

Inspeção de fachadas com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT): estudo exploratório

R. D. B. Ruiz^{1*} , A. C. Lordsleem Júnior¹ , J. H. A. Rocha² 

* Autor de Contato: Ramiro.DBR@hotmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.517>

Recepção: 07/10/2020 | Aceitação: 16/12/2020 | Publicação: 01/01/2021

RESUMO

O objetivo desta pesquisa consistiu em avaliar o uso de VANT como ferramenta visual para a inspeção de manifestações patológicas em fachadas a través de um estudo exploratório. Na atualidade, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) assumem uma crescente relevância na construção civil como novo mecanismo de obtenção de dados e inspeção visual, otimizando o tempo. A estratégia de pesquisa considera três etapas distintas: revisão bibliográfica, o procedimento experimental e, finalmente o processamento de dados, objetivando verificar a viabilidade do procedimento de inspeção. Evidencia-se a conveniência de utilização do VANT particularmente onde o acesso é difícil, o que pode reduzir tempo, custos e gerar maior segurança, além da reconstrução 3D da edificação para ser inspecionada e gerar diagnósticos mais certos.

Palavras-chave: VANT; inspeção predial; inspeção visual; monitoramento; fotos aéreas.

Citar como: Silva, Ruiz, R. D. B., Lordsleem Júnior, A. C., Rocha, J. H. A. (2021), “*Inspeção de fachadas com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT): estudo exploratório*”, Revista ALCONPAT, 11 (1), pp. 88 – 104, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v11i1.517>

¹ Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Brasil.

² Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Tecnología, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia.

Contribuição de cada autor

Neste trabalho, o autor R.D.B Ruiz contribuiu com ideia original, experimentação, coleta de dados, redação do trabalho e a discussão de resultados, o autor A.C. Lordsleem Júnior contribuiu com redação do trabalho e a discussão de resultados, e o autor JHA Rocha contribuiu com a revisão da redação do trabalho e a discussão de resultados.

Licença Creative Commons

Copyright (2021) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no terceiro número do ano 2021, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do segundo número do ano de 2021.

Inspection of facades with Unmanned Aerial Vehicles (UAV): an exploratory study

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) as a visual tool for the inspection of pathological manifestations in facades, through an exploratory study. Currently, the relevance of UAVs is growing as a new mechanism for obtaining data and visual inspection of buildings, optimizing time. The research strategy had three distinct steps: a literature review, an experimental procedure, and data processing, aiming to verify the viability of the inspection procedure. There is evidence of the convenience of UAV use, particularly where access is difficult, which reduces time and cost, generates greater security, and allows 3D reconstruction of the building under inspection, generating more accurate diagnoses.

Keywords: UAV; property inspection; visual inspection; monitoring; aerial photos.

Inspección de fachadas con Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT): estudio exploratorio

RESUMEN

El objetivo de esta investigación consistió en evaluar el uso de VANT como herramienta visual para la inspección de manifestaciones patológicas en fachadas a través de un estudio exploratorio. En la actualidad, los Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT) asumen una creciente relevancia en la construcción civil como nuevo mecanismo de obtención de datos e inspección visual, optimizando el tiempo. La estrategia de investigación considera tres etapas distintas: revisión bibliográfica, el procedimiento experimental y, finalmente, el procesamiento de datos, con el objetivo de verificar la viabilidad del procedimiento de inspección. Se evidencia la conveniencia de utilizar el VANT particularmente donde el acceso es difícil, lo que puede reducir tiempo, costos y generar mayor seguridad, además de la reconstrucción 3D de la edificación para ser inspeccionada y generar diagnósticos más certeros.

Palabras clave: VANT; inspección predial; inspección visual; monitoreo; fotos aéreas.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos para o uso exclusivo do título da revista No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

A inspeção visual de fachadas das edificações é uma atividade que tem como objetivo avaliar o estado de conservação da vedação vertical e os diferentes elementos que a compõem, fornecendo diretrizes para uma manutenção eficaz e de custo-benefício adequado. Com essa prática pode-se garantir o bom funcionamento do sistema de vedação vertical, permitindo cumprir as funções para as quais foi construído e, possivelmente, ser estendida a sua vida útil (Pires et al., 2015; Flores-Colen et al., 2008).

Para esse fim, a metodologia eficaz que reduz tanto o tempo quanto o custo dessa atividade é a inspeção visual com uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) (Melo e Costa, 2015). Com ajuda dessa tecnologia é possível realizar uma filmagem completa e captura de fotografias em alta resolução HD (High Definition) de todos os principais pontos investigados. A investigação detalhista pode registrar problemas não observados a olho nu visto do térreo, como por exemplo: infiltrações, descolamento ou furos no revestimento e/ou fissuras e trincas na fachada (Tondelo e Barth, 2019).

Atualmente, no Brasil a inspeção visual de edificações é realizada, em sua maioria, pelo método tradicional. O profissional desta atividade profissional (alpinismo industrial) pode realizar a verificação visual e o registro fotográfico dos principais pontos a serem analisados, no entanto, as variáveis custo e tempo são superiores quando comparadas a vistoria com uso de VANT. Conforme dados divulgados pelo Ministério Público, 40% dos acidentes de trabalho no Brasil estão relacionados a quedas de trabalhadores em altura (EXAME, 2018).

Assim, esta ferramenta denominada VANT refere-se a uma classe de aeronaves pilotadas remotamente ou de forma automática através da utilização de coordenadas pré-definidas, sendo uma tecnologia emergente conhecida por seu papel em aplicações militares (Irizarry e Costa, 2016). Mais recentemente, tanto no Brasil quanto em outros países o uso potencial desses veículos aéreos em ambientes civis vem se tornando cada dia mais comum em áreas como agricultura, silvicultura, arqueologia, arquitetura e construção civil (Roca et al., 2013; Máthé e Buşoniu, 2015; Morgenthal e Hallermann, 2015; Nikolic et al., 2013; Hung et al., 2018; Yang et al., 2015; De Melo et al., 2017; Falorca e Lanzinha, 2020).

Apenas no ano de 2017 foi publicada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) a normativa brasileira que regula os requisitos gerais para as aeronaves não tripuladas de uso civil, a norma Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC –E nº 94 (ANAC, 2017). Este regulamento especial estabelece as condições para a operação de VANT no território brasileiro considerando o estágio do desenvolvimento atual, objetivando-se promover seu uso seguro e sustentável.

O uso de VANT na indústria da construção civil ainda é limitado (Melo e Costa, 2015), embora perceba-se que essa tecnologia pode ser utilizada de diversas maneiras. Neste contexto, merece uma destacada atenção a realização da inspeção visual em construções civis de grande porte 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). O VANT pode reduzir o tempo destas operações de monitoramento, bem como, auxiliar em outros processos de inspeção que podem colocar em risco a vida humana (Álvares et al., 2016).

Neste sentido, o objetivo desta pesquisa é avaliar uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) como ferramenta visual para inspeção de manifestações patológicas em fachadas a través de um estudo exploratório, com o intuito de verificar a viabilidade de sua utilização e visando o desenvolvimento de diretrizes que integram a coleta de imagens aéreas, processamento de dados e análise visual.

2. VANT NA INSPEÇÃO VISUAL

Existem diferentes tipos de VANT úteis para o propósito da inspeção visual na indústria da construção civil. Dentre eles, os sustentados por meio de asas rotatórias, quando comparados com os de asas fixas, permitem deslocamentos mais rápidos e maior versatilidade nos voos, eles são efetivos na coleta de imagens horizontais em áreas de mediana extensão como foi aplicado no caso de estudo de Vera (2016).

Do mesmo modo, a versatilidade desta aeronave permite a sua movimentação em todos os eixos possíveis, sendo eficaz na captura de imagens verticais simples e verticais oblíquas como é apresentado nos casos de estudo de Mader et al. (2016), Morgenthal e Hallermann (2015) e Reagan et al. (2018) na detecção de superfícies ou elementos específicos, constituindo assim, uma ferramenta útil para a inspeção visual da vedação vertical ou, como o caso de estudo de Irizarry e Costa (2016), uma ferramenta visual para o gerenciamento do canteiro de obra. Na Figura 1 é apresentado o resumo das principais vantagens e desvantagens dos veículos com asas fixas e rotatórias.

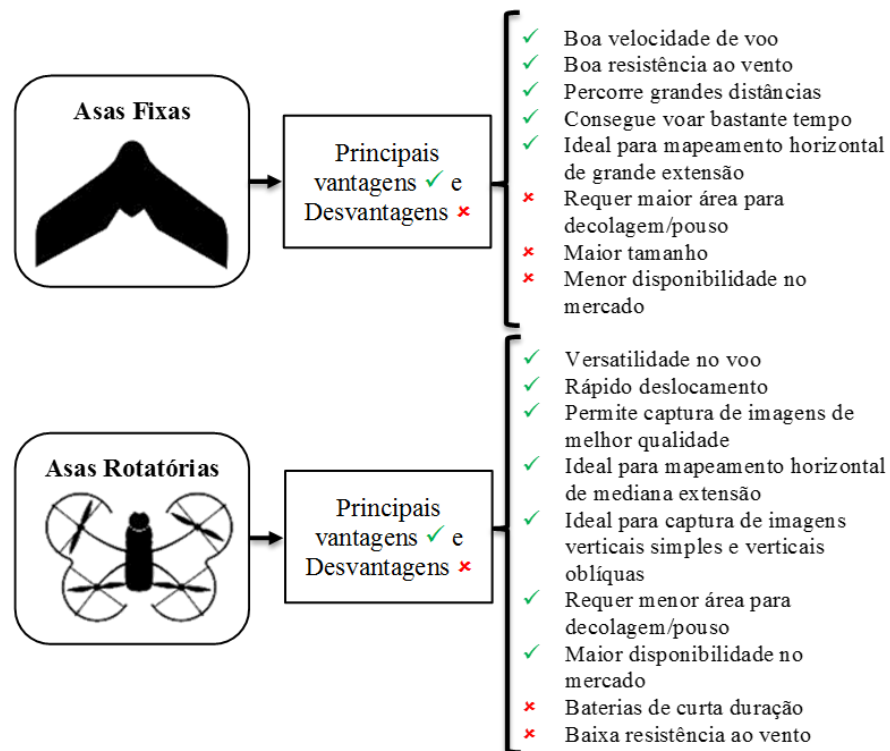


Figura 1. Vantagens e desvantagens do VANT em Função ao tipo de asas.

Segundo *International Civil Aviation Organization* (ICAO, 2017) qualquer aeronave destinada a voar sem um piloto a bordo é referida como RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*). Os VANT de asas rotatórias usados nos estudos enquadram-se na classificação RPAS Classe 3 da ANAC, consequentemente tem restrições e requerimentos menores para os voos destas aeronaves, viabilizando seu uso em áreas urbanas e canteiros de obras (Brasil, 2017).

Do mesmo modo esses veículos comumente são simples de pilotar, a sustentação é dada pelo conjunto de motores controlados por um sistema eletrônico sofisticado que geralmente garante uma boa estabilidade da aeronave, que permite decolagem e pouso vertical. Portanto, são a opção principal para carregar câmeras e outros objetos sem grandes deslocamentos do ponto de decolagem. Na Figura 2 são apresentadas as características mínimas sugeridas para o equipamento com o intuito da inspeção visual de fachadas.

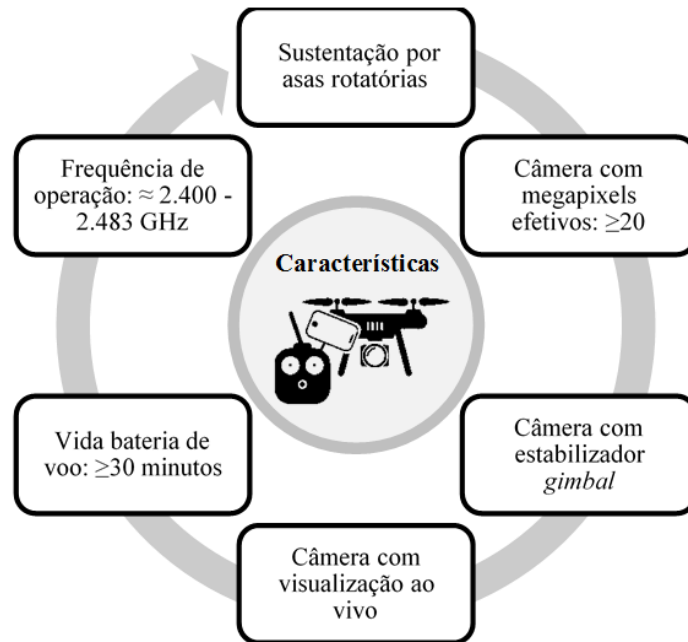


Figura 2. Características mínimas do equipamento para inspeção visual de fachadas.

Vale esclarecer que a facilidade de aquisição de um VANT atualmente não torna o usuário apto a pilotar o equipamento. Existem regras, normas e procedimentos para se tornar piloto de um Veículo Aéreo Não Tripulado (Aguilar, 2018), elas são especificadas nas RBAC-E nº 94. Resolução n. 419 (Brasil, 2017).

Nos últimos anos tem havido um aumento no uso de VANT para a inspeção de estruturas civis, especificamente edificações, devido ao seu longo alcance, aplicações de fotogrametria área, registro eficiente de dados, velocidade, segurança e redução de custos entre outros (Izaray e Costa, 2016; Shariq e Hughes, 2020; Groso et al., 2020). Na Figura 3 as vantagens reportadas do uso de VANT na revisão bibliográfica são comparadas a um dos métodos tradicionais mais utilizados, o alpinismo.

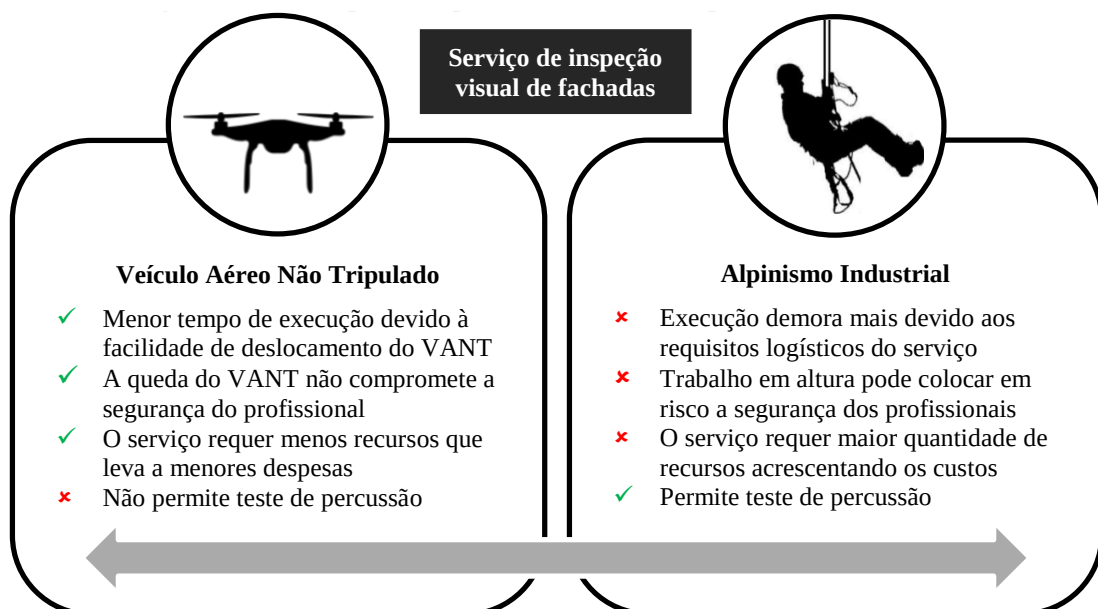


Figura 3. Comparação procedimentos de inspeção visual de fachadas.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Baseando-se nas diretrizes inferidas da revisão bibliográfica e objetivando verificar a viabilidade do uso de VANT para inspeção de manifestações patológicas de fachadas, escolheu-se o Instituto de Inovação Tecnológica (IIT) da Universidade de Pernambuco. O prédio (Figura 4) do instituto possui quatro pavimentos e está localizado no PARQTEL (Parque Tecnológico de Eletroeletrônicos) de Pernambuco, no bairro de curado (Figura 4). Esta edificação foi selecionada por suas características geométricas (múltiplas fachadas) e sua localização isolada em relação a outros edifícios na localidade, característica ideal para o treinamento e aperfeiçoamento dos voos com o VANT e o desenvolvimento dos protocolos de voo.

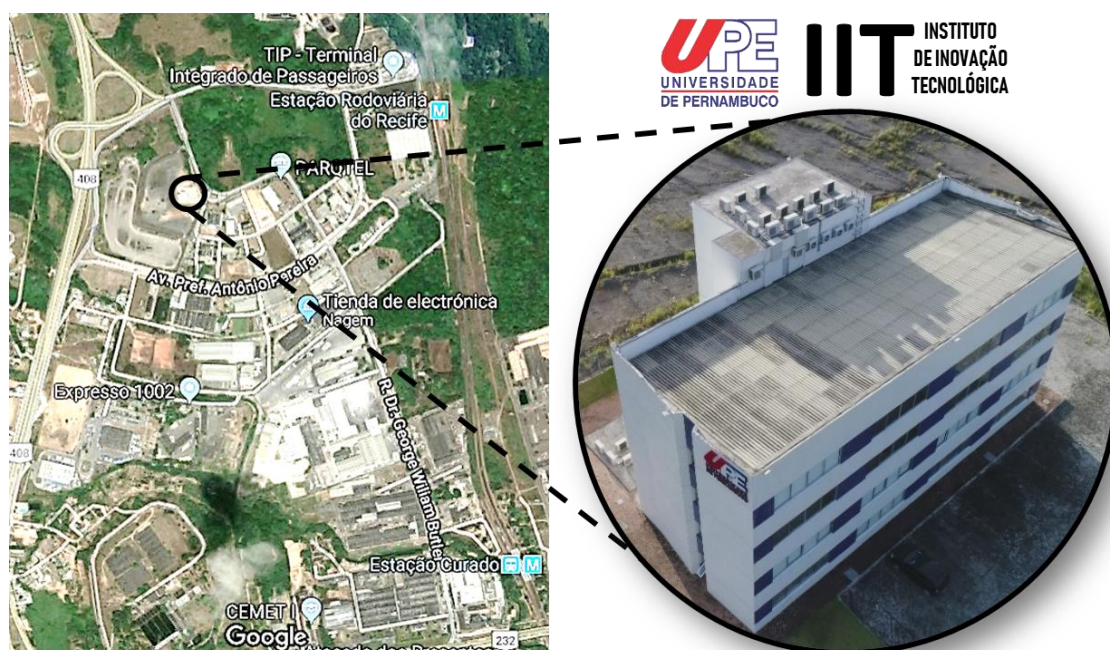


Figura 4. Instituto de Inovação Tecnológica da UPE. Adaptação de Google (2018).

Em seguida, foi realizado o treinamento no que diz respeito à operação do VANT, nesta fase foram realizados voos testes na edificação, com o objetivo de coletar dados e analisar os itens possíveis de serem visualizados através dos ativos visuais obtidos, a fim de refinar o método de coleta e os procedimentos técnicos necessários para que tal operação ocorra dentro dos critérios de segurança exigidos. Em resumo, esta etapa incluiu o treinamento da tecnologia, assim como a compreensão técnica do equipamento a ser usado.

Para a execução dos levantamentos de campo, utilizou-se o VANT modelo Phantom 4 Pro V2.0, fabricado pela DJI, equipado com câmera de 1" e 20 MP, sendo capaz de gravar vídeos em 4K 60 fps (fotos por segundo) e disparar no modo de disparo contínuo a 14 fps. Dirigido por um mando a distância com display HD de alta iluminação incorporado, além de possuir uma bateria de lítio que oferece 30 minutos de tempo de voo máximo. A Tabela 1 apresenta algumas características adicionais do Phantom 4 Pro V2.0.

Tabela 1. Características técnicas do Phantom 4 Pro V2.0

Especificações	Phantom 4 Pro V2.0
Peso (bateria e hélices incluídas)	1388 g
Tempo máximo de voo	30 min
Sistema de visão	Frente, trás e baixo
Detecção de obstáculos	Dianteiro e traseiro
	Infravermelho esquerdo e direito
Sistema de transmissão de vídeo	<i>Lightbridge</i>
Lente	FOV 84 ° 8,8 mm/24 mm (formato equivalente a 35 mm) f/2,8 - f/11 foco automático a 1 m - ∞
Frequência de operação	2,4 GHz/5,8 GHz
	A transmissão de 5,8 GHz não está disponível em algumas regiones debido a las regulaciones locales

Fuente: DJI (2017)

A estratégia de captura de dados seguiu os conceitos básicos de fotogrametria digital, visando o paralelismo entre suas posições e a perpendicularidade ao plano do objeto de interesse, como demonstrado na Figura 5, e que cada parte do objeto fosse fotografada pelo menos em duas posições diferentes, garantindo a sobreposição das imagens (Groetelaars, 2015). Esses aspectos são importantes para maximizar os procedimentos referentes as correlações requeridas para a construção de ortomosaicos ou reconstruções tridimensionais.

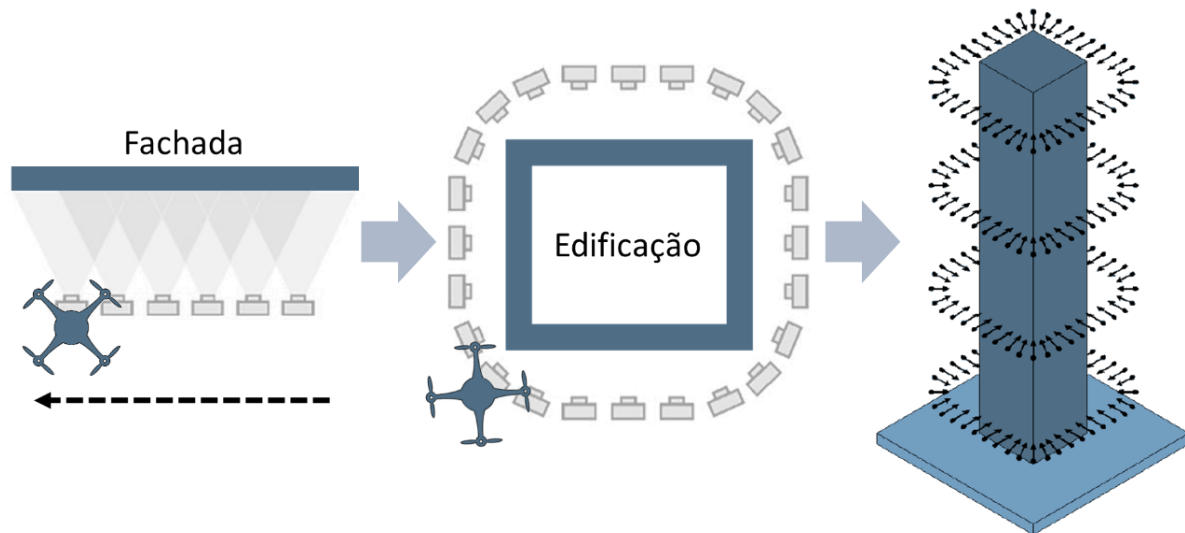


Figura 5. Estratégia para Captura de imagens. Adaptação de Melo Jr (2016).

No total foram realizados 8 voos experimentais em 4 testes de campo, já que é contabilizada a realização de um voo a cada decolagem e pouso realizados, inclusive para a troca de memória SD ou recarregar a bateria.

Os protocolos das atividades a realizar incluem o preenchimento do formulário para reunião de planejamento (padroniza a coleta de dados para elaboração do plano de voo, definindo os pontos de decolagem e pouso e indicando as áreas recobertas para modelagem 3D); e o checklist para missão com VANT (cadastro de dados técnicos do voo, além de checklist de todos os procedimentos necessários para operação do VANT em condições adequadas de segurança). Os testes foram iniciados em agosto de 2018, resultando em aproximadamente 2 horas e 30 minutos

de voo para treinamento, conforme apresentado na Tabela 2 na planilha *Flight Log* (relação de todos os dados físicos dos voos, registrados no aplicativo a ser adotado e no *Checklist* para missão). Dentre as informações registradas durante o voo por meio do App DJI Go, destacam-se, a quantidade de ativos visuais coletados (fotos e vídeos), distância, altitude máxima, duração de voo, sobreposição fotográfica e velocidade de voo.

Tabela 2. Dados de voos experimentais (Planilha *Flight Log*)

Nº	Hora	Número de fotos	Distância (m)	Altitude máxima (m)	Duração de voo (min)	Sobreposição fotográfica (%)	Velocidade de voo (km/h)
1	11:14	2	20	5	15	0	10
2	11:40	35	8	16	12	75	4
3	09:52	108	4	24	27	75	3
4	11:31	95	4	35	28	75	3
5	14:15	42	6	92	8	75	3
6	14:27	67	8	35	19	75	4
7	15:50	87	8	36	25	75	4
8	15:25	35	50	120	24	90	10

4. PROCESSAMENTO DOS DADOS

Após a verificação da qualidade dos ativos visuais, evidencia-se que as fotos coletadas nos voos número 2, 6 e 7, apresentam uma excelente qualidade visual e ótima relação de distâncias, a 8 m de distância da fachada, e, consequentemente, a uma distância entre as estações de 1,8 m no sentido vertical e de 3,2 m no sentido horizontal.

Conforme Ballesteros (2020) e Pierrot-Deseilligny et al. (2011), essa relação entre a distância da posição das estações na tomada fotográfica e distância das estações para a fachada fotografada resulta ideal para a reconstrução 3D, visto que se essa relação for muito pequena, a correlação automática dos pontos é facilitada, mas a precisão geométrica na reconstrução digital da fachada é prejudicada.

Por conseguinte, as 189 fotografias coletadas a 8 m da fachada foram selecionadas para o processamento, as mesmas foram processadas utilizando a técnica Stereo Matching, sendo o processo de encontrar pontos correspondentes (Smartmatches) em duas ou mais imagens.

Assim, a reconstrução em 3D é possível desde que existam pelo menos 2 imagens da mesma cena, obtidas de posições diferentes (centros de projeções distintos) tal que, conhecendo a posição, a orientação e a distância focal, é possível encontrar a posição de um ponto no espaço a partir das coordenadas bidimensionais das imagens pelo princípio da geometria epipolar, conseguindo encontrar as relações geométricas entre os pontos 3D a partir de suas projeções nas as imagens 2D (Melo Jr., 2016).

Em outras palavras, os softwares de digitalização baseada em fotografias comparam pequenas áreas compostas por conjunto de Píxeis da imagem digital presentes em duas ou mais fotos que, por sua vez, são formadas pelas texturas ou marcas de contrastes da superfície do objeto ou cena. O processo de comparação segue-se até o programa encontrar as melhores correspondências entre as imagens. Quando as correspondências ótimas ou ideais são encontradas, a informação da posição e orientação já computada para as fotografias é usada para calcular a localização do ponto no espaço.

Para isso, o software de Stereo Matching selecionado para a reconstrução em 3D foi o *Agisoft*

PhotoScan. Esta etapa de pesquisa teve por objetivo a definição dos procedimentos e etapas necessárias para desenvolvimento adequado do mapeamento 3D e geração de ortomosaicos com uso do VANT. Por conseguinte, a correspondente sequência das etapas de processamento no *software Agisoft PhotoScan* e os parâmetros utilizados no processamento é descrita na Tabela 3.

Tabela 3. Fluxo de trabalho e parâmetros usados *Photo Scan Agisoft*.

Etapa	Parâmetros	
1.- Align Photos	Accuracy:	Highest
	Pair preselection:	Generic
	Nuvem Esparsa:	31.578
2.- Build Dense Cloud	Quality:	High
	Depth filtering:	Aggressive
	Nuvem densa:	22.767.991
3.- Build mesh	Surface type:	Arbitrary 3D
	Face count:	High
	Faces:	533.755
4.- Build texture	Mapping mode:	Adaptive orthophoto
	Blending mode:	Mosaic
5.- Build Orthomosaic	Type	Planar
	Blending mode:	Mosaic

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira etapa do processamento consistiu no alinhamento das imagens (*Align Photos*), no qual o *Agisoft PhotoScan* busca semelhanças entre as imagens. O resultado final é a geração da nuvem de Tie Points ou pontos de amarração, ela é o produto básico para geração da nuvem de pontos densificadas, modelos 3D e ponto ligação entre as ortofotos no processo de mosaicagem e geração do mosaico de ortofotos.

Nesta etapa também foram inseridos os pontos de apoio coletados em campo utilizados para melhorar a precisão posicional da nuvem de pontos, seguido da eliminação dos pontos não desejados ou ruídos, como: as áreas de superfície mal capturadas, áreas pertencentes a outros objetos e pontos distantes. Obtendo como resultado final desta etapa o modelo apresentado na Figura 6, uma nuvem de pontos esparsa ou de baixa densidade, que também define a geometria da edificação.

Na segunda etapa foi construída a *Dense Cloud* ou nuvem densa de pontos 3D com a filtragem dos pontos não desejados ou ruídos. Assim, a partir das posições estimadas da câmera, o software calcula as informações de profundidade para cada câmera para serem combinadas num único ponto da nuvem densa.

Na configuração da densificação escolheu no nível mais alto, gerando mais de 22 milhões pontos. A principal função desta etapa é densificar a nuvem de pontos gerada no processo anterior, basicamente o software irá aumentar a quantidade de pontos na nuvem de pontos diminuindo os espaços vazios para representar melhor a área mapeada, o modelo gerado nesta etapa é apresentado na Figura 7, com a maioria dos detalhes geométricos da edificação reconstruídos digitalmente.

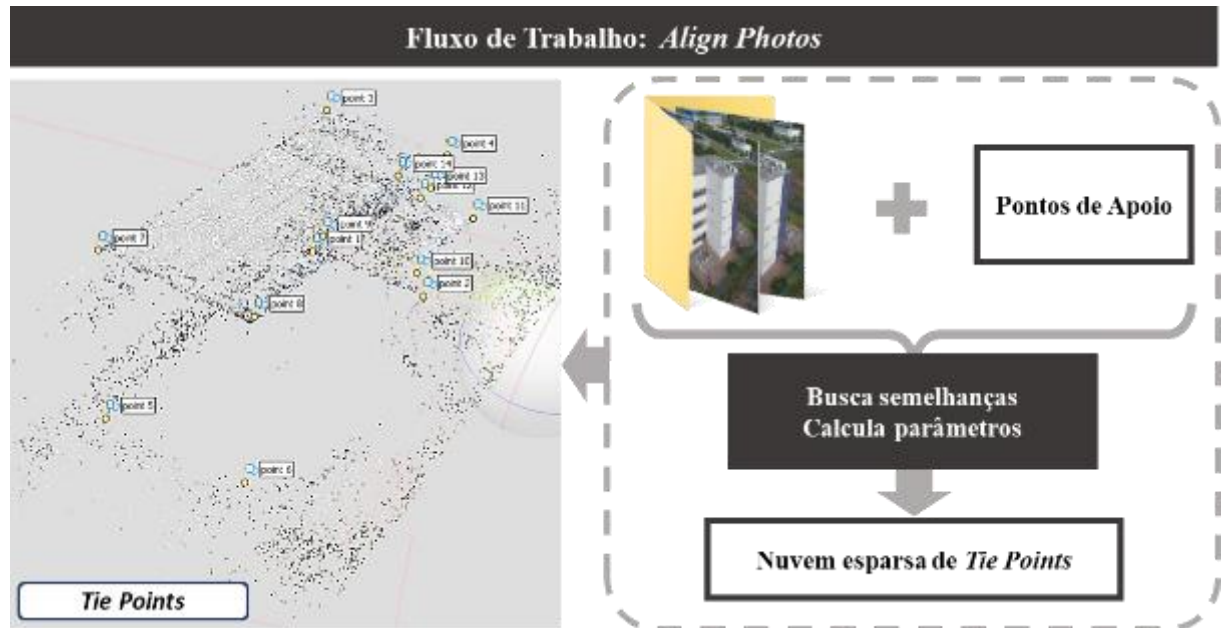


Figura 6. Nuvem de Tie Points IIT-UPE.

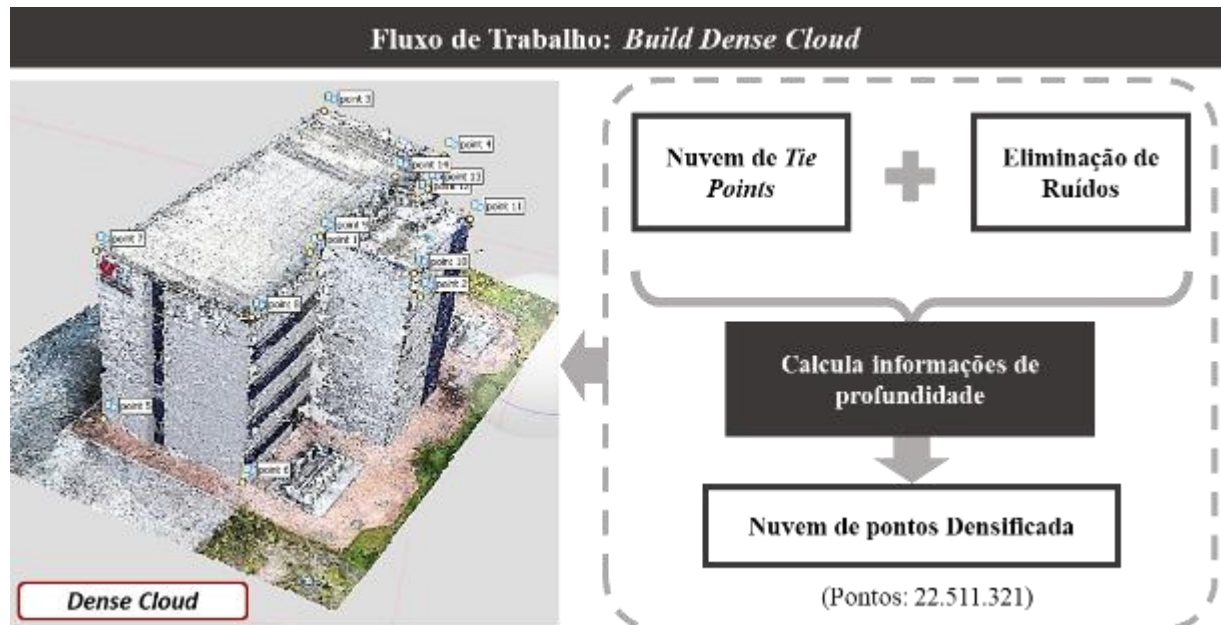


Figura 7. Nuvem de pontos Densificada IIT-UPE.

Na terceira etapa foi construída a *Mesh* ou malha, gerada a partir do agrupamento de vértices da nuvem densa de pontos. O modelo 3D gerado nesta etapa é apresentado na Figura 8, com mais de 500 mil faces ou polígonos adjacentes, compartilhando arestas da superfície de fronteira do objeto. Note-se que a quantidade necessária de faces para um modelo estará relacionada ao nível de detalhamento que se espera de um modelo e quanto maior esse nível, maior também será o custo computacional, ou seja, tempo necessário para processamento e, enfim, o desempenho requerido do hardware. Se o modelo for gerado a partir da nuvem de pontos esparsa, naturalmente a quantidade de faces e vértices reduzirá.

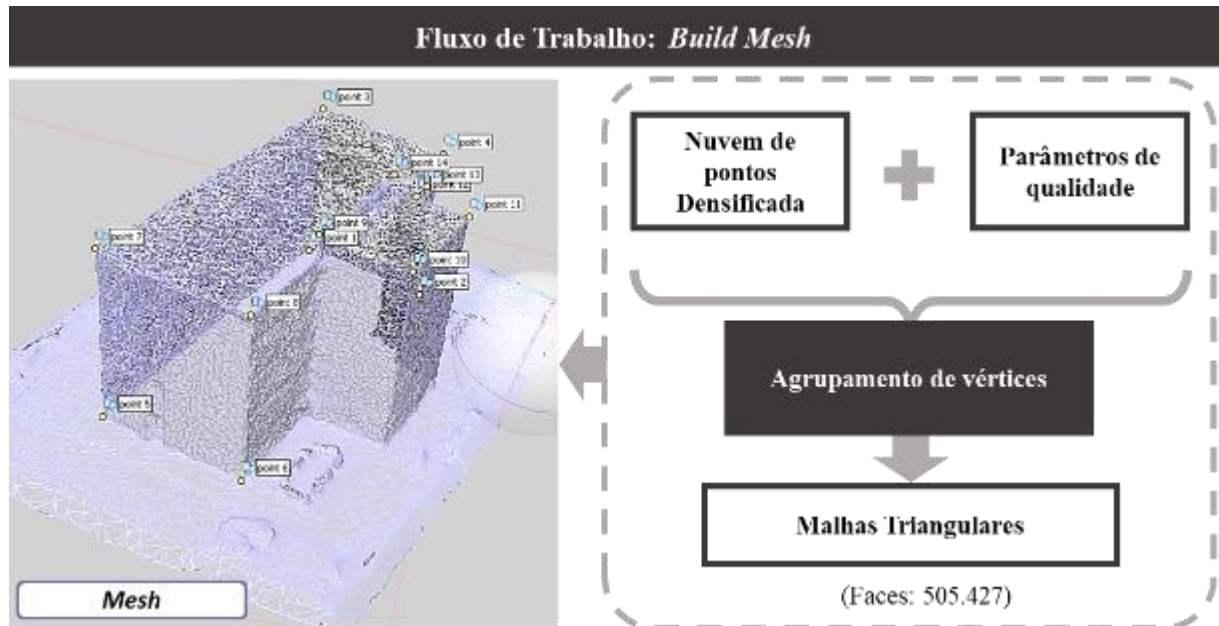


Figura 8. Modelo de Malhas Triangulares IIT-UPE.

Na quinta e última etapa, para gerar o ortomosaico inicialmente foi realizado o processo de ortorretificação das imagens, onde as feições das imagens são projetadas ortogonalmente, com escala constante, não apresentando os deslocamentos devidos ao relevo e à inclinação da câmera. Com as imagens devidamente corrigidas o software realiza a mosaicagem das ortofotos e cria um único produto.

Na quarta etapa, o objetivo é somente aplicar uma textura no modelo tridimensional para melhorar o aspecto visual do modelo, com o intuito de permitir a visualização de patologias na fachada. O modelo 3D texturizado gerado nesta etapa é apresentado na Figura 9.

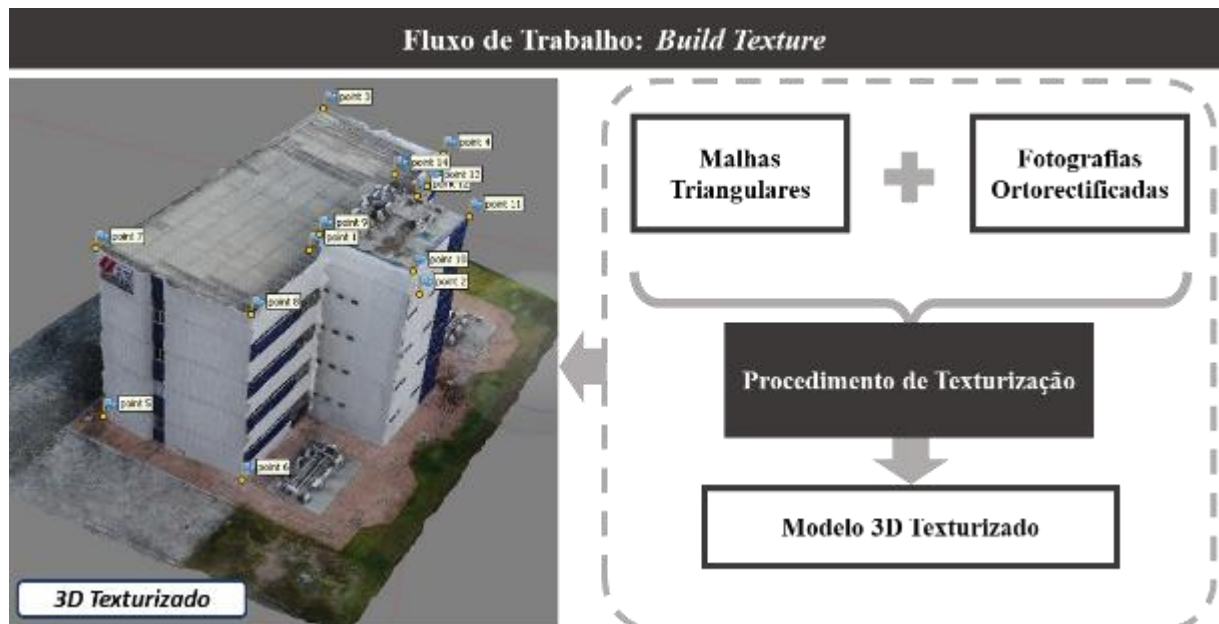


Figura 9. Modelo Texturizado IIT-UPE.

O software *Agisoft PhotoScan* permite que ortomosaicos sejam exportados a partir dos modelos gerados anteriormente. Para exemplificar, a Figura 10 apresenta o ortomosaico correspondente à fachada Sul da edificação IIT.



Figura 10. Modelo Ortomosaico da Fachada Sul IIT-UPE.

O produto final do processamento proporcionou o modelo digital 3D mostrado na Figura 11, com resultado satisfatório em termos da sua reconstrução geométrica, ele é exportável em vários formatos para seus diversos usos, de acordo com a aplicação que se deseja.

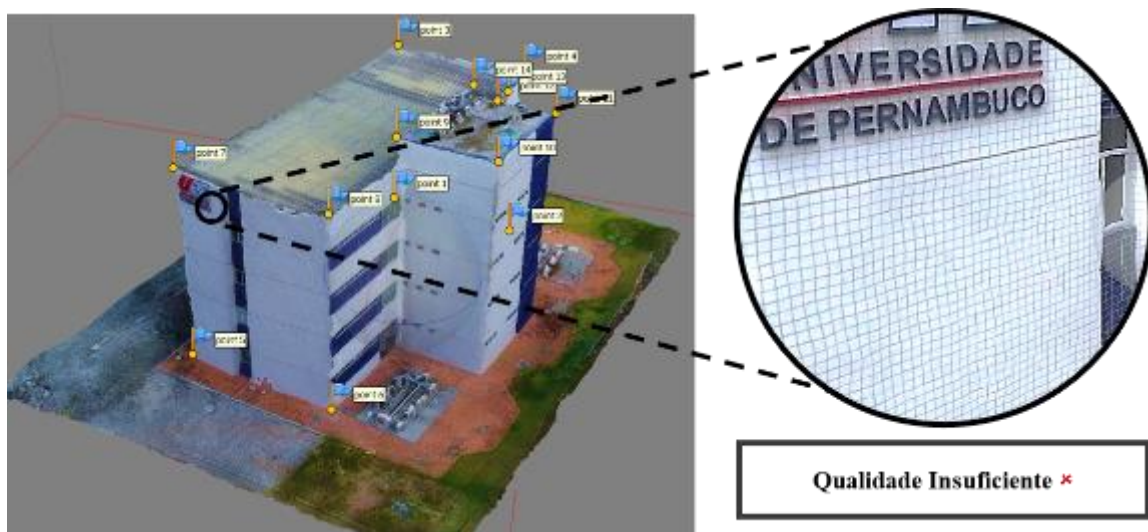


Figura 11. Produto final Modelo 3D Texturizado IIT-UPE

Entretanto, a qualidade deste modelo é insuficiente para o intuito da detecção de patologias nas fachadas, isto devido a que o modelo apresenta distorções nas fachadas texturizadas.

Autores como Roca et al. (2018) e Rakha e Gorodetsky (2018) também geraram modelos 3D em seus respectivos estudos, destacando algumas limitações. Rodriguez-Gonzalvez et al. (2014) também apontam que a reconstrução 3D possui limitações quanto à qualidade e integridade da estrutura inspecionada.

Para um resultado mais criterioso foram criados os ortomosaicos de cada fachada da edificação. Essas imagens ortorectificadas atingem a qualidade suficiente para o procedimento de detecção de manifestações patológicas por inspeção visual.

Isto é demonstrado na Figura 12, na qual o ortomosaico da fachada sul permitiu o descobrimento de fissuração no revestimento cerâmico, início de eflorescência na fachada e, patologias decorrentes de processos biológicos (Mofo e Bolor).

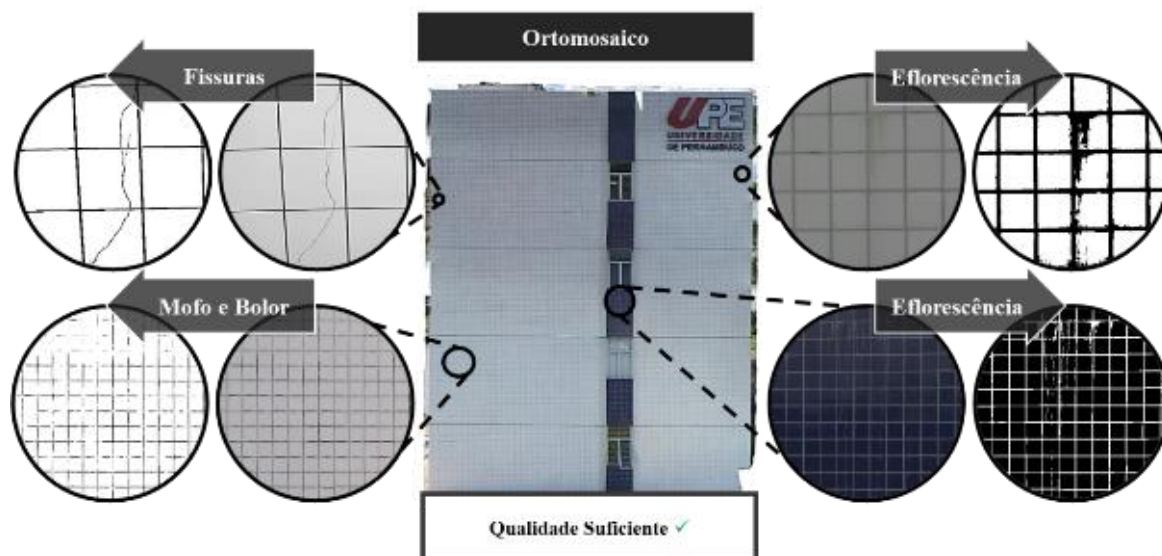


Figura 12. Detecção Manifestações Patológicas da Fachada Sul IIT-UPE.

Por fim, após a elaboração da revisão bibliográfica e o desenvolvimento do estudo experimental, percebeu-se a viabilidade do uso de VANT para o serviço de detecção de manifestações patológicas em fachadas, como também foi reportado na pesquisa de Tondelo e Barth (2019).

A utilização de VANT para inspeção de fachadas apresenta-se como uma alternativa ao método tradicional, fornecendo as informações necessárias para o diagnóstico da estrutura. Os resultados são obtidos quando é disponibilizado um VANT com multirrotor e uma câmera HD, conforme utilizado na presente pesquisa e apontado por Falorca e Laninha (2020).

Embora o presente estudo tenha se limitado ao uso de VANT como ferramenta visual para a inspeção de manifestações patológicas de fachadas; no entanto, o uso de diferentes técnicas, como técnicas de aprendizagem profundo (*deep learning*) podem ser combinadas para auxiliar e automatizar a inspeção visual, conforme proposto por Ruiz et al. (2021).

Observa-se a necessidade da criação de um procedimento que permita estruturar passo a passo a técnica para o serviço de inspeção visual de fachadas com uso desta tecnologia. O procedimento abrangeria um protocolo de voo adequado para esses fins além de idealizar as etapas de captura, armazenamento, processamento e post processamento de dados. Por conseguinte, conseguiria-se garantir as vantagens vislumbradas deste procedimento em relação ao modelo tradicional de inspeção, que inclui alpinismo industrial.

6. CONCLUSÕES

Após a elaboração deste estudo, percebeu-se a importância da escolha correta do VANT para as diferentes funções que ele pode cumprir, eles apresentam grandes vantagens e desvantagens de acordo às diferentes características de desenho, principalmente em função do tipo de sustentação: por asas rotatórias ou asas fixas. Para o caso específico de inspeção visual de fachadas, como já foi abordado, são ideais os veículos com asas rotatórias, gimbal e câmera aérea, permitindo agilidade e qualidade na filmagem e captura de imagens em alta resolução (*high definition* - HD) dos diferentes pontos da vedação vertical ou elemento da análise. Assim, esse procedimento acurado pode expor problemas não observados a olho nu visto do terreno, como por exemplo: infiltrações, descolamento, mofo, bolor, trincas e fissuras no revestimento.

O conveniente enquadramento deste tipo de VANT na legislação brasileira e suas restrições menores, permitem a comercialização em maior escala e geralmente a menor preço que seus pares de asas fixas, consequentemente sendo mais acessíveis ao público. Também é recomendado verificar que o veículo cumpre as características mínimas antes discutidas. Na atualidade o VANT comercial ainda tem limitações técnicas, principalmente na duração da bateria e capacidade de carga, porém observa-se que as perspectivas futuras apontam ao desenvolvimento contínuo desta tecnologia, mitigando assim ditas limitações e ampliando o cenário desta tecnologia dentro da indústria da construção civil.

De acordo com o procedimento experimental e os resultados preliminares, cabe destacar que o *software Agisoft PhotoScan* permite uma ampla faixa de operação quanto à qualidade do resultado, desde resultados de baixa resolução a resultados altamente elaborados, com um custo computacional crescente neste sentido.

No que diz respeito à análise da qualidade dos mapeamentos 3D desenvolvidos, em adequação à utilização proposta, com base nos resultados obtidos é possível afirmar que a qualidade dos modelos 3D texturizados ainda não atingem a qualidade suficiente para o intuito de detecção de patologias nas fachadas, embora seu uso ainda não tenha sido descartado, a partir do preceito que essa qualidade pode ser melhorada com câmeras mais potentes e procedimentos de captura de imagem mais treinados. Por outro lado, os ortomosaicos gerados a partir destes modelos, têm a qualidade requerida para a inspeção visual. Enfim, os ativos visuais obtidos apontam que ambos podem ser adequados para a utilização proposta, apresentando resultados gerais satisfatórios.

Há evidências suficientes que enfatizam as diferentes vantagens do uso deste veículo como ferramenta eficiente e flexível para a inspeção na indústria da construção civil. Enfim, essas vantagens permitem um serviço com maior segurança, maior velocidade e custos mais baixos, exigindo menos recursos comparado com método tradicional de alpinismo industrial. Assim, com o desenvolvimento cada vez maior desta tecnologia, aliada a outros tipos de câmeras e sensores, permite o acesso a locais antes inacessíveis ao ser humano e a outras tecnologias, vislumbrando seu uso não apenas na inspeção visual de fachadas, mas também em outras áreas da construção civil.

7. ACKNOWLEDGEMENTS

This study was carried out with the support of the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel - Brazil - (CAPES) - Financing Code 001.

8. REFERÊNCIAS

- Agostinho, S. L. (2012), “*Inspeção e Monitorização de Estruturas em Engenharia Civil – Utilização de UAV na Inspeção e Monitorização*”, Masther’s Thesis, Universidade da Madeira, p. 105.
- Álvares, J., Costa, D. B., Melo, R. R. S., Bello, A. (2016). “*Estudo exploratório de mapeamento 3D de canteiros de obras utilizando veículos aéreos não tripulados*” in: VI ENTAC, São Paulo: São Paulo (Brasil).
- Ballesteros, R. (2020), “*Inspeção de manifestações patológicas de fachadas utilizando Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT): estudo exploratório*”, Masther’s Thesis, Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, p. 220.
- Brasil. Agência Nacional de Aviação Civil. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil - RBAC-E nº 94. Resolução n. 419, 2 de maio de 2017. Brasília, 2017.
- De Melo, R., Costa, D., Álvares, J., Irizarry, J. (2017), *Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites*. Safety Science. 98:174-185. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.06.008>
- DJI (2017). Phantom 4 Pro Homepage. Recuperado em 26 de setembro de 2020 de https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20170719/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_User_Manual_EN.pdf
- Emelianov, S., Bulgakow, A., Sayfeddine, D. (2014). “Aerial laser inspection of buildings facades using quadrotor” in: Creative Construction Conference, Prague (Czech Republic).
- EXAME. Revista Online Grupo Abril. (2016). Recuperado em 26 de setembro de 2020 de <https://www.exame.abril.com.br>
- Falorca, J. F., Lanzinha, J. C. G. (2020). *Facade inspections with drones–theoretical analysis and exploratory tests*. International Journal of Building Pathology and Adaptation, ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-07-2019-0063>
- Flores-Colen, I., De Brito, J., De Freitas, V. (2018). *Stains in facades’ rendering – Diagnosis and maintenance techniques’ classification*. Construction and Building Materials. 22(3):211-221. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.08.023>
- Groetelaars, N. J. (2015), “*Criação de modelos BIM a partir de nuvens de pontos: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica*”, Doctoral Dissertation, Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura, Brasil.
- Grosso, R., Mecca, U., Moglia, G., Prizzon, F., Rebaudengo, M. (2020). *Collecting Built Environment Information Using UAVs: Time and Applicability in Building Inspection Activities*. Sustainability. 12:4731. <https://doi.org/10.3390/su12114731>
- Hung, M. N. W. B., Sampaio, T. V. M., Schultz, G. B., Siefert, C. A. C., Lange, D. R., Marangon, F. H. S., Santos, I. (2018). *Levantamento com veículo aéreo não tripulado para geração de modelo digital do terreno em bacia experimental com vegetação florestal esparsa*. Revista Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise. 43:215-231. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v43i0.56621>
- ICAO - International Civil Aviation Organization. (2017). Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) concept of operations for international IFR operations. ICAO (USA), p. 30.
- Irizarry, J., Costa, D.B. (2016). *Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks*. Journal of Management in Engineering. 32(3):1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000422](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000422)
- Kim, S., Irizarry, J., Costa, D. B., Mendes, A. T. C. (2016). “*Lessons learned from unmanned aerial system-based 3D mapping experiments*” in: 52nd ASC Annual International Conference, Provo: Utah (USA).

- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gotzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P., Kleijnen, J., Moher, D. (2009). *The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration*. BMJ, 339:b2700–b2700. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>
- Mader, D., Blaskow, R., Westfeld, P., Weller, C. (2016). *Potential of UAV-Based laser scanner and multispectral camera data in building inspection*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLI-B1:1135-1142. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B1-1135-2016>
- Máthé, K., Buşoniu, L. (2015). *Vision and Control for UAVs: A Survey of General Methods and of Inexpensive Platforms for Infrastructure Inspection*. Sensors. 15(7):14887-14916. <https://doi.org/10.3390/s150714887>
- Melo Jr., C. M. (2016), “*Methodology for generating façade damage maps from unmanned aerial vehicle photographs and digital image processing*”, Doctoral Dissertation, Universidad de Brasília, Brasil.
- Melo, R. R. S., Costa, D. B. (2015). “Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para inspeção de logística em canteiros de obra” in: SIBRAGEC-ELAGEC, São Carlos: São Paulo (Brasil).
- Morgenthal, G., Hallermann, N. (2014). *Quality Assessment of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Visual Inspection of Structures*. Advances in Structural Engineering. 17(3):289-302. <https://doi.org/10.1260/1369-4332.17.3.289>
- Nascimento, M. L. M. (2017), “*Utilização de drone e termografia na detecção de manifestações patológicas em edificações*”, Monograph, Universidade Católica de Brasília, p. 21.
- Nikolic, J., Burri, M., Rehder, J., Leutenegger, S., Huerzeler, C., Siegwart, R. (2013). “A UAV system for inspection of industrial facilities” in: 2013 IEEE Aerospace Conference, Big Sky: Montana (USA). <https://doi.org/10.1109/AERO.2013.6496959>
- Pacheco, C., Vieira, G. (2017). “*Metodologias para Inspeções de Fachadas de Edifícios*” in: IV CIRMARE - Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios, São Paulo: São Paulo (Brasil).
- Pierrot-Deseilligny, M., De Luca, L., Remondino, F. (2011). *Automated image-based procedures for accurate artifacts 3D modeling and orthoimage generation*. Geoinformatics CTU FCE. 6:291-299. <https://doi.org/10.14311/gi.6.36>
- Piórkowski, D. T. (2008). “*Rectification and Intermediate View synthesis*”, Monograph, Universitat Politècnica de Catalunya, p. 47.
- Pires, R., De Brito, J., Amaro, B. (2015). *Inspection, Diagnosis, and Rehabilitation System of Painted Rendered Façades*. Journal of Performance of Constructed Facilities. 29(2):1-9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000534](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000534)
- Rakha, T., Gorodetsky, A. (2018). *Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using drones*. Automation in Construction. 93:252–264. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.002>
- Reagan, D., Sabato, A., Niezrecki, C. (2018). Feasibility of using digital image correlation for unmanned aerial vehicle structural health monitoring of bridges. Structural Health Monitoring. 17(5):1056-1072. <https://doi.org/10.1177/1475921717735326>
- Roca, R., Lagüela, S., Díaz-Vilariño, L., Armesto, J., Arias, P. (2013). *Low-cost aerial unit for outdoor inspection of building façades*. Automation in Construction. 36:128-135. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.020>
- Rodriguez-Gonzalvez, P., Gonzalez-Aguilera, D., Lopez-Jimenez, G., Picon-Cabrera, I. (2014). *Image-based modeling of built environment from an unmanned aerial system*. Automation in Construction. 48:44-52. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.08.010>

- Ruiz, R. D. B., Lordsleem Júnior, A. C., Fernandes, B. J. T., Oliveira, S. C. (2021). Unmanned Aerial Vehicles and Digital Image Processing with Deep Learning for the Detection of Pathological Manifestations on Facades. In: Toledo Santos E., Scheer S. (eds) Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. ICCCBE 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 98. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_76
- Shariq, M. H., Hughes, B. R. (2020). *Revolutionising building inspection techniques to meet large-scale energy demands: A review of the state-of-the-art*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 130:109979. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109979>
- Tondelo, P. G., Barth, F. (2019). *Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT*. PARC Pesquisa Em Arquitetura E Construção, 10, e019009. <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652817>
- Vera-Rozo, E. (2016). *Medición de contaminación mediante UAV (Vehículo Aéreo no Tripulado)*. Mundo FESC. 6(11): 16-26.
- Yang, X., Qin, X., Wang, J., Wang, J., Ye, X., Qin, Q. (2015). *Building Façade Recognition Using Oblique Aerial Images*. Remote Sensing. 8(7): 10562-10588. <https://doi.org/10.3390/rs70810562>