

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ESTUDO EXPLORATÓRIO DE MAPEAMENTO 3D DE CANTEIROS DE OBRAS UTILIZANDO VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS¹

ÁLVARES, Juliana (1); COSTA, Dayana (2); MELO, Roseneia (3); BELLO, Angelo (4)

(1) UFBA, e-mail: alvares.juliana@hotmail.com; (2) UFBA, e-mail: dayanabcosta@ufba.br; (3) UFBA, e-mail: roseneia.engcivil@gmail.com; (4) UFBA, e-mail: angelobello@gmail.com

RESUMO

O desenvolvimento de modelos 3D a partir de imagens coletadas com VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) vem sendo bastante explorado em diferentes áreas da engenharia. Porém, pelo fato desta ser uma tecnologia recente para a construção civil, percebe-se a necessidade de entender melhor o potencial de uso do mapeamento 3D para atividades relacionadas ao gerenciamento das construções. Este estudo exploratório tem por objetivo avaliar o uso de VANT para mapeamento 3D de edificações e canteiros. O estudo foi conduzido por meio de voos experimentais em duas obras residenciais, com coletas de imagens georreferenciadas em campo. Estas imagens foram posteriormente processadas pelo software *Pix4D Mapper*, para geração de modelos 3D. Com base nos produtos gerados pelo Pix4D e entrevistas realizadas com potenciais usuários, as análises focaram na facilidade de desenvolvimento dos modelos 3D, na qualidade dos mesmos e na utilidade e limitações do ponto de vista do usuário. Os resultados revelaram que, apesar de certas barreiras identificadas, os mapeamentos 3D apresentam bom potencial para algumas atividades gerenciais. Ao destacar que o mapeamento 3D proporciona um olhar da obra sobre diferentes perspectivas, este estudo traz como principal contribuição um melhor entendimento do potencial de utilização desta tecnologia para o setor da construção.

Palavras-chave: Mapeamento 3D. Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Canteiros de obras.

ABSTRACT

3D models development from images collected by UASs (Unmanned Aerial Systems) has been fairly explored by different domains of engineering. However, due to the limited use of this technology in civil engineering, the potential applications of 3D mapping using UAS for construction management tasks needs to be better understood. This paper presents an exploratory study aiming to assess the use of UAS for 3D mapping of buildings and construction jobsites. The study involved experimental field flights in two residential construction projects to collect geo-referenced images with UAS. These images were subsequently processed using Pix4D Mapper software, in order to create 3D models. Based on Pix4D outputs and interviews conducted with potential users, the 3D models were evaluated related to ease to use, 3D reconstruction quality, and usefulness and limitations of this technology from the users' perception. The results revealed that, despite certain barriers identified, 3D mappings present a good potential for some construction management tasks. The presented work identifies that 3D mapping provides a look at different perspectives of construction jobsites, and its

¹ ÁLVARES, Juliana; COSTA, Dayana; MELO, Roseneia; BELLO, Angelo. Estudo exploratório de mapeamento 3D de canteiros de obras utilizando Veículos Aéreos Não Tripulados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

main contribution is a better understanding of the potential use of this technology for the construction industry.

Keywords: 3D mapping. Unmanned Aerial System (UAS). Construction jobsites.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil vem investindo na adoção de novas tecnologias, como forma de otimizar e aperfeiçoar seus processos, tornando-os mais rápidos e eficientes. Dentre estas, destaca-se o Mapeamento 3D de canteiros e edificações por meio de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs).

Por definição, Veículo Aéreo Não Tripulado, em inglês *Unmanned Aerial Vehicle/System (UAV/UAS)*, comumente conhecido como "drone", caracteriza-se como toda aeronave não tripulada com finalidade diversa de recreação (Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC, 2015). No Brasil, todas as operações legais com VANTs são reguladas e monitoradas pela ANAC, em que os critérios estabelecidos variam de acordo com a classificação das RPAs (*Remotely-Piloted Aircrafts*) e com os tipos de operação (ANAC, 2015).

A potencialidade de uso dos VANTs está relacionada com o fato de ser uma plataforma móvel, com alta capacidade de sensoriamento e aquisição de dados, sendo possível acoplar diversos tipos de dispositivos, como câmeras, sensores, lasers, giroscópios e *Global Positioning System (GPS)*, além de ser uma ferramenta de baixo custo e simples de manipular (PURI, 2005; KUNG et al., 2011; SIBERT; TEIZER, 2014).

As câmeras com dispositivos GPS destacam-se pela possibilidade de aquisição de ativos visuais georreferenciados com o VANT, ou seja, imagens que contêm informações da localização espacial dos elementos físicos registrados, com base em um sistema de coordenadas geodésicas (KIM et al., 2016). Dessa forma, os ativos registrados podem ser utilizados para desenvolvimento de mapeamentos 3D por meio de *software* específico, a partir da sobreposição destas imagens.

Na engenharia civil, os VANTs têm sido usados na área de infraestrutura de transportes, para monitoramento e manutenção de pavimentos, rodovias e grandes estruturas (THEMISTOCLEOUS et al., 2014; METNI; HAMEL, 2007); na área de inspeção de edificações, para monitoramento de patologias e manutenção de fachadas (EMELIANOV et al., 2014); além da área de monitoramento de obras, voltado para inspeção de segurança e logística (KIM; IRIZARRY, 2015; IRIZARRY; COSTA, 2016).

Em especial, o mapeamento 3D de construções e terrenos a partir de imagens registradas com VANTs tem sido utilizado para avaliação de danos em edificações, levantamento de terrenos para fotogrametria, conservação de monumentos históricos, entre outros (KUNG et al., 2011; SILVA et al., 2014; REMONDINO et al., 2011; LI; LI, 2011; SIBERT; TEIZER, 2014).

Estudos fotogramétricos por meio de VANTs, com câmeras digitais e sistemas GNSS/INS acoplados, gerando produtos 3D, como modelos texturizados,

Modelo Digital de Superfície (MDS) e de Terreno (MDT), têm sido bastante explorados para mapeamentos 3D de pequenas áreas, de obras de engenharia, em estudos ambientais, de áreas de mineração, etc., devido à maior acessibilidade e menor custo, comparado a métodos convencionais de fotogrametria aérea (REMONDINO et al., 2011; SILVA et al., 2014).

Ao avaliar o desempenho da utilização de VANTs para rápida e autônoma aquisição de dados, usados no mapeamento 3D de canteiros de obras em atividades de terraplanagem, Siebert e Teizer (2014) destacam a boa precisão e confiabilidade desta tecnologia em apoio a atividades de levantamentos topográficos, com base em testes de campo realizados e modelos 3D desenvolvidos por meio do *software PhotoScan*. Contudo, algumas limitações técnicas foram ressaltadas, como o tempo restrito de voo, limitado pela autonomia da bateria do VANT (SIEBERT; TEIZER, 2014).

Para atividades gerenciais em canteiros, Kim et al. (2016) buscaram explorar as etapas para desenvolvimento dos modelos 3D, desde o planejamento da coleta de dados com o VANT até o processamento dos mesmos pelo *software* de modelagem Pix4D, identificando dificuldades e exigências operacionais para mapeamentos 3D com maior acurácia. Com base nos resultados, Kim et al. (2016) destacam o potencial de utilização da tecnologia para monitoramento do progresso da construção ou avanço físico, tarefas de medição e topografia.

Apesar dos estudos já desenvolvidos, ainda se desconhece o real potencial de uso do mapeamento 3D em atividades de gerenciamento de obras, além de seus benefícios e barreiras relacionados. Neste sentido, o presente artigo visa avaliar o uso de VANT para mapeamento 3D de edificações e canteiros, por meio de voos experimentais em dois projetos de edificações residenciais. Este estudo está sendo desenvolvido em nível de iniciação científica e trabalho final de curso, porém vinculado a um projeto de pesquisa mais amplo com colaboração internacional.

2 METODOLOGIA

Este trabalho adota o Estudo de Caso Exploratório como estratégia de pesquisa, e foi dividido em etapas, conforme Figura 1 e detalhamentos a seguir.

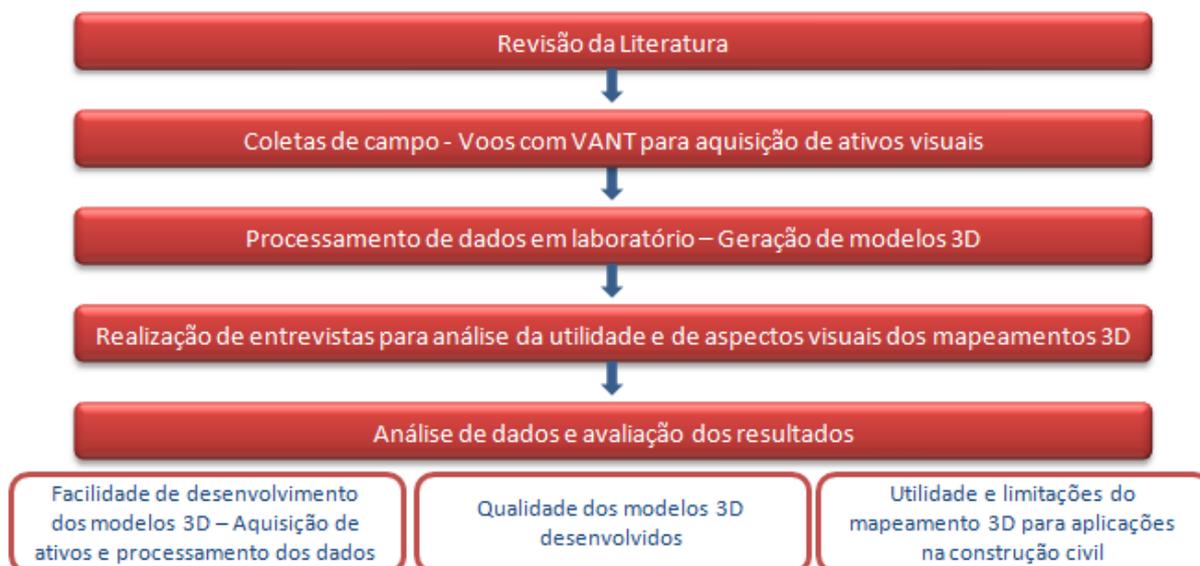
2.1 Equipamento e *software*

O VANT utilizado é do tipo quadricóptero, modelo *DJI Phantom 3 Advanced* (Figura 2), com autonomia máxima de 15 minutos de voo por bateria; operado por controle remoto e aplicativo *DJI Go app* (por meio de tablet ou smartphone), câmera Sony EXMOR ½.3" acoplada, com resolução de 12,4 megapixels e sistema GPS, permitindo a captura de imagens georreferenciadas.

O *software* utilizado para modelagem 3D foi o *Pix4D Mapper* (Figura 3). O mesmo realiza a conversão de imagens 2D georreferenciadas, por meio da

geração automática de nuvem de pontos e texturização de modelos 3D. O software também possui algumas ferramentas, como a de medição, que possibilita levantar distâncias, áreas e volumes a partir dos modelos 3D.

Figura 1 – Esquema com delineamento do estudo



Fonte: Os autores

Figura 2 – Equipamento utilizado (DJI Phantom 3 Advanced)



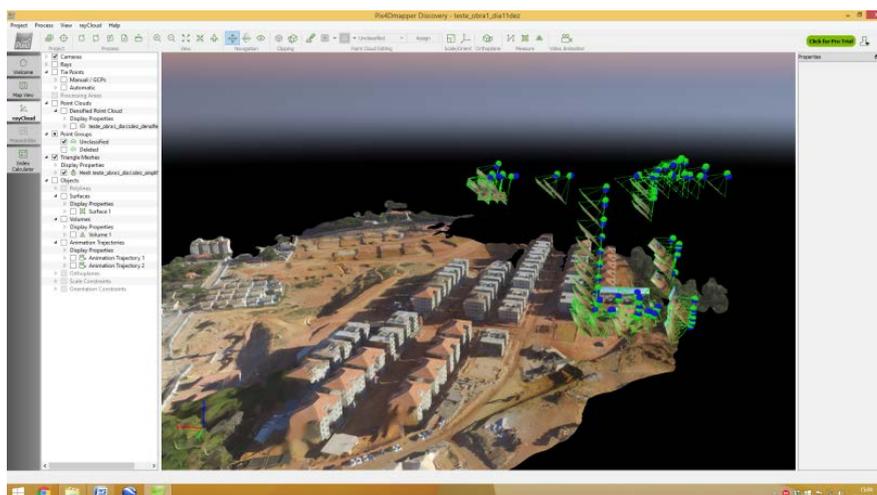
Fonte: Os autores

De acordo com Pix4D (2015), o software desenvolve o mapeamento 3D inicialmente por meio da compilação do conjunto de imagens e extração de pontos chave (*key-points*), foto a foto. Em seguida ocorre a combinação e marcação dos *key-points* entre as imagens, gerando uma nuvem de pontos 3D (PIX4D, 2015).

Após este processamento inicial, é feita a densificação e filtragem dos pontos. A partir dessa nuvem densificada é possível então realizar a texturização de uma malha 3D, por meio da triangulação dos pontos, gerando assim o modelo 3D da superfície registrada nas imagens (PIX4D, 2015).

Após processamento dos modelos, o Pix4D fornece relatórios de qualidade com parâmetros técnicos dos produtos gerados.

Figura 3 – Software utilizado (Tela de visualização do Pix4D Mapper)



Fonte: Os autores

2.2 Coletas de campo e processamento de dados (mapeamentos 3D)

O estudo foi realizado em duas obras de edificações residenciais, localizadas na cidade de Salvador – BA. No Quadro 1 encontram-se as principais características de cada projeto.

Quadro 1 – Caracterização dos projetos

Projetos	Descrição
 <p data-bbox="440 1518 560 1552">Projeto A</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Conjunto habitacional de interesse social (Minha Casa Minha Vida); - 96 edificações (91 com 5 pavimentos e 5 com 3 pavimentos), totalizando 1880 unidades; - Área total do canteiro: 150.000m²; - Área construída: 91.000m²; - Obra visitada em fase de fundação, elevação da estrutura e montagem da cobertura; - Distribuição horizontal do canteiro e atividades.
 <p data-bbox="440 1957 560 1991">Projeto B</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Empreendimento residencial de única torre; - Possui dois níveis de garagem, playground e 26 pavimentos tipo, totalizando 104 unidades; - Área total do canteiro: 2.500m²; - Área construída: 15.578m²; - Obra visitada em fase de execução dos revestimentos de fachada; - Perfil vertical, com atividades concentradas na torre.

Fonte: Os autores

Para desenvolvimento das etapas de coleta e processamento dos dados, foram utilizados os seguintes protocolos de pesquisa, com o objetivo de guiar as atividades realizadas:

- 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;
- 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;
- Planilha *Flight Log*: relação de todos os dados físicos dos voos, registrados no *DJI Go app* e no *Checklist* para missão.

Foram realizadas um total de 7 visitas de campo para coleta de dados (4 no primeiro Projeto e 3 no segundo), conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Dados coletados em campo

Projeto	Período de visitas	Número de visitas	Total de voos	Total de fotos	Distância máxima (m)	Altitude máxima (m)	Duração total dos voos
A	Out/15 a Mar/16	4	14	579	734,0	120,0	2:07:43
B	Nov/15 a Mar/16	3	9	722	173,5	76,8	1:15:43

Fonte: Os autores (Planilha *Flight Log*)

Posteriormente, estes dados foram processados em laboratório, resultando no desenvolvimento de 12 modelos 3D (6 para cada projeto) e seus respectivos relatórios de qualidade. As Figuras 4 e 5 apresentam dois exemplos dos modelos gerados.

Figura 4 – Modelo 3D referente ao projeto A



Fonte: Os autores

Figura 5 – Modelo 3D referente ao projeto B



Fonte: Os autores

2.3 Etapa de entrevistas

As entrevistas tiveram como objetivo avaliar a utilidade da tecnologia como ferramenta auxiliar em atividades gerenciais, de acordo com a percepção de potenciais usuários. No total foram realizadas 9 entrevistas com pessoas ligadas a cada um dos Projetos, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Amostra de entrevistados

	Projeto A	Projeto B
Entrevistados	<ul style="list-style-type: none"> - Diretor da construtora - Gerente de segurança da construtora - Arquiteto da obra - Engenheiro gerente de produção da obra - Técnico agrimensor da obra 	<ul style="list-style-type: none"> - Engenheiro gestor da obra - Engenheiro gerente de produção da obra - 2 Estagiários de engenharia

Fonte: Os autores

Nas entrevistas foram apresentados três modelos 3D de cada obra individualmente, e as mesmas foram estruturadas da seguinte maneira:

- 1) Percepção geral do entrevistado: identificação das atividades da construção civil nas quais os mapeamentos 3D podem ser utilizados, e suas limitações observadas;
- 2) Avaliação do grau de utilidade dos mapeamentos 3D para atividades pré-selecionadas (logística de canteiro, acompanhamento de avanço físico da obra e realização de medições), por meio de uma Escala Likert de cinco níveis, sendo 1 o menor grau de utilidade e 5 o mais alto grau;
- 3) Avaliação do grau de interferências e dificuldades causadas pela presença de inconsistências visuais (distorções, sombreamentos e falhas - buracos) na utilização dos modelos 3D, por meio de uma Escala Likert de

cinco níveis: 1 representa o grau mais baixo de interferências e 5 o mais alto grau.

2.4 Análise de dados

A avaliação do uso do VANT para mapeamento 3D foi realizada com base em três constructos e suas variáveis, apresentados no Quadro 4, definidos a partir da revisão da literatura.

Quadro 4 – Constructos, variáveis e fontes de evidência para avaliação do mapeamento 3D

Constructos	Definição	Variáveis	Fontes de evidência
Facilidade de desenvolvimento dos modelos 3D a partir de imagens coletadas com VANT	Análise de características das fases de aquisição dos ativos com o VANT e processamento dos dados no Pix4D, que interferem na facilidade de desenvolvimento dos modelos	<p>Aquisição dos ativos com VANT:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acesso a locais adequados para decolagem e pouso - Número de locais diferentes para decolagem e pouso - Interferências provocadas na obra <p>Processamento no Pix4D:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tempo total de processamento 	<p>Aquisição dos ativos com VANT:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observação dos pesquisadores - Protocolos de pesquisa <p>Processamento no Pix4D:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Relatório de qualidade
Qualidade dos modelos 3D desenvolvidos	Análise de parâmetros técnicos fornecidos pelo relatório de qualidade do Pix4D e de inconsistências visuais identificadas nos modelos 3D	<p>Parâmetros técnicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - GSD (<i>Ground Sampling Distance</i>) média - Porcentagem da área recoberta com sobreposição de 4 ou mais imagens por pixel <p>Inconsistências visuais:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Distorções - Sombreamentos - Falhas (buracos) 	<p>Parâmetros técnicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Relatório de qualidade <p>Inconsistências visuais:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entrevistas com potenciais usuários - Percepção dos pesquisadores
Utilidade e limitações do mapeamento 3D de canteiros e edificações para aplicações na construção civil	Identificação das possíveis atividades para utilização destes mapeamentos 3D, e o quanto os mesmos seriam úteis como ferramenta auxiliar	<ul style="list-style-type: none"> - Atividades nas quais podem ser utilizados os mapeamentos 3D - Principais limitações dos mapeamentos 3D observadas - Grau de utilidade dos mapeamentos 3D para atividades pré-selecionadas 	<ul style="list-style-type: none"> - Entrevistas com potenciais usuários - Percepção dos pesquisadores

Fonte: Os autores

3 RESULTADOS

3.1 Desenvolvimento dos modelos 3D

Com base em registros feitos nos protocolos de pesquisa, observou-se no Projeto A pouca presença de obstáculos que pudessem provocar interferências aos voos. Dessa maneira, foram necessários apenas dois locais diferentes de pouso e decolagem para recobrimento da área de interesse, localizados dentro do próprio canteiro.

Entretanto, no Projeto B, por conta das características físicas do canteiro, a operação de decolagem e pouso de dentro do mesmo foi impossibilitada. A alternativa encontrada foi a utilização, mediante autorização dos responsáveis, de áreas livres em terrenos de prédios e estabelecimentos vizinhos. Para recobrimento das quatro fachadas da torre do Projeto B foram necessários quatro pontos diferentes para decolagem e pouso.

Quanto às interferências em atividades das obras, no Projeto A não houve registro de qualquer tipo de interferência, enquanto que no B foi necessária a interrupção do funcionamento da grua durante os voos, para evitar qualquer possibilidade de acidente.

Na fase de processamento dos dados no Pix4D, o critério de maior relevância foi o tempo total de processamento para que o modelo 3D fosse completamente densificado e texturizado (Tabela 1).

Tabela 1 – Número de imagens calibradas e tempo total de processamento dos modelos 3D

Projeto A							
Modelos 3D	1A	2A	3A	4A	5A	6A	Média
Número de imagens calibradas	51	30	17	79	136	98	69
Tempo total de processamento	00:16:11	00:09:06	00:03:41	00:35:55	00:44:35	00:55:03	00:27:25
Projeto B							
Modelos 3D	1B	2B	3B	4B	5B	6B	Média
Número de imagens calibradas	97	73	88	91	72	119	90
Tempo total de processamento	00:46:53	00:27:04	00:51:09	00:41:37	00:24:03	00:45:40	00:39:24

Fonte: Pix4D *Quality Report* (adaptado)

Este tempo está diretamente relacionado às características do hardware utilizado, sendo o mesmo um Intel® Core™ i7-4790QM CPU @ 3.60GHz com 32GB de memória RAM, e ao número de imagens calibradas para modelagem. Segundo as especificações sugeridas por Pix4D (2015), o computador utilizado atende completamente as recomendações, o que torna o processamento em geral mais rápido.

Quanto ao número de imagens, observa-se que, em quase todos os casos, um número maior de imagens implicou em maior tempo de processamento (Tabela 1). O pico foi registrado no modelo 6A, com 55 minutos e 3 segundos

para 98 imagens, embora os modelos do projeto B tenham apresentado maior média (39 minutos e 24 segundos para 90 imagens).

3.2 Análise da qualidade dos modelos 3D desenvolvidos

Alguns parâmetros técnicos extraídos dos relatórios de qualidade, tais como *Ground Sampling Distance* (GSD) média e a porcentagem da área recoberta com boa sobreposição de imagens por pixel, foram analisados com base na sua correlação com a qualidade final dos modelos 3D.

GSD representa a correlação da distância entre centros de dois pixels consecutivos com a medida real no terreno (na superfície) (PIX4D, 2015). Quanto maior GSD da imagem, menor sua resolução espacial e visualização de detalhes, dificultando a combinação e marcação dos *key-points* (PIX4D, 2015). Com base na Tabela 2, é possível observar que a GSD média geral dos modelos do Projeto A (5,99) foi maior que a do B (3,24), sugerindo uma reconstrução 3D mais fácil para o segundo Projeto.

Tabela 2 – Parâmetros resultantes dos modelos 3D gerados

Projeto	Modelos 3D	<i>Ground Sampling Distance</i> (GSD) média (cm)	% da área recoberta com sobreposição de 4 ou mais imagens por pixel
Projeto A	1A	3,22	68,24%
	2A	2,83	68,48%
	3A	14,23	52,52%
	4A	5,47	60,84%
	5A	2,75	96,94%
	6A	7,41	99,31%
	Média	5,99	74,39%
Projeto B	1B	3,60	37,82%
	2B	3,61	73,59%
	3B	4,28	68,30%
	4B	1,56	98,38%
	5B	2,33	85,46%
	6B	4,05	46,18%
	Média	3,24	68,29%

Fonte: Pix4D *Quality Report* (adaptado)

Quanto ao nível de sobreposição entre as imagens, mais de 68% das áreas recobertas nos modelos de ambos os projetos apresentaram sobreposição de 4 ou mais imagens por pixel (Tabela 2), sendo este um parâmetro obtido por meio do tratamento de áreas representadas em gráficos disponíveis nos relatórios de qualidade. Quanto maior este nível de sobreposição, melhor a qualidade na reconstrução 3D da superfície modelada, na qual o mesmo está intrinsecamente relacionado ao planejamento e modo de execução dos voos.

Apesar de parâmetros que indicam maior ou menor nível de qualidade dos modelos 3D, uma avaliação técnica também foi realizada pelos possíveis usuários, com base em seu propósito de utilização. Os resultados mostram que, entre distorções, sombreamentos e falhas (buracos nos modelos), os entrevistados avaliaram o nível de distorções como o defeito que mais dificulta a utilização dos modelos 3D (3,15), seguido de falhas (2,93) e

sombreamento (2,28), conforme Tabela 3. Tais inconsistências são decorrentes de falhas ocorridas na texturização da área de interesse, podendo ser causadas por interferências visuais captadas nos ativos (objetos em movimento, superfícies refletivas, etc.) e diferentes angulações e alturas entre imagens. A Figura 6 apresenta exemplos dos tipos de inconsistências visuais identificadas.

Tabela 3 – Média da avaliação do grau de interferências causadas pela presença de inconsistências visuais (escala Likert)

Inconsistência visual	Médias no Projeto A	Médias no Projeto B	Média Geral
Distorções	2,80	3,50	3,15
Falhas (buracos)	2,60	3,25	2,93
Sombreamentos	2,80	1,75	2,28

Fonte: Os autores

Figura 6 – Exemplo de inconsistências visuais nos modelos 3D: (a) Distorções; (b) Falhas (buracos); (c) Sombreamentos.



Fonte: Os autores

3.3 Análise da utilidade do mapeamento 3D de canteiros e edificações

Com base nos resultados encontrados para os Projetos A e B (Tabela 4), pode-se destacar que os mapeamentos 3D possuem maior potencial de utilização para logística de canteiro, com média geral de 4,53, seguida de atividades de medição (3,75) e acompanhamento visual de avanços físicos (3,70). Os aspectos logísticos mais comentados foram a possibilidade de análise do posicionamento de estoques, locais de carga e descarga, rotas e sequência executiva de atividades.

Tabela 4 – Média da avaliação do grau de utilidade dos mapeamentos 3D para atividades pré-selecionadas (escala Likert)

Atividades	Médias no Projeto A	Médias no Projeto B	Média Geral
Logística de canteiro	4,80	4,25	4,53
Atividades de medição	4,00	3,50	3,75
Acompanhamento visual do avanço físico	3,40	4,00	3,70

Fonte: Os autores

O Quadro 5 apresenta os principais itens levantados em cada projeto quanto a utilidade e limitações percebidas. Em ambos os estudos questionou-se a falta de detalhamento técnico para visualização aproximada dos modelos. Também foi pontuada a impossibilidade de visualização da parte interna das construções e da cobertura no caso da torre. É importante destacar que não foi possível a visualização da cobertura do Projeto B, pois a mesma ultrapassa o limite de 60m permitido para operação com VANT em área urbana, estabelecido pela ANAC.

Quadro 5 – Indicação das áreas nas quais podem ser utilizados os mapeamentos 3D e suas limitações observadas

Aspectos analisados	Itens mais citados no projeto A	Itens mais citados no projeto B
Atividades com potencial de utilização do mapeamento 3D	<ul style="list-style-type: none"> - Logística de canteiro e operacional; - Acompanhamento visual de avanços físicos; - Planejamento executivo das etapas de construção; - Visualização espacial geral do canteiro e obra. 	<ul style="list-style-type: none"> - Acompanhamento visual de avanços físicos; - Visualização espacial geral do canteiro e obra; - Aspectos gerais de segurança (elementos externos e coletivos); - Logística de canteiro.
Limitações dos modelos 3D observadas	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de detalhamento técnico na visualização aproximada dos elementos modelados; - Impossibilidade de visualização da parte interna das construções; - Presença de defeitos e vazios. 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de detalhamento técnico na visualização aproximada dos elementos modelados; - Necessidade de maior nitidez, limpeza e clareza nos detalhes; - Impossibilidade de visualização da cobertura da torre.

Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

O mapeamento 3D do canteiro destaca-se por oferecer uma visão ampla e externa sobre diferentes perspectivas da obra, facilitada por uma maior interatividade entre usuário e ferramenta, uma vez que é possível a visualização 360° e manipulação dos modelos 3D. Dessa forma, o estudo traz como principal contribuição um melhor entendimento do potencial de utilização desta nova tecnologia para o setor da construção.

Com base nos estudos, foi possível identificar o potencial geral de utilização do mapeamento 3D para atividades de logística de canteiro, acompanhamento geral do avanço físico da obra, e algumas atividades de medição.

Contudo, algumas barreiras relacionadas à utilização dos modelos 3D foram levantadas, como a falta de detalhamento técnico na visualização aproximada e a presença de alguns defeitos visuais, ocasionados principalmente por eventos circunstanciais, tais quais, ineficiência do planejamento de voo, presença de fortes ventos e movimentação de objetos no momento das capturas, refletindo diretamente na qualidade dos

modelos 3D. Entretanto, de acordo com a percepção dos usuários, as inconsistências visuais identificadas não representaram grande impacto na dificuldade de utilização dos modelos 3D para os fins propostos. Estes aspectos físicos e barreiras devem ser analisados cuidadosamente e alinhados ao propósito de utilização da ferramenta.

Observou-se que o Projeto A tendeu a um melhor resultado do que o B, justificado pelo perfil mais amplo e horizontal de disposição do canteiro e das atividades desenvolvidas, facilitando principalmente a aquisição dos dados durante os voos. No critério qualidade, o Projeto A obteve modelos com uma maior porcentagem de área com boa sobreposição entre imagens por pixel (74,39%), em relação ao Projeto B (68,29%). No entanto, para o parâmetro GSD, o Projeto A obteve pior resultado, justificado por uma maior variação de altura entre imagens registradas, decorrente do planejamento inadequado de alguns voos.

O estudo revela indícios de maior aproveitamento do mapeamento 3D de canteiro e edificações em obras horizontais. Contudo, são necessários futuros estudos que abordem a viabilidade dos possíveis usos da tecnologia em diferentes tipos de obras.

REFERÊNCIAS

ANAC AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento Brasileiro da aviação Civil Especial (RBAC-E nº94)**. Brasília: ANAC, 2015.

EMELIANOV, S.; BULGAKOW, A.; SAYFEDDINE, D. Aerial Laser Inspection of Buildings Facades Using Quadrator. **Procedia Engineering**, v. 85, p. 140-146, 2014.

IRIZARRY, J.; COSTA, D.B. Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks. **Journal of Management in Engineering**, 2016.

KIM, S.; IRIZARRY, J. Exploratory Study on Factors Influencing UAS Performance on Highway Construction Projects: as the Case of Safety Monitoring Systems. In: Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure, 2015, Ames. **Proceeding...** Ames: Iowa State University, 2015.

KIM, S.; IRIZARRY, J.; COSTA, D. B.; MENDES, A. T. C. Lessons Learned from Unmanned Aerial System-Based 3D Mapping Experiments. In: Conference of Associated Schools of Construction, 52., 2016, Provo. **Proceeding...** Provo: Associated Schools of Construction, 2016.

KÜNG, O.; STRECHA, C.; FUA, P.; GURDAN, D.; ACHELNIK, M.; DOTH, K.-M.; STUMPF, J. Simplified Building Models Extraction from Ultra-Light UAV Imagery. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38., 2011, Zurich. **Anais...** Zurich: ISPRS, 2011.

LI, Z.; LI, Y. Photogrammetric Recording of Ancient Buildings by Using Unmanned Helicopters - Cases in China. In: International Archives of the Photogrammetry,

Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38., 2011, Zurich. **Anais...** Zurich: ISPRS, 2011.

METNI, N.; HAMEL, T. A UAV for Bridge Inspection: Visual Servoing Control Law with Orientation Limits. **Automation in Construction**, v. 17, p. 3-10, 2007.

PIX4D. **Pix4Dmapper Software Manual**. Lausanne, 2015. 289 p.

PURI, A. A Survey of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Traffic Surveillance. Department of computer science and engineering, University of South Florida, 2005, Tampa.

REMONDINO, F.; BARAZZETTI, L.; NEX, F.; SCAIONI, M.; SARAZZI, D. UAV Photogrammetry for Mapping and 3D Modeling - Current Status and Future Perspectives. In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38., 2011, Zurich. **Anais...** Zurich: ISPRS, 2011.

SIEBERT, S; TEIZER, J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. **Automation in Construction**, v.41, p. 1-14, 2014.

SILVA, D. C.; TOONSTRA, G. W. A.; SOUZA, H. L. S.; PEREIRA, T. A. J. Qualidade de Ortomosaicos de Imagens de VANT Processados com os Softwares APS, Pix4D e Photoscan. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 5., 2014, Recife. **Anais...** Recife, 2014. p. 747-754.

THEMISTOCLEOUS, K; NEOCLEOUS K; PILAKOUTAS, K; HADJIMITSIS, D.G. Damage assessment using advanced non-intrusive inspection methods: Integration of Space, UAV, GPR and Field Spectroscopy. In: International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment. 2., 2014, Paphos. **Anais...** Paphos: SPIE, 2014.