

Reconstrução de um projeto comercial com a utilização da tecnologia scanner para BIM

Reconstruction of a commercial project using scanner technology for BIM

Article Info:

Article history: Received 2023-02-03 / Accepted 2023-03-31 / Available online 2023-03-31

doi: 10.18540/jcecv19iss3pp15605-01e



Wenderson Igor de Almeida Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9087-0103>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Brasil

E-mail: wendersonigor99@gmail.com

Felipe Wilson Leão da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1328>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Brasil

E-mail: felipe.silva@ifam.edu.br

Laerte Melo Barros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4803-1394>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Brasil

E-mail: laerte.barros@ifam.edu.br

Resumo

A modelagem tem como objetivo tornar os ambientes construídos mais fáceis de entender, definir e quantificar materiais, visualizar e simular espaços físicos. Atualmente, os modelos de informação de construção (BIM) têm sido amplamente utilizados na fase de criação de novas construções, porém o emprego do BIM torna-se um processo desafiador quando precisa ser aplicado em edifícios que foram construídos antes da existência da tecnologia. E hoje, a engenharia e construção necessita de modelos de informações mais eficientes, para a reconstrução de projetos em 3D de prédios antigos e do patrimônio arquitetônico das grandes cidades, para facilitar a tomada de decisões em reformas e novas adequações. O processo tradicional para criar ou atualizar o modelamento 3D de uma edificação construída antes do BIM é um procedimento demorado e trabalhoso. A tecnologia de escaneamento a laser a partir de nuvens de pontos com a integração de um sistema de posicionamento global, para refinamento e ajuste dos ambientes externos e internos da edificação ajudam a reduzir erros. Este artigo propõe um procedimento capaz de integrar imagens e informações precisas de um scanner móvel LiDAR por nuvens de pontos, um sistema de posicionamento, e finalmente, um modelo BIM de reconstrução. Os resultados mostraram que os procedimentos melhoraram a qualidade da reconstrução em termos de integridade precisão e rapidez no modelamento.

Palavras-chave: Modelamento 3D. posicionamento global. scanner móvel. nuvens de pontos.

Abstract

Modeling aims to make built environments easier to understand, define and quantify materials, visualize, and simulate physical spaces. Currently, building information models (BIM) have been widely used in the creation phase of new constructions, but the use of BIM becomes a challenging process when it needs to be applied in buildings that were built before the technology existed. And today, engineering and construction needs more efficient information models for the reconstruction of 3D projects of old buildings and the architectural heritage of large cities, to facilitate decision-

making in renovations and new adaptations. The traditional process to create or update the 3D modeling of a building built before BIM is a time-consuming and laborious procedure. Laser scanning technology from point clouds with the integration of a global positioning system, for refinement and adjustment of the external and internal environments of the building help to reduce errors. This article proposes a procedure capable of integrating images and accurate information from a mobile LiDAR scanner by point clouds, a positioning system, and finally, a reconstruction BIM model. The results showed that the procedures improved the quality of the reconstruction in terms of completeness, precision, and speed in modeling.

Keywords: 3D modeling. global positioning. mobile scanner. point clouds.

1. Introdução

Distintas tecnologias de captura de ambientes 3D têm sido propostas para aplicação no domínio da construção, especialmente com o aumento da aplicação de Modelamento de Informação de Construção (BIM). Evoluções recentes na produção de cenários 3D empregando técnicas e aquisição de informações de importância sobre ambientes construídos manuseando sensores agregados e outros mais avançados formam uma possibilidade para investigar a disponibilidade tecnológica de acumular com regularidade informações tridimensionais completas e fundamentais relacionadas à qualidade do material construído.

O Escaneamento a Laser é um método eficiente e confiável para coletar nuvens de pontos que têm uma gama de aplicações no domínio da Arquitetura, Engenharia e Construção. Os dados gerados obtidos pelo scanner são exibidos como uma série de pontos tridimensionais conhecidos como nuvens de pontos. A nuvem de pontos de cada varredura é figurada no sistema de coordenadas local do scanner, o que impossibilita uma comparação direta com o modelo projetado para detecção e análise de erros (Hashemi e Reinhart, 2001).

Para garantir que as nuvens de pontos adquiridas sejam adequadas para todos os aplicativos, a aquisição de dados deve garantir que todos os objetos de varredura sejam adquiridos dentro da qualidade de dados e das restrições de tempo especificadas. A eficiência da coleta de dados é importante para reduzir as interrupções no local de trabalho. A coleta de dados de varredura a laser eficaz e eficiente pode ser obtida por meio de um processo de otimização planejado anteriormente.

O scanner a laser 3D é uma das tecnologias usadas para criar modelos detalhados e precisos de edifícios internos e externos, porém os setores de arquitetura, engenharia e construção sofrem com a falta ou ineficácia da digitalização. O modelamento construtivo integrado a outras tecnologias, tem o potencial de remodelar completamente o ambiente construído. O modelamento 3D apresenta um fluxo de trabalho colaborativo onde todos os agentes de um projeto trabalham juntos em um ambiente de dados comum e podem trocar e compartilhar informações, aumentando a integração entre os membros do projeto, mesmo quando se trata de grandes projetos multidisciplinares (Aryan *et al.*, 2021).

O LiDAR é uma técnica ativa de sensoriamento remoto que emite feixes de laser para medir o ambiente. O LiDAR é visto como um método robusto para coletar pontos de medição 3D com grande eficiência. É um método capaz de detectar e medir distâncias de objetos em um ambiente por detecção e alcance da luz. Isto é possível graças à emissão de ondas infravermelhas pelo dispositivo no ar até alcançar um objeto ou superfície.

Este artigo propõe um procedimento capaz de integrar imagens e informações precisas de um scanner móvel LiDAR por nuvens de pontos e um sistema de posicionamento georreferenciados por estação total, onde um modelo BIM de reconstrução de um imóvel comercial será criado, através da demarcação de pontos externos que ajudarão na construção 3D dos espaços internos da edificação.

2. Referencial teórico

Com o aumento da aplicação de Building Information Modeling (BIM), diferentes tipos de tecnologias de captura da realidade 3D têm sido apresentadas para o desenvolvimento e acompanhamento de projetos na construção civil. O BIM está sendo adotado muito rapidamente em todos os setores de projeto de construção, beneficiando as indústrias de arquitetura e engenharia, mas vem ganhando popularidade nas mais diferentes áreas, engenharia ambiental, engenharia de transportes, modelagem das cidades em formato 3D, engenharia mecânica, elétrica e hidráulica (Golparvar-Fard *et al.*, 2009; Kurwi *et al.*, 2021).

A modelagem de informação da construção é definida como projeto 3D inteligente que visa ter benefícios como redução e controle de custos, coordenação e elaboração dos projetos, além de fornecer informações sobre os ativos durante o ciclo de vida do projeto, possibilitando melhor infraestrutura e edifícios mais inteligentes, além da redução de custos na criação, ampliação e reforma das construções (Bosché *et al.*, 2015; Hu *et al.*, 2018).

O BIM fornece as facilidades e soluções integradas para superar problemas de maneira abrangente. Melhora a colaboração entre todos os projetos de uma equipe, facilita a integração das informações. A modelagem de informação da construção compreende estruturas e ferramentas de TIC que podem apoiar a colaboração das partes interessadas ao longo do ciclo de vida dos projetos. O BIM foi criado pensando em transformar a maneira como o ambiente construído está funcionando, os estudos relacionados têm se concentrado frequentemente no armazenamento e compartilhamento de informações técnicas (Motawa e Almarshad, 2013).

Várias tecnologias para criação, monitoramento e gerenciamento de projetos de construção até a preparação de documentações estão sendo desenvolvidas. Elas propõem a varredura a laser tridimensional (3D) como uma tecnologia de coleta de dados essencial para realizar o controle ativo do projeto por meio de avaliação dimensional e visual frequente, completa e precisa das condições em que se encontram ambientes a serem reformados e os que ainda serão construídas nos canteiros de obras (Akinci *et al.*, 2006).

É necessário ter um conhecimento profundo dos algoritmos de processamento de nuvem de pontos e dos padrões BIM. A representação gráfica rápida e precisa de um espaço físico pode ser feita a partir de varredura a laser e dados fotogramétricos usando um software de Modelagem de Informações de Construção. A técnica compreende um recurso de engenharia reversa em que peças paramétricas, que representam elementos arquitetônicos são mapeados em varredura a laser ou dados de pesquisa fotogramétrica. Em geral, uma vez que o levantamento geométrico foi realizado por meio de técnicas de fotogrametria de curto alcance ou por meio de Escaneamento a Laser Terrestre, a nuvem de pontos ou sua malha, são modelados em objetos BIM (Pepe *et al.*, 2021).

As duas abordagens mais comuns em sensoriamento remoto para gerar nuvens de pontos são LiDAR e fotogrametria. O LiDAR é uma técnica ativa de sensoriamento remoto que emite feixes de laser para medir o ambiente. Ele ilumina a superfície com uma série de luzes laser. O tempo que a luz refletida leva para chegar ao sensor é medido pelo sistema. Enquanto que a fotogrametria é uma técnica passiva de sensoriamento remoto que captura várias imagens digitais de diferentes ângulos para determinar a geometria de um objeto. Ele fornece nuvens de pontos coloridas e totalmente texturizadas.

O LiDAR é visto como um método robusto para coletar pontos de medição 3D com grande eficiência. É um método capaz de detectar e medir distâncias de objetos em um ambiente por detecção e alcance da luz. Isto é possível graças à emissão de ondas infravermelhas pelo dispositivo no ar até alcançar um objeto ou superfície, Figura 1.



Figura 1: Correspondência robusto. À esquerda: imagem da câmera. Direita: Imagem de alcance (Aguilera *et al.*, 2009).

A acessibilidade dos dispositivos de medição 3D em BIM melhoraram com os avanços da digitalização a laser e aumentaram a sua utilização. Os sensores fazem medições diretas do equipamento para objetos no entorno, usando atributos dos objetos no modelo, onde o BIM pode indicar o que precisa ser medido. A determinação das dimensões de qualquer objeto pode ser obtido medindo pontos dentro da faixa de varredura do scanner. Uma nuvem de pontos é gerada. Desta grande nuvem de pontos até o modelo BIM, vários métodos podem ser desenvolvidos até a reconstrução de modelos 3D digitais. Como mostrado na figura 2, a parametrização de objetos individuais em ambiente BIM, é possível pela associação de características físico-mecânicas a cada elemento estrutural ou arquitetônico, e outras informações imitadas através da nuvem de pontos usada como entrada (Rocha *et al.*, 2020).

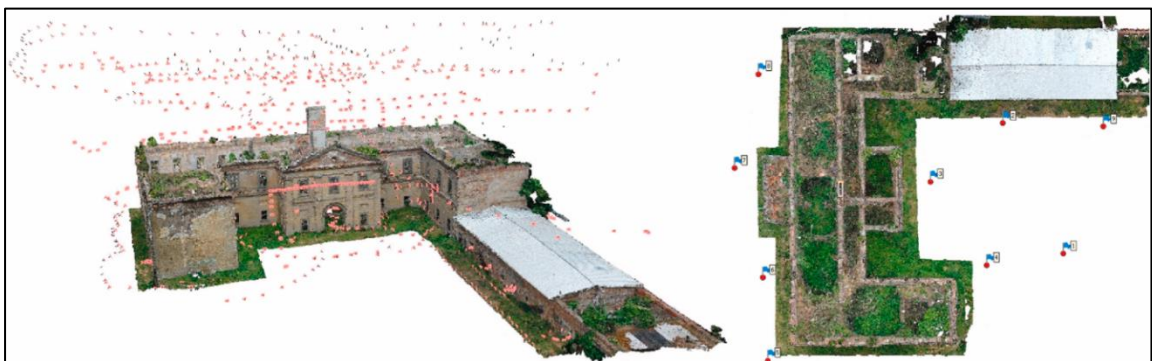


Figura 2: Posições de câmeras à esquerda e nuvem de pontos à direita ao redor do objeto, varredura a laser realizada em 69 posições (Marčiš e Fraštia, 2022).

O processo de digitalização para BIM consiste em três etapas: 1) captura por imagens coletados em diferentes locais de um edifício; 2) os dados de varredura são pré-processados, incluindo o registro de várias varreduras e a filtragem de dados com erro; 3) os dados pré-processados são importados para ferramentas de modelagem BIM, como exemplo o Autodesk Revit, onde um modelo 3D é criado manualmente com referência aos dados de digitalização (Wang *et al.*, 2022).

O BIM não é um software único, mas sim um processo que envolve vários softwares, operadores e fornecedores. Diferentes organizações estão envolvidas no processo de construção do

BIM e podem precisar de diferentes tipos de informações. São empresas que usam protocolos e princípios para o desenvolvimento de softwares com extensões abertas, como IFC, MVD, IDM e LandXML. Os IFCs envolvem inúmeras tarefas que abordam informações de construções como avaliação da geometria do edifício, análise e simulação, operação e manutenção, além da vantagem de fornecer vários níveis de detalhamento com base em um mesmo padrão de dados (Jiang *et al.*, 2019; Rodriguez *et al.*, 2020).

Com vários sensores e funções de computação os smartphones são poderosos equipamentos de pesquisa, especialmente para estudos de campo. Os sensores de GPS, de imagem, giroscópio e magnetômetro podem fornecer imagens em alta resolução de 4032x3024 pixels, informações de localização e a inclinação de uma imagem capturada, sendo uma nova tendência na reconstrução 3D de espaços físicos e diversos materiais. No estudo de An *et al.* (2022) um método rápido e prático por análise de imagem 3D foi responsável por medir o tamanho e a forma de partícula com base na fotogrametria do smartphone.

O smartphone é usado para capturar imagens daqueles objetos para os quais uma representação 3D deve ser construída, com auxílio de modelo CAD 3D mais semelhante disponível em um banco de dados. As imagens, juntamente com informações de profundidade serão processadas por um servidor. Um programa classifica os objetos enquadrados, recupera os correspondentes Modelos 3D mais semelhantes disponíveis em um banco de dados, que estima a posição, rotação vertical, fator de escala compatível com a forma e a posição do objeto no sistema de referência mundial definido pelo smartphone, que poderá ser conferido com outra tecnologia de posicionamento. Um software de Modelagem de Informações de Construção poderá ser usado para visualizar a cena reconstruída (Manni *et al.*, 2021).

3. Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida no prédio do Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial – SENAC, que está localizado na Rua José Clemente S/N, no centro da cidade de Manaus estado Amazonas, Brasil, com localização indicada na Figura 01. Tendo como coordenadas UTM de localização longitude 830.719,378 N e latitude 9.653.485,812 S. No imóvel funcionava o antigo Citybank, onde posteriormente com a reforma e ampliação passará a funcionar a Faculdade SENAC.

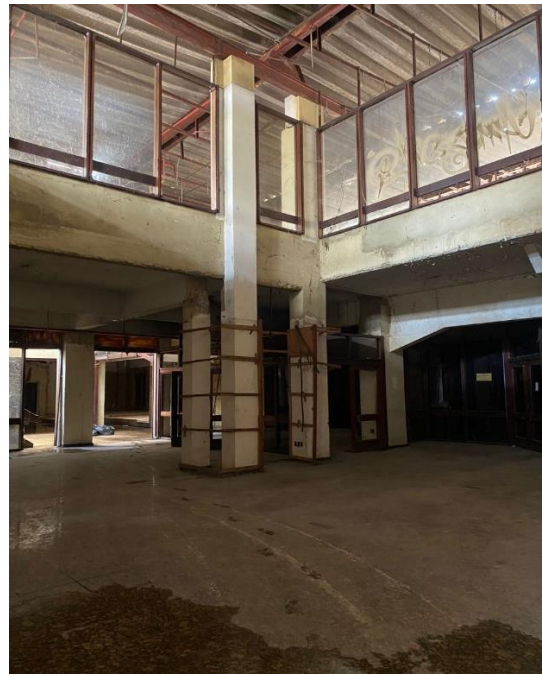


Figura 3: Imagem de localização do prédio em estudo (Google Earth, 2023).

Ao redor do imóvel foram demarcados 8 pontos georreferenciados com auxílio de uma estação total modelo Gowin TKS 202, exatidão 2mm, fabricação chinesa, para transformação no sistema nacional de coordenadas de referência. A demarcação dos pontos externos auxiliou na construção 3D dos espaços internos da edificação, conforme indicação da Figura 4.



(a)



(b)

Figura 4: (a) Estação total modelo Gowin TKS 202 para georreferenciamento dos pontos externos (b) Imagem interna da edificação.

A metodologia da pesquisa foi baseada na aplicação de um scanner 3D, que é um sistema LiDAR, que é um método capaz de detectar e medir distância de objetos em um ambiente, a tecnologia utilizada foi a de um sistema móvel de fácil coleta de informações com auxílio do aplicativo Matterport compatível a celular smartphone.

O scanner foi utilizado para coletar nuvens de pontos brutos para a construção dos espaços internos e externos da edificação com a reconstrução das plantas arquitetônicas com auxílio da tecnologia Scan to BIM, com o emprego do programa Autodesk Revit 2022.

O equipamento utilizado neste estudo foi um smartphone com câmera tripla de 64 MP, tela de 6,5” com 6 GB de memória RAM, acoplado a um eixo mais tripé giratório de 360° (esquerda direita). Para evitar a sobreposição insuficiente na coleta de fotos, as imagens foram tiradas com espaços de 60° e distância máxima de 4,5 m da sua base. Para a digitalização dos espaços físicos foi associado ao smartphone o aplicativo Matterport Capture.

4. Resultados

Após a coleta de dados espaciais nos ambientes internos e externos da edificação por meio da varredura a laser com o levantamento das fotos, foram geradas as imagens 3D representadas como nuvem de pontos, Figura 5, é uma imagem que necessita de intervenção para gerar uma superfície 3D realista. A mesma apresenta as medições espaciais em dados brutos, não possuem nenhuma semântica correspondente aos elementos como informações de materiais, paredes, piso, teto e características estruturais.



Figura 5: Primeiro pavimento da edificação, imagem 3D como dados brutos, nuvem de pontos.

Um dos problemas iniciais apresentados no registro das nuvens de pontos foi a variação de densidade, algumas regiões do levantamento apresentaram alta sobreposição, enquanto outras ficaram praticamente descobertas, conforme mostrado na Figura 5, tonando o procedimento mais demorado, pois foram necessários novos retornos para levantamento das áreas sem cobertura, limitações da própria técnica ao registrar nuvens de pontos com diferentes densidades devido à sensibilidade das características às variações de densidade das superfícies. O uso de um bom smartphone, com eficiente sensor de profundidade, que estão disponíveis apenas em alguns aparelhos, além do planejamento para localização dos pontos de varredura, são fundamentais para a reconstrução dos ambientes.

Após a digitalização dos dados brutos, o registro, compatibilização e correção dos mesmos foram feitos através do sistema de coordenadas global unificada para a região, mostrado na Tabela 1, obtidas no levantamento topográfico. A localização é um dos pontos muito importantes do reconhecimento visual 3D para a reconstrução de ambientes internos e externos da edificação. O posicionamento global vincula as imagens dos diferentes espaços através da compatibilização das técnicas de localização global envolvidas no processo de montagem.

Tabela 1. Coordenadas topográficas

Ponto	Orientação	Oeste	Norte	Azimute distância (m)
P1	Norte	830.719,387	9.653.485,812	90°29'07"
P2		830.758,588	9.653.485,480	39,18
P2	Leste	830.758,558	9.653.485,480	183°39'46"
P3		830.757,103	9.653.462,750	22,78
P3		830.757,103	9.653.462,750	91°24'35"
P4		830.762,377	9.653.485,620	5,28
P4	Sul	830.762,377	9.653.485,620	176°39'22"
P5		830.763,510	9.653.443,226	19,43
P5		830.762,377	9.653.443,226	265°28'20"
P6		830.763,510	9.653.442,059	14,79
P6		830.763,510	9.653.442,059	359°08'11"
P7	OESTE	830.748,768	9.653.448,163	6,10
P7		830.748,768	9.653.448,163	271°02'14"
P8		830.748,676	9.653.448,662	27,56
P8	OESTE	830.748,676	9.653.448,662	357°19'12"
P1		830.721,117	9.653.485,812	37,19

O tipo de precisão de posicionamento pode variar muito, o uso do GPS acoplado ao equipamento smartphone, é uma das técnicas mais rápidas e baratas. Está entre as mais comuns, por usar a rede global de satélites estabelecida para posicionamento, emprega uma infraestrutura já existe, mas que embora a disponibilidade seja ampla, o sistema de posicionamento ainda depende de precisão e confiabilidade necessárias (Amin *et al.*, 2023; Schall *et al.*, 2009).

A planta topográfica, Figura 6, demonstra a poligonal com a indicação dos pontos das coordenadas georreferenciadas, que auxiliaram não somente a retificação do terreno, mas também, as correções dos dados brutos com as coordenadas externas e internas da edificação.

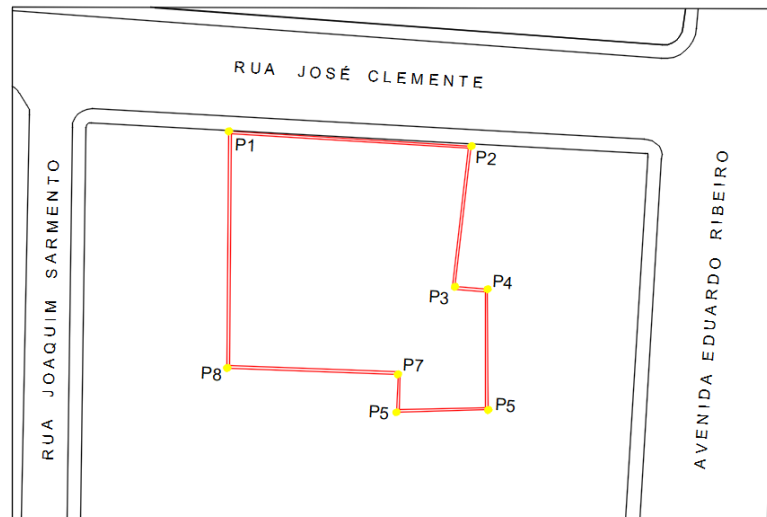


Figura 6: Poligonal com a indicação dos pontos externos georreferenciados.

As coordenadas georreferenciadas do levantamento topográfico externo serviram de base e integração, com maior precisão, para todo o modelamento espacial dos ambientes internos, permitindo a aplicação diversificada, integrada e convergente das múltiplas informações espaciais. Para a associação dos trechos de diferentes regiões foi usado o software Autodesk ReCap que manipula, segmenta e exporta trechos de nuvem de pontos de diferentes regiões, que facilitou a visualização de diferentes objetos encontrados na edificação para a elaboração de um projeto conforme construído, reduzindo significativamente o tempo de elaboração dos projetos arquitetônicos e complementares em comparação com os métodos tradicionais.

Os dados na forma de nuvens de pontos 3D compatibilizados com as coordenadas topográficas garantiram uma boa precisão, elevado nível de detalhes e visualização das condições construídas do prédio em estudo. Porém, este formato de dados brutos não fornece informações detalhadas de paredes, janelas e materiais de componentes de construção.

A fase final do modelamento foi a conversão para modelos orientados ricos em informações que apresentam vários elementos e atributos, como textura, escala correta forma bem definida e tipo de material. O processo de transformação das superfícies 3D, dados espaciais, em um modelo orientado e realista, foi possível através do uso das ferramentas de modelagem do programa Revit 2022 da Autodesk. Através de um operador as peças foram combinadas usando o banco de dados para modelamento, os componentes da construção são reconhecidos pelo especialista, que substitui os elementos brutos em superfície 3D realista. As peças são combinadas, encaixadas e costuradas para serem incluídas no modelamento final da edificação. As relações entre elementos e seus objetos adjacentes podem ser definidas automaticamente, porém atributos não espaciais, parâmetros e definições de propriedades são adicionados ao modelo manualmente. O responsável pelo programa de modelagem, classifica o objeto, seleciona o modelo 3D mais semelhante do banco de dados, posiciona, orienta e ajusta o fator de escala. Por fim, a cena é reconstruída, conforme mostrado na Figura 7, e também destacado por (Patrick e König, 2019).

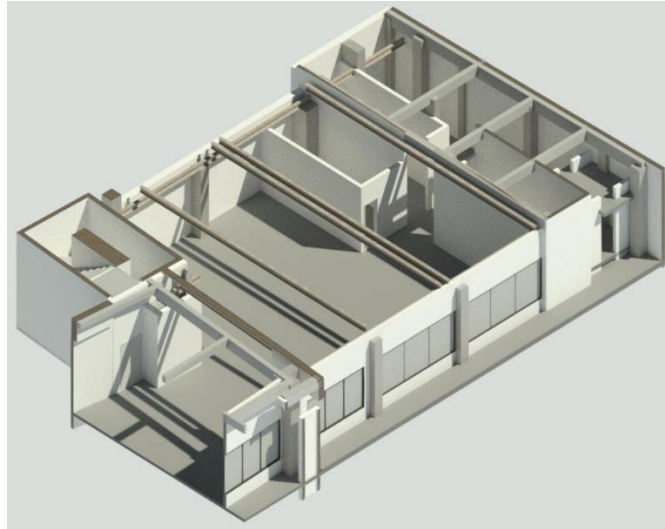


Figura 7: Primeiro pavimento da edificação, imagem 3D modelagem final, obtida a partir dos dados brutos da Figura 5.

A Figura 8 demonstra o modelamento final do prédio levantado na pesquisa, onde o maior avanço e emprego da técnica está na automação e rapidez de vários processos repetitivos e demorados para serem concluídos por operações tradicionais. Espera-se que esses procedimentos melhorem significativamente o custo, a precisão, o tempo e os recursos necessários para elaborar um modelo de construção em comparação com a prática tradicional. A modelagem de nuvem de pontos tem uma vantagem significativa devido às suas observações precisas, informações completas e processamento automático, como também descrito por (Jia *et al.*, 2022).



Figura 8: Modelamento final da edificação.

5. Conclusões

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise de como a varredura com scanner a laser foi implementado na elaboração do projeto do antigo edifício Citibank, que receberá o futuro prédio da faculdade SENAC-AM. Foram apresentados os resultados de um levantamento topográfico integrado ao Scan para BIM. Destacadas as dificuldades encontradas ao trabalhar com essas tecnologias, além dos resultados encontrados terem ajudado os gestores do empreendimento no estudo de viabilidade da edificação.

A realização do modelo 3D proporcionou um maior entendimento dos ambientes, as plantas baixas, vistas e cortes foram visualizados. Foram desenvolvidos os modelos construídos com as

informações dos materiais de construção, facilitando a quantificação dos mesmos e posteriormente os valores orçamentários para a adequação do edifício.

O scanner a laser demonstrou eficiência na coleta e processamento dos dados obtidos em campo, onde a nuvem de pontos gerada permitiu a visualização dos objetos presentes no local, bem como a medição precisa das distâncias e áreas. No entanto, a qualidade das imagens obtidas pela nuvem de pontos não demonstrou um nível avançado de nitidez.

A elaboração dos projetos em formato BIM forneceu uma visão completa do projeto, economizou tempo, facilitou a operacionalização dos novos projetos e tomada de decisão. Mas, apesar da grande importância do BIM nas áreas de engenharia e arquitetura, alguns problemas associados ao Scan para BIM ainda precisam ser melhorados, como a identificação de elementos estruturais complexos, para melhorar a eficiência dos resultados, muitos procedimentos ainda são feitos de forma manual. A compatibilização dos dados brutos, o modelamento 3D e o sistema de posicionamento global de forma plenamente automatizada ainda é um desafio.

Este trabalho pode servir de base para estudos futuros comparando a utilização dessas tecnologias, validando aspectos como agilidade do trabalho e precisão das informações e custos de execução.

Agradecimentos

Ao Departamento de Infraestrutura do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM/CMC e ao Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial – SENAC-DR/AM.

Referências

- Aguilera D. G, González P. R., Lahoz J. G (2009), An automatic procedure for co-registration of terrestrial laser scanners and digital cameras, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 64, Issue 3, 308-316, ISSN 0924-2716, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2008.10.002>.
- Akinci B, Boukamp F, Gordon C, Huber D, Lyons C, Park K (2006), A formalism for utilization of sensor systems and integrated project models for active construction quality control, *Automation in Construction*, Volume 15, Issue 2, 124-138, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.01.008>.
- Amin K, Mills G, Wilson D (2023), Key functions in BIM-based AR platforms, *Automation in Construction*, Volume 150, 104816, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104816>.
- An P, Tang H, Li C, Fang K, Lu S, Zhang J (2022), A fast and practical method for determining particle size and shape by using smartphone photogrammetry, *Measurement*, Volume 193, 110943, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110943>.
- Aryan, A. Bosché F, Tang P (2021), Planning for terrestrial laser scanning in construction: A review, *Automation in Construction*, Volume 125, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103551>.
- Bosché, F.; Ahmed, M.; Turkan, Y.; Haas, C.T.; Haas, R (2015). The Value of Integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM Techniques for Construction Monitoring Using Laser Scanning and BIM: The Case of Cylindrical MEP Components. *Autom. Constr.*, 49, 201-213. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521000029>)
- Golparvar-Fard, M., Peña-Mora, F., & Savarese (2009), S. D4AR—a 4-dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication. *Journal of information technology in construction*, 14(13), 129-153.
- Google Earth Pro – Imagem capturada em 01/02/2023.

- Hashemi, M., D. Reinhart (2001) *A new approach in plant physical documentation and information management for existing facilities using laser scanning, imaging, photogrammetry, Intelligent Processing and Manufacturing Materials*. Vancouver." British Columbia, Canada.
- Hu, Z.Z, Tian P.L, Li S.W, Zhang J.P (2018), BIM-based integrated delivery technologies for intelligent MEP management in the operation and maintenance phase, *Advances in Engineering Software*, Volume 115, 1-16, ISSN 0965-9978, <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.08.007>.
- Jia S, Liu C, Guan X, Wu H, Zeng D, Guo J (2022), Bidirectional interaction between BIM and construction processes using a multisource geospatial data enabled point cloud model, *Automation in Construction*, Volume 134, 104096, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104096>
- Jiang, S.; Jiang, L.; Han, Y.;Wu, Z.;Wang, N (2019). OpenBIM: An Enabling Solution for Information Interoperability. *Appl. Sci.*, 9, 5358.
- Kurwi, S.; Demian, P.; Blay, K.B.; Hassan, T.M (2021). Collaboration through Integrated BIM and GIS for the Design Process in Rail Projects: Formalising the Requirements. *Infrastructures*, 6-52.
- Manni A, Oriti D, Sanna A, De Pace F, Manuri F (2021), Snap2cad: 3D indoor environment reconstruction for AR/VR applications using a smartphone device, *Computers & Graphics*, Volume 100, Pages 116-124, ISSN 0097-8493, <https://doi.org/10.1016/j.cag.2021.07.014>.
- Marčič M, Fraštia M (2022), Effect of camera network configuration on the accuracy of digitization of architectural objects, *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, Volume 28, 2023, e00254, ISSN 2212-0548, <https://doi.org/10.1016/j.daach.2022.e00254>.
- Motawa I, Almarshad A (2013), A knowledge-based BIM system for building maintenance, *Automation in Construction*, Volume 29, 173-182, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.008>.
- Patrick H, and König M (2019). "Indoor localization for augmented reality devices using BIM, point clouds, and template matching." *Applied Sciences* 9.20: 4260.
- Pepe M, Costantino D, Alfio V. S, Restuccia A. G, Papalino N. M (2021), Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site, *Journal of Cultural Heritage*, Volume 50, 2021, Pages 115-125, ISSN 1296-2074, doi.org/10.1016/j.culher.2021.05.006.
- Rocha, G., Mateus, L., Fernández, J., Ferreira, V. (2020), A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings. *Heritage*, 3, 47–67.
- Rodríguez S, A.; Esser, S.; Abualdenien, J.; Borrmann, A.; Riveiro, B (2020). From Point Cloud to IFC: A Masonry Arch Bridge Case Study. In *Proceedings of the EG-ICE Workshop on Intelligent Computing in Engineering, Berlin, Germany, 30 June–3 July 2020*; pp. 422–431.
- Schall, G., Mendez, E., Kruijff, E., Veas, E. Junghanns, S., Reitingner, B., Schmalstieg, D (2009). Handheld Augmented Reality for Underground Infrastructure Visualization. *Personal Ubiquitous Comput.* 13, 281–291, <https://doi:10.1007/s00779-008-0204-5>.
- Wang Q, Li J, Tang X, Zhang X (2022), How data quality affects model quality in scan-to-BIM: A case study of MEP scenes, *Automation in Construction*, Volume 144, 104598, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104598>.