍREZ *et al.,* 2018).

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Verificou-se que apesar da simplicidade de se utilizar o termovisor para obter termogramas durante as inspeções, se não forem levadas em consideração as interferências e as condições ambientais nas quais as imagens foram obtidas, a análise e a interpretação dos termogramas podem levar a conclusões equivocadas (TAKEDA; MAZER, 2018). Além disso, os gradientes térmicos e a turbulência alteram o índice de refração do ar provocando uma redução na qualidade da imagem. Em paralelo, a atmosfera presente entre a fonte emissora e o receptor pode originar perturbações na medição. Logo, deve-se manter a distância de 10 metros entre a fonte emissora e o receptor, corrigindo-se as medições feitas com distâncias superiores (BARREIRA, 2008; COMITTI, 2012; VIÉGAS, 2015). Ademais, em dias com ventos acima de 7m/s não se deve realizar medições com termografia infravermelha, pois os dados obtidos induzirão ao erro da análise térmica do objeto (SEIBERT; TEIZER, 2014).

Outrossim, de acordo com a NBR 15572 (2013), é necessário que o ângulo entre o termovisor e o ponto inspecionado seja o mais perpendicular possível, para que não haja redução na emissividade devido aos ângulos de observação inadequados (maiores que 60º). Assim, Viégas afirma que não se deve permanecer diretamente na frente do alvo para que não haja reflexão do calor do termografista, para tanto é recomendado posicionar-se a uma angulação de mais ou menos 5º, tal como mosta na figura, com relação à horizontal do objeto a ser analisado termicamente (VIÉGAS, 2015).

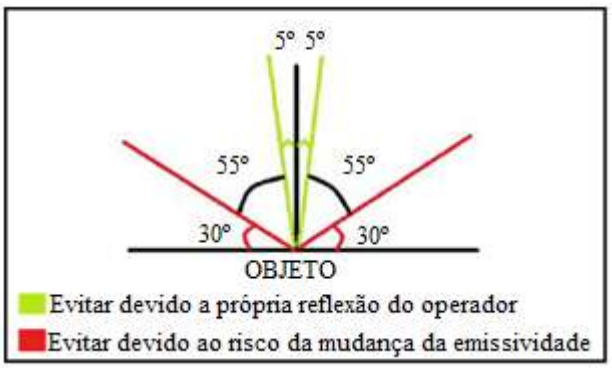

Figura 3: Ângulos de medição: cuidados (VIÉGAS, 2015).

Além disso, foi constatado que, quanto maior e mais superficial a área do defeito, considerando-se estruturas de concreto, a detecção é mais fácil Neste sentido, Farrag, Yehia e Qaddoumi (2016) concluíram que se a relação R/d (R: dimensão curta do defeito e d: profundidade do defeito desde a superfície) é maior do que 1, os defeitos são encontrados; se esta relação R/d for igual a 0,45, são detectáveis até uma profundidade de 10 cm. Ademais, Cortizo (2007) percebeu que nos perfis térmicos apresentado nos termogramas das alvenarias havia uma nítida variação na temperatura superficial. Tal diferença térmica encontrada denota a presença de diferentes materiais no interior da alvenaria, devido as propriedades físicas e químicas bastante distintas dos mesmos.

Em relação ao horário de inspeção, Rocha e Póvoas (2017) afirmam que há divergências entre os autores, mas que esse parâmetro depende das condições ambientais do local do objeto em estudo. Freitas *et al*. (2014) afirma que se verificaram comportamentos distintos em relação aos períodos de medição (seco e chuvoso), aos horários 8h, 15h e 21h.

ISBN 978-65-86819-05-2

Nascimento (2014) realizou medições em horários distintos no período da manhã e da tarde, visto que segundo Barreira (2008) a emissividade de materiais não compostos por metais diminui com o aumento da temperatura. Viégas (2015) decidiu por verificar as medições durante todo o dia (6-18 horas), a fim de avaliar os melhores horários de medição, tanto na parte da manhã como da tarde. Por fim, alguns autores recomendam a inspeção durante a noite para eliminar os efeitos da radiação solar, e ter uma melhor visão entre o defeito e as regiões intactas, evitando falsas detecções (UEMOTO, 2000; WATASE *et al.,* 2015; HIASA *et al.,* 2016; ROCHA; PÓVOAS, 2017). Em paralelo a isso, Freitas *et al*. (2014) observou também uma leve tendência de haver maiores diferenças de temperatura (entre as regiões com e sem fissuras) nas fachadas mais aquecidas, assim como se verificou maior dispersão dessas variações medidas para as fachadas mais quentes. Entrop e Vasenev (2017) consideravam que pelo menos uma distância de 5 m entre o VANT e os objetos de pesquisa fosse considerada segura. Todavia na realização dos ensaios, essa distância foi aumentada para 10m, garantindo tanto a veracidade dos dados obtidos, quanto a segurança da aeronave. Outrossim, Freimuth e König (2018) constataram que a realização de simulações e criação de modelos voo proporcionam uma inspeção mais precisa e um melhor rendimento por parte do VANT, visto as características de velocidade e necessidade de recarga da bateria.

3.1 Vantagens e Limitações

Quadro 1 – Vantagens e limitações do uso da câmera termográfica integrada ao VANT.

VANTAGENS	LIMITAÇÕES	AUTORES
• Capacidade de alcançar áreas de difícil acesso; • Obter dados em tempo real; • Reduzir riscos operacionais; • Aumentar a segurança do operador e dos colaboradores envolvidos; • Redução no tempo de inspeção, gerando economia e agilizando o planejamento de recuperação da estrutura; • Maior confiabilidade se comparada aos métodos convencionais; • Tecnologia rápida, não-invasiva, não destrutiva e sem contato; • Pode ser aplicada a uma distância considerável para se analisar e inspecionar grandes áreas em pequenos intervalos de tempo.	• Autonomia de voo entre 30 minutos a 2 horas, em modelos com menos de 150 Kg; • Condições climáticas favoráveis, implicando tanto no voo quanto na emissividade calorífica da superfície; • Sujeito as regulamentações e restrições locais para realização do voo, não sendo possível ser realizado em qualquer localidade; • Interferência nos resultados devido a reflexões caso seja utilizada em um prédio que tenha edifícios vizinhos com fachadas espelhadas; • Alterações em leituras obtidas a distâncias superiores a 10m entre a câmera e objeto estudado; • Não é possível medir a espessura e a profundidade da manifestação patológica.	Yehia *et al.* (2007)*;* Agostinho (2012); Sham *et al* (2012)*;* Jorge e Inamasu (2014); Seibert e Teizer (2014); Domingues . (2015); Melo e Costa (2015); Pajares (2015); Watase *et al*. (2015); Zhang *et al.* (2015); Ariwoola (2016); Ellenberg *et al.* (2016); Hiasa *et al*. (2016); Rehman *et al*. (2016); Entrop e Vasenev (2017); Muñoz *et. al*. (2017); Witczuk *et al*. (2017); Freimuth e König (2018); Ramírez *et al*. (2018); Andrade *et al*. (2019);

Por meio do quadro 1 é possível constatar que as principais vantagens do uso dessa tecnologia estão ligadas ao fato da otimização dos procedimentos de inspeção, obtendo dados em tempo real e em um menor intervalo de tempo. Em contrapartida, suas limitações estão relacionadas aos requisitos necessários para a obtenção de um termograma preciso, destacando-se as condições climáticas favoráveis e leituras efetuadas a partir de ângulos e distâncias que não interfiram nos resultados.

Por fim, um dos fatores preponderantes para o uso da termografia aérea está relacionado ao custo da operação e dos equipamentos, no entanto, realizando uma comparação dos benefícios dessa ferramenta, em relação aos métodos convencionais, verifica-se as suas potencialidades, visto a velocidade de obtenção dos dados e a segurança do responsável pela inspeção (ARIWOOLA, 2016).

3.2 Protocolo de voo

Segundo Agostinho (2012) o planejamento e desenvolvimento do projeto poderá variar consoante a capacidade de voo, sendo influenciando pela a precisão e a trajetória dos mesmos. Todavia, de acordo com Seibert e Teizer (2014),

ISBN 978-65-86819-05-2

percebe-se que as ferramentas de preparação de voo comercialmente disponíveis, em alguns casos ainda são insuficientes para se realizar determinadas inspeções, cabendo ao operador criar suas próprias ferramentas e o seus protocolos. Em decorrência disso, o protocolo abaixo foi desenvolvido baseado no trabalho de diversos autores (AGOSTINHO, 2012; SEIBERT; TEIZER, 2014; ARIWOOLA, 2016; ELLENBERG *et al.,* 2016; ENTROP; VASENEV, 2017; FREIMUTH; KÖNIG, 2016).

Quadro 2 – Protocolo de voo.

ETAPA	PROCEDIMETOS
1. REALIZAR ANÁLISE DAS INTERÇÕES DINÂMICAS DO VOO	a. Regulamentação sobre o uso de VANT b. Condições climáticas c. Objeto a ser estudado d. Escolha dos equipamentos
2. DESCREVER A ÁREA DE VOO	a. Realização de um voo teste b. Determinação das áreas de risco c. Determinação dos ângulos e distâncias de leitura
3. CONSTRUIR TRAJETÓRIA DE VOO	a. Deve-se evitar as áreas de risco b. Autonomia de voo viável, sendo possível realizar a mesma com 75% de carga do VANT
4. REALIZAR A INSPEÇÃO	a. Após a realização das etapas anteriores e constatar a viabilidade para realização do procedimento.

Analisando-se o quadro 2 verifica-se que a etapa inicial está relacionada aos pré-requisitos para se realizar a inspeção utilizando a câmera termográfica integrada ao VANT, verificando a regulamentação de tais equipamentos no local onde será efetuado o procedimento, as condições climáticas, sendo necessário ventos inferiores a 7 m/s e não recomendado sua realização em dias nublados, ter conhecimento do objeto a ser estuado, como dimensões e localização, e a partir daí realizar as escolhas dos equipamentos que garantam uma autonomia de voo para tal procedimento. Posteriormente, deve-se determinar a área que o VANT estará se deslocando ao longo da inspeção, estando-se atento as áreas de riscos, tais como: fluxo de pessoas, animais e obstáculos, e estabelecendo os ângulos e as distâncias em que as leituras serão efetuadas, de tal forma que as distâncias não sejam superiores a 10 m e que os ângulos obedeçam os cuidados que foram apresentados na figura 3, assegurando a precisão dos dados obtidos. A partir daí, deve-se construir o caminho que será percorrido pelo VANT de tal forma que não haja deslocamento em áreas de riscos, e que o aparelho possua uma autonomia de voo suficiente, sendo possível concluir a trajetória com 75% de carga na bateria, visto a energia consumida nos procedimentos de pouso e decolagem. Por fim, concluída as etapas anteriores pode-se realizar a inspeção.

4. CONCLUSÕES

É possível afirmar que a termografia integrada ao VANT se mostra como uma ferramenta capaz de identificar anomalias térmicas associadas a manifestações patológicas. Ademais, verifica-se que esse mecanismo otimiza os processos de inspeção de fachadas, permitindo a caracterização de áreas de difícil acesso, sem pôr em risco a segurança dos responsáveis pela execução do procedimento, e fornecendo dados com velocidade e precisão, que contribuirão nos ensaios de diagnóstico e no desenvolvimento de técnicas para a manutenção das fachadas. Todavia, ficou constatado que a mesma ainda apresenta algumas limitações, sendo vulnerável a capacidade de carga da bateria do VANT, as oscilações climáticas, como precipitação e velocidade do vento, que implicam no voo e nos dados obtidos no termograma, além das reflexões dos objetos vizinhos ao que está sendo estudado que podem interferir nos resultados. Em contrapartida, os trabalhos que vem sendo desenvolvidos pelas empresas especializadas nesses equipamentos e as pesquisas de ampliação e utilização desses modelos tendem a suprir tais desvantagens e garantir cada vez mais a eficácia dessa ferramenta.

ISBN 978-65-86819-05-2

REFERÊNCIAS

ARIWOOLA, R. T**. Use of Drone and Infrared Camera for a Campus Building Envelope Study**. East Tennessee State University. (2016). p. 83. https://dc.etsu.edu/etd/3018

AGOSTINHO, S. L. **Inspeção e Monitorização de Estruturas em Engenharia Civil – Utilização de UAV na Inspeção e Monitorização**. Madeira, Portugal, 2012. 105p. Dissertação (Mestrado), Universidade da Madeira.

ANDRADE A, R. P; RESENDE, M. M.; MARANHÃO, F. L.; PORTELLA, F.; BULZICO, B. Estado da arte da utilização da técnica de termografia embarcada em drones para inspeção de revestimentos de fachadas. **In: 2º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos**, São Paulo, Brasil. (2019) p. 5.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉRCNICAS. NBR 15572. **Ensaios não destrutivos — Termografia — Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BARREIRA E**. Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios**. Universidade do Porto. Portugal, 2008. p. 198.

BATISTA, T. S. **Avaliação do desempenho da termografia infravermelha em diferentes espessuras e profundidades de trincas em edificações.** Universidade de Pernambuco, 2019, p. 109.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; ANTUNES, G. R.; LEAL, F. E. Identification and Quantification of Pathologies in Facades of New Buildings in Brasília. **In: XII DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components**, Porto, Portugal, (2011).

BAUER, E.; FREITAS, V. P.; MUSTELIER, N., BARREIRA, E.; FREITAS, S. **Infrared Termography – Evaluation of the results reproducibility. Structural Survey**. V.33. No. 1, pp. 20-35, 2015. DOI: 10.1108/SS-05-2014-0021

BRIQUE, S. K. **Emprego da termografia infravermelha no diagnóstico de falhas de aderência de peças cerâmicas utilizadas em fachadas de edifícios**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. p. 180.

CHU, A-M.; WESTERHOFF1, L.; SHEPPARD, S.; STOREY, S.; GOODHEW, J.; FOX, M.; GOODHEW, S.; PAHL, S.; HIGGINS, C. **Exploring the Use of Thermal Imagery for the Promotion of Residential Energy Efficiency. Report prepared for the City of Vancouver**. 2016. Availabe at: http://calp2016.sites.olt.ubc.ca/files/2016/05/Thermal-Imaging-Report.pdf

COMITTI, A. Engenharia de manutenção: Uso da Termografia. **Revista Saber Eletrônica**, V.47, No. 459, pp. 14-19, 2012.

CORTIZO, E. C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: ênfase em edificações do patrimônio histórico**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. p. 178.

DOMINGUES, A. D. **Identificação de manifestações patológicas em fachadas prediais com revestimento cerâmico, utilizando a técnica de termografia de infravermelho**. Universidade Católica de Brasília, 2015. p. 29.

ELLENBERG, A., KONTSOS, A., MOON, F., BARTOLI, I. Bridge deck delamination identification from unmanned aerial vehicle infrared imagery. **Automation in Construction**, V.72, pp. 155-165, 2016. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.024

ENTROP, A. G., VASENEV, A. Infrared drones in the construction industry: designing a protocol for building thermography procedures. **Energy Procedia**, V.132, pp. 63-68, 2017. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.636

FARRAG, S., YEHIA, S., QADDOUMI, N. Investigation of Mix-Variation Effect on Defect-Detection Ability Using Infrared Thermography as a Nondestructive Evaluation Technique. **J. Bridge Eng**., V.21, No. 3, pp. 1-15, 2016.

ISBN 978-65-86819-05-2

FREIMUTH, H., KÖNIG, M. Planning and executing construction inspections with unmanned aerial vehicles. **Automation in Construction**, V.96, pp. 540–553, 2018. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.024

FREITAS, J. G., CARASEK, H., CASCUDO, O. Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura", **Ambiente Construído**, V.14, No. 1, pp. 57-73, 2014.

FREITAS, S. S., FREITAS, V. P., BARREIRA, E. Detection of façade plaster detachments using infrared thermography – A nondestructive technique. **Construction and Building Materials**, V.70, pp. 80–87, 2014. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.094

GRINZATO, E., LUDWIG, N., CADELANO, G., BERTUCCI, M., GARGANO, M., BISON, P. (2011), "Infrared Thermography For Moisture Detection: a laboratory study and in-situ test", **Materials Evaluation**, V.69, pp. 97-104.

GRIPP, R. A. A. **Importância do Projeto de Revestimento de Fachada para a Redução de Patologias**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008, p. 80.

HARVEY, M. C., ROWLAND, J. V., LUKETINA, K. M. Drone with thermal infrared camera provides high resolution georeferenced imagery of the Waikite geothermal area, New Zealand. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, V.325, pp. 61-69, 2016. DOI:10.1016/j.jvolgeores.2016.06.014

HIASA, S., CATBAS, F., MATSUMOTO, M., MITANI, K.Monitoring concrete bridge decks using infrared thermography with high speed vehicles. **Structural Monitoring and Maintenance**, V.3, No. 3, pp. 277-296, 2016. https://doi.org/10.12989/smm.2016.3.3.277

J. H. A. ROCHA, Y. V. PÓVOAS. A termografia infravermelha como um ensaio não destrutivo para a inspeção de pontes de concreto armado: Revisão do estado da arte. **Revista ALCONPAT**, 7 (3), pp. 200-214, 2017. http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.223

JORGE, L. A. C., INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. **In: A. Bernadi, J. Naime, A. Resende, L. Bassoi, Y. Inamasu (Ed.), Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.** Brasília, DF: Embrapa, pp. 109-134, 2014.

KAYAN,H; ESLAMPANAH, R; YEGANLI, F; ASKAR, M. Heat leakage detection and surveiallance using aerial thermography drone. **In: 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)**, Izmir, Turkey, pp. 1-4, 2018.

LERMA, J. L., CABRELLES, M., PORTALÉS, C. Multitemporal thermal analysis to detect moisture on a building façade. **Construction and Building Materials**, V.25, pp. 2190-2197, 2011. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.10.007

MELO, R. R. S., COSTA, D. B. Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para inspeção de logística em canteiros de obra. **In: SIBRAGEC-ELAGEC**, São Carlos, pp. 674-681, 2015.

MUÑOZ, C. Q. G; MARQUEZ, F. P. G; LEV, B; ARCOS, A. New pipe notch detection and location method for short distances employing ultrasonic guided waves. **Acta Acustica united with Acustica**, V.103, No. 5, pp. 772-781, 2017. https://doi.org/10.3813/AAA.919106

NASCIMENTO, M. L. M. **Utilização de drone e termografia na detecção de manifestações patológicas em edificações**. Universidade Católica de Brasília. p. 21, 2014.

O. T. TAKEDA; W. MAZER. Potencial da análise termográfica para avaliar manifestações patológicas em sistemas de revestimentos de fachadas. **Revista ALCONPAT**, 8 (1), pp. 38 – 50, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.181

PAJARES, G. Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs). **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, V.81, pp. 281-329, 2015. https://doi.org/10.14358/PERS.81.4.281

ISBN 978-65-86819-05-2

RAMÍREZ, I. S; MARUGÁN, A. P; MÁRQUEZ, F. P. G. Remotely Piloted Aircraft System and Engineering Management: A Real Case Study. In: Xu J., Cooke F., Gen M., Ahmed S. (eds) **Proceedings of the Twelfth International Conference on Management Science and Engineering Management**. Springer, Cham. pp. 1173-1185, 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93351-1_92

REHMAN, S; IBRAHIM, Z; MEMON, S; JAMEEL, M. Nondestructive test methods for concrete bridges: A review. **Construction and Building Materials**, V.107, No. 15, pp. 58-86, 2016. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.011

SHAM, J., LO, T., MEMON, S. Verification and application of continuous surface temperature monitoring technique for investigation of nocturnal sensible heat release characteristics by building fabrics. **Energy Build**., V.53, pp. 108–116, 2012. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.018

SIEBERT, S., TEIZER, J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using na Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. **Automation in Construction**, V.41, pp. 1-14, 2014; https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.01.004

SILVA, A. F. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado: Estudo de caso em edifícios em Florianópolis**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2007, p. 190.

UEMOTO, T. Maintenance of concrete structure and application of nondestructive inspection in Japan. In: T. Uemoto (Ed.), Proc. Non Destructive Testing in Civil Eng., **ELSEVIER**, 2000, Kidlington: OX (UK), (2000) pp. 1–11, 2000.

VIANA, L. A., ZAMBOLIM, L., SOUSA, T. V., TOMAZ, D. C. Potencial uso de câmera termal acoplada a VANT para monitoramento de culturas. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, V.12, No. 3, pp. 286-298, 2018.

VIÉGAS, D. J. A. **Utilização da termografia infravermelha em fachadas para verificação de descolamento de revestimento**. Universidade de Pernambuco, p. 165, 2015.

WATASE, A., BIRGUL, R., HIASA, S., MATSUMOTO, M., MITANI, K., CATBAS, F. Practical identification of favorable time windows for infrared thermography for concrete bridge evaluation", **Construction and Building Materials**, V.101, No. 1, pp. 1016-1030, 2015. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.156

WITCZUK, J., PAGACZ, S., ZMARZ, A., CYPEL, M. Exploring the feasibility of unmanned aerial vehicles and thermal imaging for ungulate surveys in forests - preliminary results. **International Journal of Remote Sensing**, V.39, pp. 5504-552, 2017. DOI:10.1080/01431161.2017.1390621

YEHIA, S; ADUDAYYEH, O; NABULSI, S; ABDELQADER, I. Detection of common defects in concrete bridge decks using nondestructive evaluation techniques. **Journal of Bridge Engineering**, V.12, No. 2, pp. 215-225, 2007. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2007)12:2(215)

ZHANG, J; JUNG, J; SOHN, G; COHEN, M. Thermal Infrared Inspection of Roof Insulation Using Unmanned Aerial Vehicles. **In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, International Conference on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatic**s, Toronto, Canada, pp. 1-6, 2015.