ENGENHARIA REVERSA E BIM PARA EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS[1]

ALMEIDA, T. R., Universidade Estadual de Campinas, email: tamires103@gmail.com;
NASCIMENTO, R. V. C., Universidade Estadual de Campinas, email:
rodrigo3950@hotmail.com; DEZEN-KEMPTER, E., Universidade Estadual de Campinas, email:
elo@ft.unicamp.br.

ABSTRACT

The computational development in Architecture, Engineering, and Construction (AEC), among them the Building Information modeling (BIM), enabled highly improvement in the design, construction and maintenance stages. This paper presents a methodology to create a digital as-is model using reverse engineering. Our work outlines a model-driven approach combining range-based and image-based techniques. Two emblematic buildings of religious architecture in Brazil were surveyed to investigate the integration of multiple reality-based technologies, as well as the processing of the point cloud raw data that allows the creation of a high-resolution Dense Surface Model (DSM), the base of an accurate and detailed parametric Model. The results demonstrated that the interaction between laser scanner and UAV show up as essential to cover the integrity of the building in the reverse engineering process.

***Keywords**: Reality-based surveying; point cloud; as-is model; Building Information Modelling; Religious Heritage.*

1 INTRODUÇÃO

Segundo Varady, Martin e Cox (1997), Engenharia Reversa (ER) cobre diversas atividades, como a recriação de formas de objetos existentes, a partir do levantamento espacial do objeto.

No domínio do patrimônio arquitetônico, a documentação pode ser muito beneficiada com a reconstrução 3D do estado atual dos edifícios, principalmente a análise da evolução histórica (DE LUCA; VERON; FLORENZANO, 2006).

Sobre a tecnologia BIM aplicada em edificações existentes, Eastman et al. (2008) afirmam que a digitalização e a troca de dados geométricos 3D e semânticos da construção possibilitada modelo BIM, representa uma abordagem promissora para a gestão da informação *as-built*.

O as-built em comparação com o ER trata da atualização dos dados do modelo após a construção.

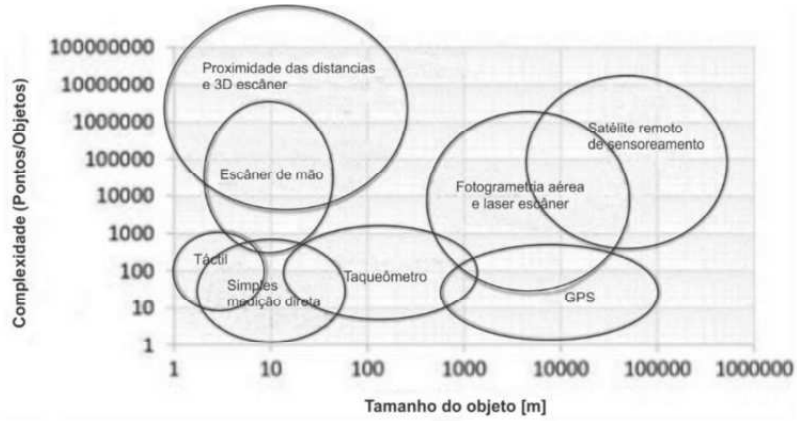
O processo crucial da ER é a aquisição de dados, processamento computacional e segmentação da nuvem de pontos em componentes do edifício, para sua tradução apropriada em um modelo semanticamente orientado.

A aplicação de ER consiste na extração da forma tridimensional atual do

[1] ALMEIDA, T. R; NASCIMENTO, R. V. C.; DEZEN-KEMPTER, E, Engenharia reversa e BIM para edificações históricas In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

edifício a partir da captura de dados 3D. Diversos autores abordaram a aplicação de tecnologias de medição para geração de modelos 3D (BERALDIN et al., 2007; BERGLUND et al., 2017; GROETELAARS, 2015; entre outros). A seleção de métodos de levantamento apropriados depende do tamanho e complexidade do objeto (DEZEN-KEMPTER, 2015). A Figura 1 mostra essa relação.

Figura 1 – Relação entre tecnologias de levantamento, tamanho e complexidade do objeto



Fonte: Adaptação de Berglund et al. (2017)

Levantamentos de alta-resolução, como o escaneamento, são associados a equipamentos caros, logísticas de captura complexas e pós-processamento especializado, restringindo o uso desta tecnologia. A Fotogrametria apresenta-se como uma alternativa de baixo custo para a geração do DSM (Dense Surface Model). O emprego de câmeras fotográficas de alta resolução acopladas a VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) em levantamentos de alta precisão, tem apresentado resultados bem próximos da varredura a laser 3D (PAIVA et al., 2018).

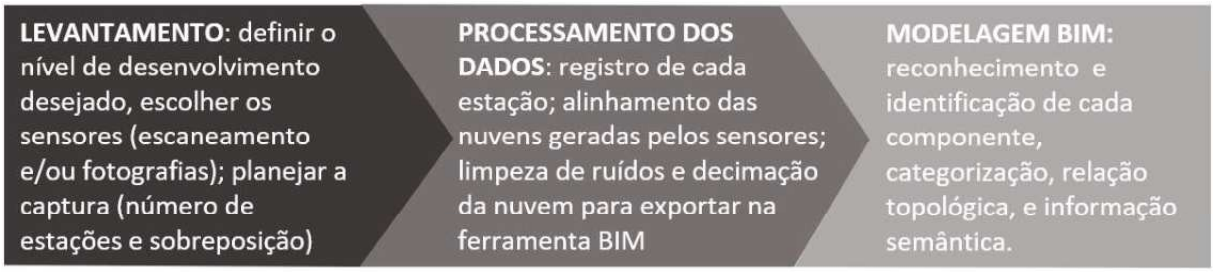
O laser escâner terrestre (TLS) se mostra um aparelho capaz de capturar dados de diferentes superfícies, mas ainda possui limitações de uso em materiais transparentes (vidros, água, etc.)e com capacidade de refletir ou absorver o sinal, dificultando a obtenção de dados (DEZEN-KEMPTER et al., 2015).

Baseado neste contexto, este artigo apresenta uma pesquisa de Iniciação científica sobre a aplicação de tecnologias de ER em dois objetos de estudo, abordando as limitações atuais para criação do modelo BIM para o patrimônio arquitetônico.

2 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa exploratória aplicada a dois objetos de estudo: a Igreja de Nossa Senhora da Boa Morte (IBM) e a Igreja de São Francisco de Assis (ISFA). A Figura 2 apresenta a abordagem metodológica.

Figura 2 – Etapas de abordagem



Fonte: Os autores.

2.1 Objetos de Estudo

Para validar a abordagem foram selecionadas duas igrejas históricas (Figura 3), construídas em estilos e épocas diferentes, e que apresentam desafios peculiares para o levantamento e criação do modelo BIM.

A IBM, inaugurada em 1867, localizada em Limeira, SP, possui estilo neoclássico/eclético e está inserida em uma praça densamente arborizada, com vários pontos de oclusão para a captura.

A ISFA em Belo Horizonte, inaugurada em 1943, foi concebida por Oscar Niemeyer em estilo moderno e faz parte do conjunto arquitetônico da Pampulha, localizado às margens do lago de mesmo nome, recentemente listado como Patrimônio da Humanidade pela UNESCO. Apesar da pequena escala, é mais complexa que a IBM devido às formas parabólicas e cônicas das coberturas.

Figura 3 – Imagem Capturadas pelos VANTs da IBM (esq.) e ISFA (dir.)



Fonte: Os autores.

2.2 Levantamento e processamento

Empregou-se a varredura digital por escaneamento com TLS e fotogrametria aérea usando dois tipos de VANTs, um modelo profissional e um modelo amador. Os equipamentos estão especificados no Quadro 1.

Quadro 1- Descrição dos equipamentos

Tecnologia	**Equipamento**
Escaneamento a laser	Laser Escâner Terrestre, modelo Focus3D X130, Faro Technologies, equipado com câmera a cores de 70MP, alcance até 130m, campo de visão 300° vertical e 360° horizontal.
Fotogrametria Aérea	Quadricóptero modelo Inspire 2 Professional, DJI, com câmera acoplada modelo Zenmuse X4S, resolução de 20 MP (5472x3648), lente F/2.8-11, 8.8 mm (equivalente a 24mm no formato 35mm) e FOV 84°.
	Quadricóptero modelo Spark, DJI, com câmera acoplada de 12MP (3968×2976), lente F/2.6, 25 mm (equivalente ao formato 35 mm), FOV 81.9°

Fonte: Os autores (baseado nas especificações dos fabricantes).

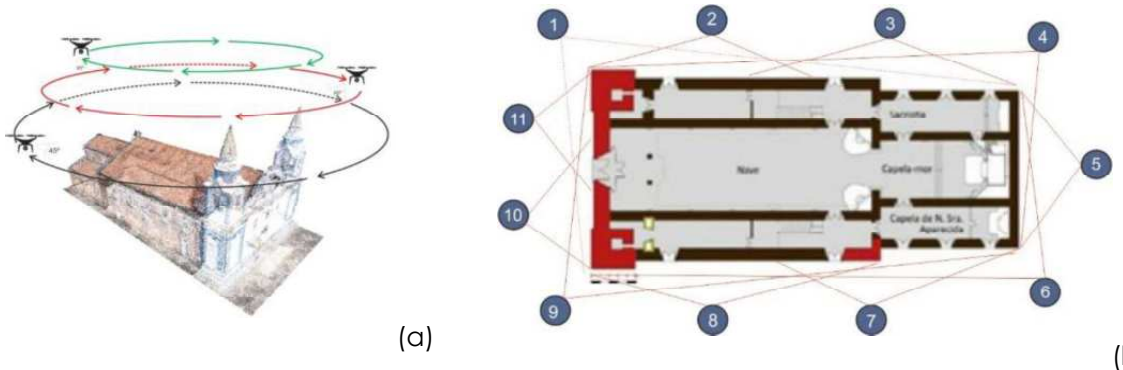
2.2.1 Igreja da Boa Morte

Empregou-se a varredura com o TLS e a captura fotográfica com um VANT profissional (DJI Inspire 2).

Foram feitos 3 voos circulares com o eixo do gimbal inclinado a 25°, 40° e 55° (Figura 4a). As tomadas fotográficas foram realizadas a cada 5s, e os voos geraram 369 fotos. No processamento das imagens foi utilizada a técnica Structure for Motion (SfM) através de software proprietário PIX4D e ReCap Photo (Autodesk).

Para o escaneamento foram calculadas 11 estações ao redor da edificação visando sobreposição ideal das nuvens para a etapa de registro (Figura 4b). Foi configurada uma resolução 1/5 e qualidade 4x, para uma distância entre pontos de 7,7mm a cada 10m. As nuvens individuais foram registradas no software proprietário Scene (Faro).

Figura 4 - Esquemas de Varreduras: sobrevoo com o VANT (a) posições das estações de escaneamento (b)



(a) (b)

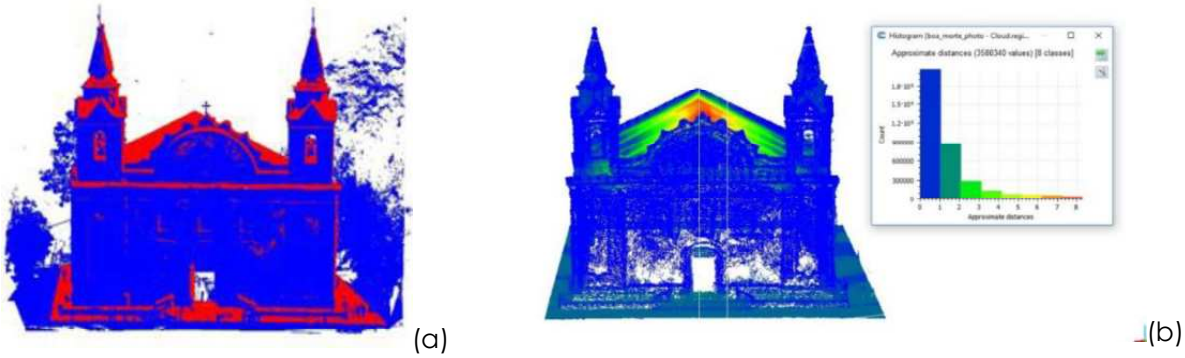
Fonte: Os autores.

As nuvens de pontos geradas pelas duas tecnologias de varredura foram registradas e alinhadas através do software *open source* CloudCompare, formando um modelo hibrido (Figura 5a).

O Teste de precisão, gerado no CloudCompare, foi realizado por

comparação entre as nuvens combinadas, medindo-se as distâncias entre seus pontos, adotando-se a nuvem do TLS como referência (Figura 5b).

Figura 5 – (a) Nuvens geradas pelo laser (azul) e fotogrametria (vermelha) combinadas e (b) teste de precisão



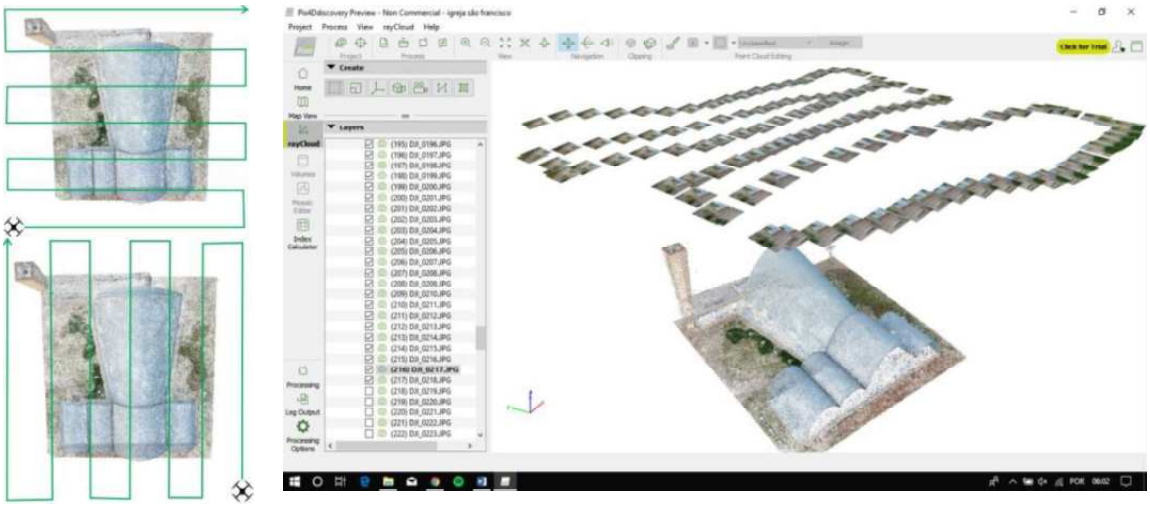
(a) (b)

Fonte: Os autores.

2.2.2 Igreja de São Francisco de Assis

Empregou-se a varredura com o TLS e a captura fotográfica com um VANT amador (DJI Spark). Como o objetivo principal da varredura fotogramétrica era coletar a informação da cobertura, foram feitos 2 sobrevoos cruzados no sentido longitudinal e transversal da Igreja (Figura 6), tendo o eixo do gimbal perpendicular ao objeto (a 90^0). As tomadas fotográficas foram realizadas a cada 5s, e os voos geraram 300 fotos, o processamento foi idêntico ao da IBM.

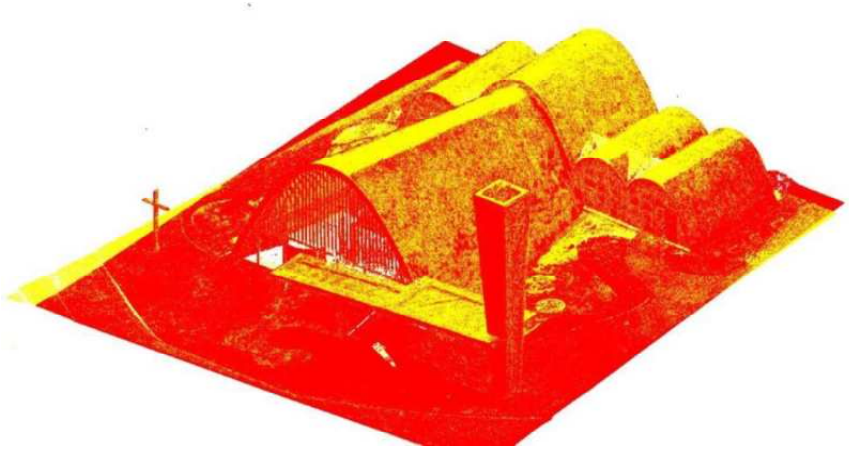
Figura 6 – Esquema da varredura cruzada (esq.) e processamento da nuvem com posicionamento real das fotografias (dir.)



Fonte: Os autores.

Foram calculadas 9 estações do escâner ao redor da edificação e a configuração da captura foi a mesma da IBM, assim como a fusão das nuvens (Figura 7) e o teste de precisão.

Figura 7 - Fusão das nuvens do VANT (amarela) e do escâner (vermelha)



Fonte: Os autores.

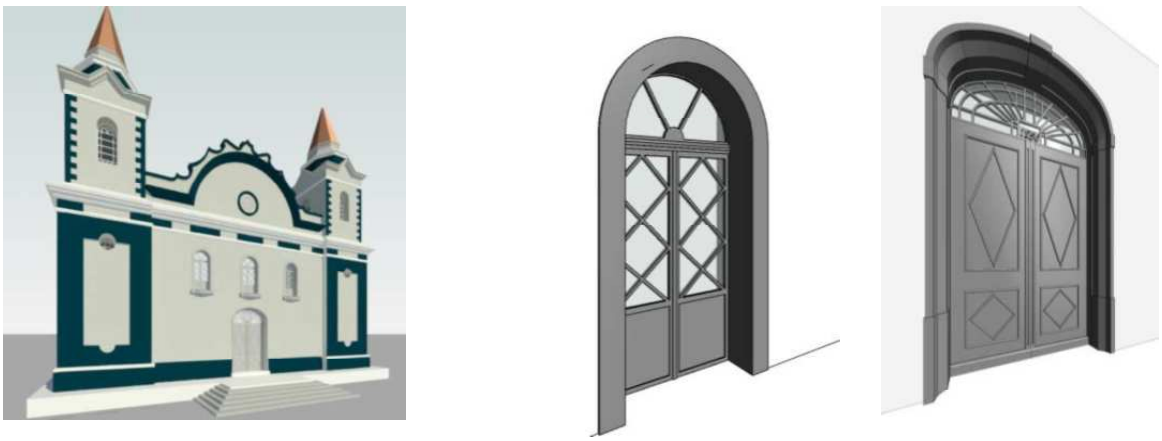
2.3 Modelagem BIM

O modelo BIM foi criado usando o DSM como base. Ele foi exportado do CloudCompare em formato .LAS e importado para o ReCAP visando gerar o formato para a importação na plataforma Autodesk (.RCP), tanto para o Autocad quanto para o REVIT.

No Autocad a nuvem foi recortada para viabilizar a modelagem dos componentes de adorno e caixilharia, assim como para a extração de arestas para a modelagem das paredes. Os arquivos .RCP e .DWG foram inseridos no REVIT como um link.

Cada componente foi etiquetado usando a estrutura primitiva do REVIT. A Figura 8 mostra o modelo BIM da IBM.

Figura 8 - Fachada (esq.) e famílias de portas da entrada (dir.) e do coro (centro)



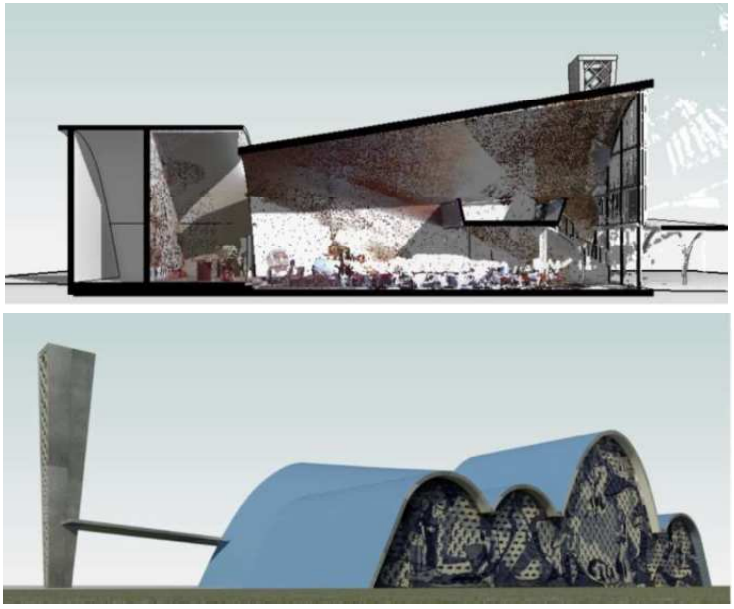
Fonte: Os autores.

Quanto à modelagem da ISFA, o maior desafio foram as estruturas parabólicas. Como elas trabalham ao mesmo tempo como paredes e cobertura, esses elementos foram etiquetados como cobertura, possibilitando a conexão com as paredes planas das fachadas. Nos vãos parabólicos

empregou-se a ferramenta de modelagem de massa do REVIT em função da espessura variável e da curvatura.

A Figura 9 apresenta duas vistas do modelo BIM da ISFA, uma seção transversal em perspectiva casada com o escaneamento (a) e uma imagem renderizada do exterior (b).

Figura 9 - Modelagem BIM da ISFA



(a)

(b)

Fonte: Os autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Igreja de São Francisco de Assis

O escaneamento cobriu cerca de 75% do edifício, deixando lacunas principalmente no topo das abóbadas e na torre do sino (Figura 10a), cobertas pelo levantamento fotogramétrico (Figura 10b e c). O uso do VANT amador superou as expectativas gerando nuvens tão precisas quando o profissional, com ressalva à baixa densidade de pontos, que neste caso não prejudicou o processo de modelagem, pois as superfícies eram lisas e homogêneas. O custo do equipamento é 10 vezes menor que o profissional, que dependendo do objeto pode ser uma opção a considerar. O resultado do processamento foi satisfatório com os dois programas, porém a plataforma Autodesk tem limite de processamento de 100 fotos.

Quanto à modelagem, as formas sinuosas da maioria dos componentes do edifício impossibilitaram o uso das famílias de sistema do REVIT e aumentou o tempo de modelagem, pois foi necessário segmentar a nuvem em várias camadas para o desenho da curvatura na modelagem das massas. Também ficou clara a necessidade de ER neste caso, pois os documentos de projeto do edifício eram bem diferentes do seu estado atual, inclusive de dimensionamento.

Figura 10 - ISFA: (a) escaneamento a laser; (b) fotogrametria com PIX4D; (c) fotogrametria com ReCap Photo



(a) (b) (c)

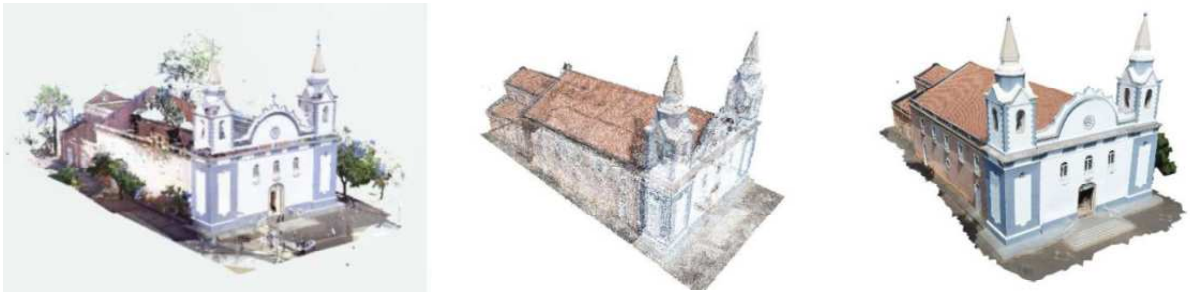
Fonte: Os autores.

3.2 Igreja da Boa Morte

O escaneamento a laser conseguiu cobrir parte considerável do edifício (>80%), exceto a cobertura e topo das torres sineiras, que foram completadas com o VANT (Figura 11)

Apesar do edifício apresentar muitos detalhes, a modelagem BIM foi mais rápida, pois puderam ser utilizadas famílias do sistema para o arcabouço do edifício. As nuvens precisaram ser segmentadas em pequenos trechos para gerar os perfis das cimalhas e molduras, assim como para os caixilhos.

Figura 11 - Levantamento da IBM: (a) escaneamento a laser; (b) fotogrametria com PIX4D; (c) fotogrametria com ReCap Photo



(a) (b) (c)

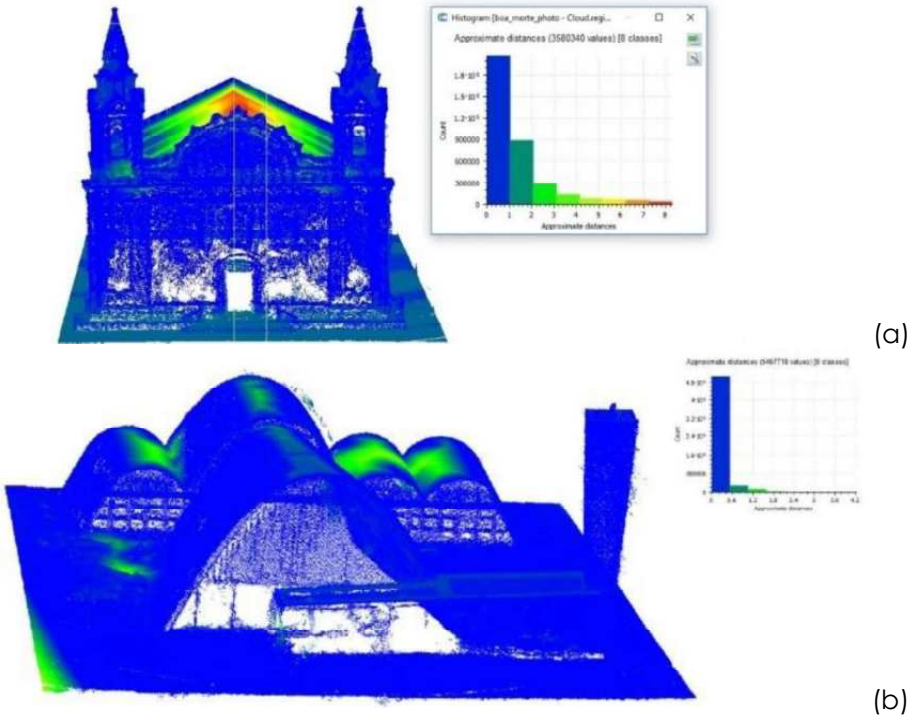
Fonte: Os autores.

3.3 Comparação entre nuvens de pontos

As nuvens geradas para os dois objetos de estudo chegaram a um bom índice de precisão (10 a 40 mm), quando comparada com o levantamento do TLS, podendo sua acurácia ser comparada com resultados de pesquisas anteriores (Bayram et al., 2015).

Do histograma da comparação entre as nuvens (Figura 12), gerado pelo software CloudCompare, percebe-se a grande área de sobreposição das duas varreduras com desvios mínimos (cor azul). Os pontos que apresentam maior desvio, nos dois casos, estão nas coberturas.

Figura 12 - Comparação entre nuvens: (a) IBM, (b) ISFA



(a)

(b)

Fonte: Os autores.

4 CONCLUSÕES

O artigo descreveu uma abordagem para a criação de modelos digitais inteligentes de edificações históricas a partir do processo de engenharia reversa. As características morfológicas e de escala das duas igrejas suscitaram abordagens diferentes para a modelagem a partir da nuvem de pontos.

Este estudo demonstrou o potencial do levantamento digital, incluindo sensores de baixo custo.

Foi imprescindível, para cobrir a totalidade dos edifícios, o emprego de tecnologias diferentes de varredura digital, e a criação de DSM híbridos alinhados em programas específicos. Os resultados de comparação entre as nuvens validaram a acurácia dos levantamentos fotogramétricos.

O Modelo BIM representa uma ferramenta fundamental para a preservação patrimonial, mas seu processo de elaboração é moroso e as ferramentas de automação a partir da nuvem de pontos ainda não são eficazes para arquiteturas complexas.

REFERÊNCIAS

BAYRAM, B.; NEMLI, G.; ÖZKAN, T.; OFLAZ, O. E.; KANKOTAN, B.; ÇETIN, İ. Comparison of laser scanning and photogrammetry and their use for digital recording of cultural monument case study: Byzantine Land Walls-Istanbul. In: **ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences** II-5/W3, 2015, Set, p.17 –24. doi: https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W3-17-2015

BERALDIN, J.A.; BLAIS, F.; EL-HAKIM, S.; COURNOYER, L.; PICARD,M. Traceable 3D imaging metrology: Evaluation of 3D digitizing techniques in a dedicated metrology laboratory. **Prooceedings …** In: 8th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques. Zurich, Switzerland. 2007.

BERGLUND J., GONG L., SUNDSTRÖM H., JOHANSSON B. Virtual Reality and 3D Imaging to Support Collaborative Decision Making for Adaptation of Long-Life Assets. In: Grösser S., Reyes-Lecuona A., Granholm G. (eds) **Dynamics of Long-Life Assets**. Springer, Cham, 2017.

DE LUCA, Livio; VERON, Philippe; FLORENZANO, Michel. Reverse engineering of architectural buildings based on a hybrid modeling approach. **Computers & Graphics**, V.30, n. 2, 2006, p. 160-176. ISSN 0097-8493. Doi: https://doi.org/10.1016/j.cag.2006.01.020.

DEZEN-KEMPTER, E.; SOIBELMAN, L.; CHEN, M.; MÜLLER, A.V. Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 113-124, jul./dez. 2015. doi: http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102710.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook:** A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008.

GROETELAARS, N. J**. Criação de modelos BIM a partir de "nuvens de pontos": estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica**. 2015. 372 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) -Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015

PAIVA, P.; COGIMA, C.; DEZEN-KEMPTER, E.; CARVALHO, M.; CERQUEIRA, L. (2018). Intelligent Digital Built Heritage Models: An Approach from Image Processing and Building Information Modelling Technology. **Proceedings…** In: 13th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications, 2018, v.4: VISAPP, ISBN 978-989-758-290-5, p.558-565. doi: 10.5220/0006615005580565

VARADY, T.; MARTIN, R.R.; COX J. Reverse engineering of geometric models—an introduction. **Computer-aided design**, v. 29, n.4, apr.1997, p.255-268.