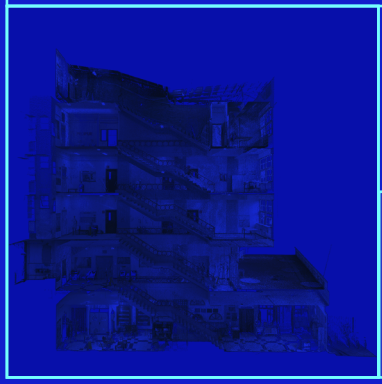
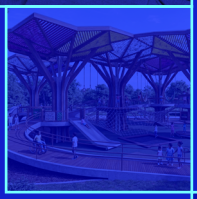
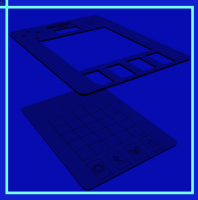
investigações
em inovação e tecnologia
aplicadas à arquitetura
e ao design_



investigations
into Innovation and Technology in
*Architecture and Design_*







Léia M. Bruscato ▪ César Kieling
_organizadores ▪ *edited by*

marcavisual
PGDESIGN UFRGS
I T A D

investigações

em inovação e tecnologia aplicadas à arquitetura e ao design_

investigations
*into Innovation and Technology in Architecture and Design_*

Léia M. Bruscato
César Kieling
_organizadores

marcavisual
PGDESIGN UFRGS
I T A D

Etapas iniciais de criação de gêmeos digitais: detecção de contornos com Python para conversão de nuvens de pontos em BIM

Initial stages of digital twin creation: boundary detection with Python for point-cloud-to-BIM conversion

Natália Cristina Diehl ▪ *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*
Renato Vaz Linn ▪ *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*
Léia Miotto Bruscato ▪ *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*
Renato Ventura Bayan Henriques ▪ *Universidade Federal do Rio Grande do Sul*

resumo

A demanda pela atualização cadastral de edificações existentes impulsiona a adoção de tecnologias de levantamento digitais, no entanto a conversão desses dados em modelos tridimensionais Building Information Modeling (BIM) ainda é um processo manual. Este capítulo investiga a aplicação de técnicas de visão computacional para aprimoramento do processo de modelagem BIM de elementos arquitetônicos da edificação sede da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Os procedimentos metodológicos envolveram a aquisição dos dados com equipamentos de varredura a laser terrestre e desenvolvimento de scripts em Python com as bibliotecas Opencv, a fim de identificar contornos a partir das nuvens de pontos. Os resultados demonstraram que, embora as formas obtidas tenham caráter preliminar, ajustes em parâmetros de processamento de imagens podem produzir resultados com precisão geométrica razoável para fins de representações digitais. Esse fluxo automatizado colabora com a transformação de edificações existentes em gêmeos digitais.

Palavras-chave

Gêmeos digitais;
Python;
BIM;
Nuvens de pontos;
Ambiente construído.

abstract

The demand for updating records of existing buildings has driven the adoption of digital surveying technologies; however, the conversion of these data into three-dimensional Building Information Modeling (BIM) models is still largely a manual process. This chapter investigates the application of computer vision techniques to improve the BIM modeling process of architectural elements of the main building of the School of Architecture at the Federal University of Rio Grande do Sul. The methodological procedures involved data acquisition using terrestrial laser scanning equipment and the development of Python scripts with the OpenCV library to identify contours from point clouds. The results demonstrated that, although the generated shapes are still preliminary, adjustments to image processing parameters can produce results with reasonable geometric accuracy for digital representation purposes. This automated workflow contributes to the transformation of existing buildings into digital twins.

Keywords

Digital twins;
Python;
BIM;
Point Cloud;
Built environment.

1 Introdução

No contexto da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), a adoção de tecnologias de captura da realidade com sensores tem sido impulsionada pela demanda por atualizações cadastrais do ambiente construído, especialmente em edificações que ainda carecem de representações digitais. Esses sistemas vêm substituindo progressivamente os métodos convencionais de levantamento manual, nos quais o uso de instrumentos analógicos, como desenhos feitos à mão e trenas eletrônicas, pode comprometer a fidelidade dos dados coletados, além de demandar maior tempo para a execução das atividades em campo (Diehl *et al*., 2025b).

Nesse contexto, destaca-se o processo de conversão de dados denominado *Scan-to*-BIM, que integra informações obtidas por meio de varredura com sensores LiDAR (*Light Detection and Ranging*) ou fotogrametria à Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling* – BIM). Esse processo é composto por três macroetapas principais: (1) escaneamento, (2) registro e (3) modelagem (Hajian; Becerik-Gerber, 2010). Tal procedimento assemelha-se ao processo de engenharia reversa, no qual um objeto é analisado e digitalizado para possibilitar sua reprodução digital. Em edificações existentes, o *Scan-to*-BIM permite reconstruir digitalmente os elementos visíveis do ativo edificado (Volk *et al*., 2014). No entanto, cada etapa desse processo apresenta desafios operacionais e computacionais que podem gerar imprecisões e elevar os custos do projeto.

Entre os principais desafios associados à modelagem digital a partir de nuvens de pontos, destaca-se, inicialmente, a necessidade de conversão manual dos dados, o que demanda constantes atualizações das informações e a atuação de profissionais com competências técnicas específicas (Mendes *et al*., 2024). Além disso, as nuvens de pontos geradas por dispositivos de escaneamento a laser caracterizam-se pelo elevado volume de dados decorrente da interação entre o feixe de laser e as superfícies capturadas, ocasionando a presença de "ruídos" (Reghunath *et al*., 2025). Embora a proximidade entre os pontos permita identificar

a geometria tridimensional dos objetos escaneados, a redução da densidade de pontos em determinadas regiões pode comprometer a definição geométrica dos elementos, impactando diretamente a acurácia da modelagem digital das informações.

Diante desse cenário, o presente estudo propõe investigar um fluxo de trabalho entre nuvens de pontos e modelagem BIM por meio da aplicação de técnicas de visão computacional em linguagem Python. A articulação entre essas tecnologias busca automatizar a conversão dos dados obtidos por escaneamento a laser em modelos BIM, identificando procedimentos que promovam maior acurácia entre os elementos capturados digitalmente e suas representações virtuais, contribuindo para ampliar a confiabilidade e a fidelidade das informações produzidas.

2 Captura da realidade para criação de gêmeos digitais

A criação de gêmeos digitais (GD) no contexto do ambiente construído depende inicialmente da aquisição de informações confiáveis sobre o ambiente físico. Nesse processo, a captura da realidade constitui a etapa de obtenção dos dados geométricos e visuais fundamentais para o início do fluxo *Scan-to*-BIM. A captura da realidade pode ser realizada através de diferentes tecnologias, tais como registros de imagem (fotogrametria) ou sistema LiDAR (Light Detection and Ranging). Os dados obtidos resultam em nuvens de pontos (*Point Cloud Data* – PCD), compostas por coordenadas X, Y e Z, obtidas pelo cálculo de distorção da imagem ou a intensidade do sinal refletido (Franco Júnior *et al.*, 2018). Sistemas LiDAR caracterizam-se pela utilização de sensores capazes de operar em diferentes faixas do espectro eletromagnético para registrar coordenadas tridimensionais do ambiente, o que implica maior acurácia aos elementos registrados (Leica Geosystems, 2023).

Essas formas de capturas podem estar associadas a diferentes tipos de dispositivos, tais como, sistemas de varredura a laser terrestre (Terrestrial Laser Scanning – TLS), veículos aéreos

não tripulados (VANT), dispositivos móveis, plataformas robóticas e equipamentos portáteis com aquisição contínua durante o deslocamento (Simultaneous Localization and Mapping – SLAM). Esses recursos possibilitam a geração de nuvens de pontos densas e detalhadas, capazes de representar com diferentes níveis de precisão as superfícies, elementos construtivos e irregularidades geométricas do ambiente construído. Observa-se que a integração entre escaneamento a laser terrestre e fotogrametria favorece a construção de modelos *Heritage Building Information Modeling* (HBIM) mais precisos, permitindo representar elementos arquitetônicos complexos, ornamentações e detalhes geométricos típicos de edificações históricas (Ribeiro *et al*. 2026).

No entanto, observa-se que, em decorrência das lacunas relacionadas à interoperabilidade entre softwares e ao grande volume de dados obtidos nos levantamentos cadastrais, os processos de conversão das informações em modelos BIM ou HBIM ainda se estruturam em procedimentos manuais (Freitas, 2024).

No contexto da tecnologia GD, as nuvens de pontos não se restringem à documentação geométrica do ativo, mas passam a constituir a base para integração de dados semânticos, operacionais e ambientais. A partir da modelagem BIM derivada do levantamento cadastral, torna-se possível associar informações relacionadas aos materiais, sistemas construtivos, parâmetros de manutenção, sensores IoT e dados de monitoramento em tempo real. Segundo Ribeiro *et al*. (2026), o enriquecimento semântico transforma o modelo digital em um repositório integrado de informações geométricas, alfanuméricas e documentais, ampliando suas possibilidades de aplicação em atividades de conservação, gestão e manutenção patrimonial.

Essa perspectiva também é observada por Diehl *et al*. (2025a), em pesquisa relacionada à captura da realidade, a qual foi empregada como etapa inicial para criação de um protótipo de GD aplicado à Biblioteca da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O estudo integrou levantamento cadastral com escaneamento a laser, registros fotográficos 360°, imagens termográficas e modelagem BIM em Archicad, asso-

ciados posteriormente à aquisição contínua de dados ambientais via sensores IoT conectados a uma plataforma em nuvem.

A captura da realidade é uma etapa de documentação caracterizada como estática, no entanto, estudos investigam abordagens semiautomáticas que utilizam dados de nuvens de pontos e imagens fotogramétricas para gerar representações estruturadas de edifícios. O processo de conversão automática da captura (nuvem de pontos com ruído) para modelos geométricos é abordado tanto por métodos baseados na aplicação de técnicas de visão computacional (Lin et. al, 2017) quanto baseado em operações puramente geométricas (Xin et. al, 2024), podendo incluir também etapas de identificação de categorias de elementos, tais como portas, aberturas e mobiliário (Wang et. al, 2026). A automação desse processo de conversão dos dados em modelos BIM facilita a aplicação da tecnologia de GD para ambientes internos, permitindo que a captura da realidade funcione como um sistema contínuo de atualização e sincronização entre ambiente físico e modelo virtual, característica principal para consolidação de um GD.

2.1 Nuvem de pontos e ruídos

Apesar do potencial das tecnologias de captura da realidade para aplicações *Scan-to*-BIM e GD, as nuvens de pontos obtidas por escaneamento a laser apresentam limitações relacionadas à presença de ruídos, redundâncias e inconsistências geométricas que dificultam o processamento e a modelagem das informações capturadas. Esses ruídos podem ser decorrentes de fatores associados ao próprio processo de aquisição, como erros de calibração dos equipamentos, vibrações, interferências ambientais, reflexividade dos materiais, variações de iluminação e fenômenos de borda, conhecidos como mixed-pixel, nos quais o feixe do laser incide simultaneamente sobre diferentes superfícies, comprometendo a precisão dos pontos registrados (Hajian *et al*., 2010).

Além das interferências geradas durante o escaneamento, as nuvens de pontos caracterizam-se por serem conjuntos de dados não estruturados, frequentemente compostos por densidades irregulares, sobreposição de informações e ausência de relações

topológicas explícitas entre os pontos (Xu *et al*., 2021). Essas características tornam complexas as etapas de segmentação, reconhecimento geométrico e identificação automática de elementos construtivos no fluxo *Scan-to*-BIM. Nuvens de pontos apresentam densidades heterogêneas, redundâncias em áreas de sobreposição e dificuldades de recuperação das relações espaciais entre pontos vizinhos, fatores que comprometem processos de reconstrução geométrica e modelagem automatizada.

No contexto da conversão de nuvens de pontos em modelos BIM, a presença de ruídos impacta a identificação de contornos, arestas e superfícies, especialmente em elementos arquitetônicos com geometrias complexas ou irregulares. Métodos tradicionais de filtragem e suavização podem reduzir inconsistências geométricas, porém podem provocar a perda dos detalhes e a suavização excessiva de descontinuidades importantes, como quinas, bordas e ornamentos arquitetônicos.

2.2 Métodos de identificação de contornos

Diante das limitações apresentadas, pesquisas exploram técnicas de identificação e simplificação capazes de preservar características geométricas no processo de conversão da nuvem de pontos em geometrias ou volumes identificáveis. No estudo de Han *et al*. (2023), propõe-se a simplificação de grande quantidade de pontos em um conjunto enxuto de segmentos de reta, sendo possível identificar a forma geométrica da planta baixa arquitetônica a partir da captura da nuvem de pontos. Wang *et al*. (2026) propõe simplificar cenas utilizando grafos semânticos, onde nós representam espaços, salas, objetos ou arestas e, dessa forma, relacionam a espacialidade entre os elementos. Essa proposta preocupa-se mais com a relação espacial entre os elementos de forma automatizada. E com uma estratégia voltada a pequenos elementos geométricos, Li *et al*. (2026) apresentam uma técnica de compressão de malhas 3D, que as simplifica codificando seus vértices, normais e arestas, utilizando uma arquitetura denominada MeshVAE. Ao contrário dos outros métodos, essa abordagem consegue comprimir a representação da malha. Dessa forma, o modelo simplifica a

quantidade de dados a serem processados, enquanto preserva as formas geométricas finas na criação do objeto tridimensional.

A Figura 1 ilustra o processo de reconstrução geométrica de segmentos retilíneos a partir de uma nuvem irregular de pontos contendo ruído. A simplificação excessiva resulta em falha na reconstrução geométrica, enquanto a baixa simplificação mantém a alta complexidade da nuvem. Um compromisso de simplificação intermediária resulta no melhor resultado, entretanto, devido à irregularidade da nuvem, técnicas são utilizadas para tentar reconstruir adequadamente a geometria como apresentado em Reghunath *et al*. (2025).

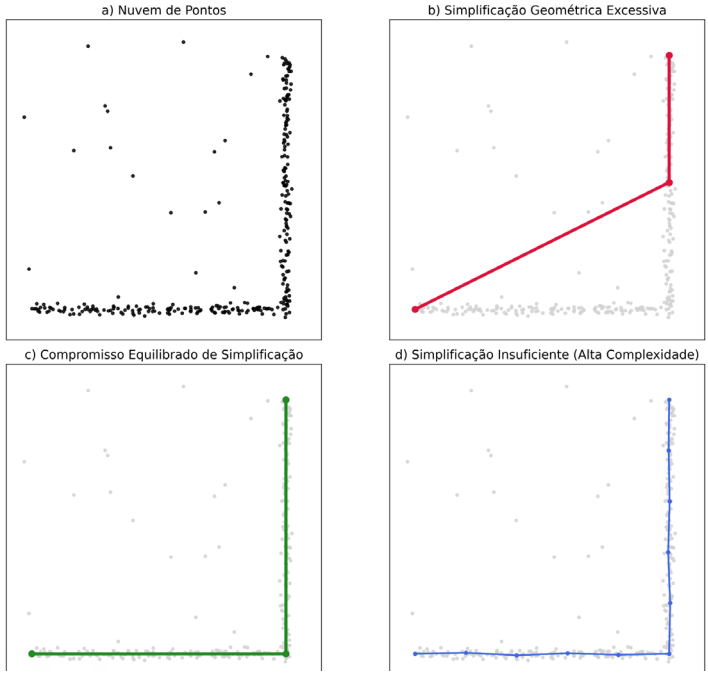


Figura 1: Reconstrução Geométrica de Segmentos e Simplificação a partir de Nuvem de Pontos.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Entre as abordagens geométricas, destacam-se métodos baseados em técnicas de RANdom SAmple Consensus (RANSAC), os quais buscam identificar segmentos ou primitivas geométricas consistentes a partir da nuvem de pontos. Nesse contexto, Reghunath *et al*. (2025) propõem estratégias de filtragem, correções geométricas

e detecção de vizinhanças voltadas à preservação de arestas e à suavização de dados com elevados níveis de ruído. A preservação acurada de descontinuidades geométricas em ambientes complexos também é investigada por Xin *et al*. (2024).

No contexto de técnicas derivadas da visão computacional, aplicam-se operações morfológicas, métodos de segmentação, extração de contornos e filtragens diretamente sobre representações matriciais ou imagens, em vez de atuar explicitamente sobre a geometria da nuvem de pontos. Em geral, essas abordagens visam à agregação e simplificação de regiões contendo pontos para obtenção de representações geométricas mais compactas (Hu, Zongtian *et al*., 2022).

A evolução desses métodos estende-se a modelos geométrico-semânticos capazes de inferir semanticamente elementos. Nota-se que abordagens semiautomatizadas permitem a extração de componentes não estruturais e suas relações espaciais hierárquicas através das técnicas de fusão multimodal (combinam informações das imagens capturadas em diferentes ângulos para identificar e localizar objetos no espaço 3D), além da detecção baseada em deep learning (Wang *et al*. 2026). Essa representação em grafos facilita a estruturação dos dados para aplicações de GD, possibilitando o rastreamento temporal de mudanças e uma futura gestão dinâmica do ambiente construído.

Nesse cenário, a redução de ruídos e a extração geométrica a partir de nuvens de pontos tornam-se etapas fundamentais para aumentar a precisão, automação e a confiabilidade dos processos de identificação de contornos e modelagem *Scan-to*-BIM, favorecendo a geração de modelos BIM mais consistentes e compatíveis com aplicações em GD e gestão do ambiente construído.

3 Procedimentos metodológicos

Para o desenvolvimento do estudo, os procedimentos metodológicos basearam-se nas macroetapas do processo *Scan-to*-BIM (Franco Júnior *et al*., 2018): (1) captura da realidade; (2) registro dos dados; e (3) modelagem, conforme Figura 2.

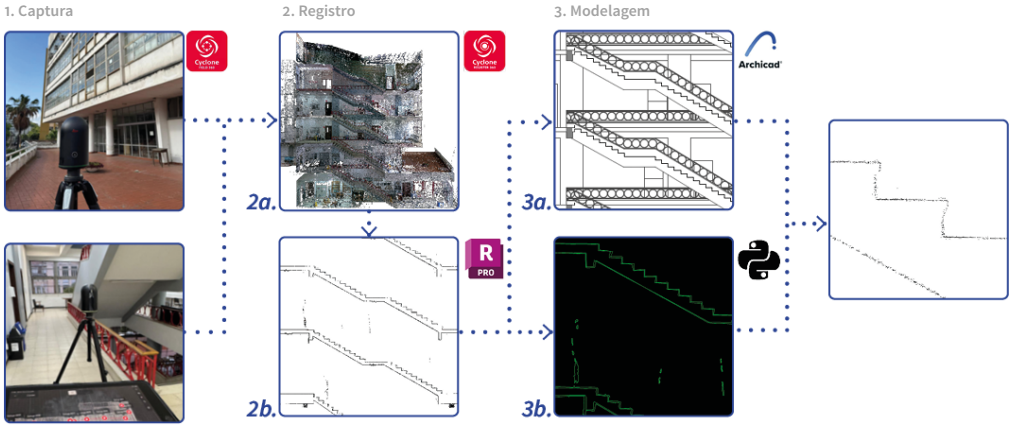


Figura 2: Fluxograma de procedimentos metodológicos. Fonte: Elaborado pelos autores.

Com o intuito de delimitar o alcance da pesquisa, na segunda etapa limitou-se o escopo: após o registro completo da nuvem de pontos (2a), selecionou-se uma área para amostra (2b). A terceira etapa subdividiu-se em: modelagem BIM manual no software Archicad (3a) e processamento de imagens via OpenCV em linguagem Python (3b). A programação desenvolvida permitiu, mediante o ajuste de parâmetros em tempo real, a extração de contornos e a respectiva conversão para arquivos geométricos bidimensionais (.dxf). Por fim, os resultados foram comparados na etapa de análise (4), conforme ilustrado no fluxograma de procedimentos metodológicos.

3.1 Objeto de estudo

O edifício-sede da Faculdade de Arquitetura (FA) da UFRGS, localizado no Campus Central em Porto Alegre, é um exemplar da arquitetura modernista inaugurado em 1958. Sua composição em "L" caracteriza-se por uma volumetria dividida entre uma base de formato irregular e um corpo principal de geometria ortogonal, separados visualmente por um pavimento intermediário em pilotis com fechamento recuado (Faculdade..., 2021). O projeto original da edificação previa 11 pavimentos, mas foi limitado a cinco andares (Figura 3).

A ausência de projetos atualizados (Diehl *et al.*, 2025b) e diversos desafios de conservação e manutenção tornam o edifício, com mais de 70 anos de uso, um objeto complexo para estudos no



Figura 3: Edifício-sede da FA da UFRGS. Legenda: Da esquerda para direita, edifício sede da FA/UFRGS; processo de captura com dispositivo da área externa; processo de captura com dispositivo dos corredores e escadas internas. Fonte: Registro dos autores.

contexto de digitalização e gestão de ativos por meio do processo *Scan-to-*BIM.

3.2 Captura e registro da nuvem de pontos

Para a etapa de captura da realidade, utilizou-se o dispositivo Leica BLK360 G1 (concessão Geosurvey Tecnologias), conforme anteriormente apresentado na Figura 3. O equipamento possui um alcance operacional de até 60 metros e acurácia tridimensional de 4 mm a 10 metros e de 7 mm a 20 metros. Além do sistema de câmeras de 15 MP para captura de imagens HDR, o scanner integra um sensor térmico FLIR Lepton (infravermelho de onda longa), capaz de realizar varreduras em um campo de visão de 360° x 70° (Leica Geosystems, 2023).

A captura dos dados brutos ocorreu em diferentes turnos distribuídos ao longo dos dias 26 e 27 de março de 2026. O fluxo de trabalho foi estruturado com o uso do software Cyclone FIELD 360 para a visualização e verificação preliminar dos dados no local. O registro dos dados brutos foi realizado no software Leica Cyclone REGISTER 360-BLK Edition (concessão Geosurvey Tecnologias).

O processamento da nuvem de pontos apresentou erro do conjunto de registro e erro nuvem a nuvem (*Cloud-to-Cloud Error*) de 0,003m, indicando precisão elevada no alinhamento entre as estações de escaneamento. O conjunto foi composto por 103 estações de captura e 102 vínculos registrados entre as capturas, com força de registro de 58% e taxa de sobreposição de 59%, considerados adequados para a consolidação do modelo tridimensional (Quadro 1).

Parâmetros	Resultados
Quantidade de capturas realizada	103
Quantidade de vínculos entre capturas	102
Força de registro	58%
Sobreposição das capturas	59%
Erro do conjunto	0,003m
Erro nuvem a nuvem	0,003m

Quadro 1: Resumo do relatório de processamento Cyclone REGISTER 360 PLUS (BLK Edition).
Fonte: Elaborado pelos autores com base no Registration Report Leica Geosystems.

As etapas posteriores de pós-processamento e limpeza da nuvem de pontos ocorreram no software Autodesk ReCap (licença educacional).



Figura 4: Pós-processamento nuvem de pontos.
Fonte: Elaborado pelos autores a partir do software de pós-processamento.

4 Resultados e discussões

A seguir são apresentados os resultados e discussões decorrentes das etapas de modelagem e processamento de imagens, conforme procedimentos metodológicos propostos para este estudo, poste-

riormente são apresentadas as considerações finais e sugestão de trabalhos futuros.

4.1 Seleção da amostra

As discrepâncias entre o projeto original e a execução da obra, somadas à ausência de documentação que retrate fielmente o estado atual (*as-is*) do edifício, configuram um dos desafios para sua conservação. Nesse contexto, o núcleo vertical, composto pelas escadas, foi identificado como um setor estratégico para o levantamento, devido à complexidade geométrica e às dificuldades de acesso para medições manuais de altimetria entre os pavimentos. Por esse motivo, o escaneamento a laser foi realizado abrangendo desde o pavimento térreo até a cobertura.

A amostra selecionada para a etapa de automatização de contorno constituiu o perfil transversal das escadas (Figura 5), sendo analisada sob três diferentes escalas de detalhamento para validação do algoritmo: (1) Seção global: imagem completa compreendendo a verticalidade de todos os pavimentos; (2) Seção intermediária: recorte da área de conexão entre o 2º e o 3º pavimento; (3) Detalhe geométrico: ampliação específica do perfil do degrau.

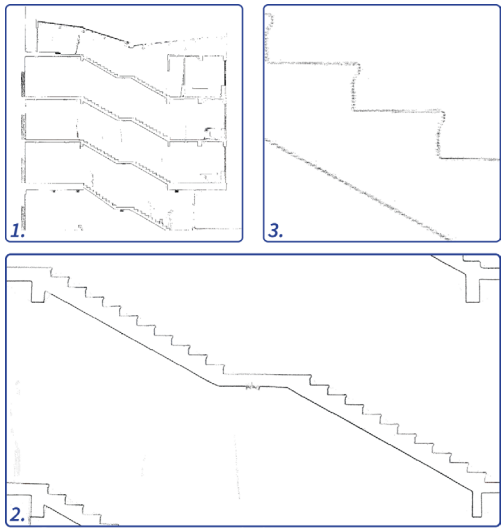


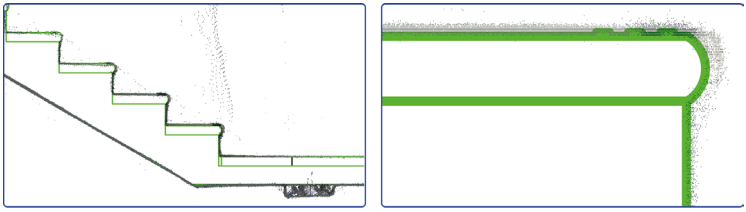
Figura 5: Seleção das amostras e geração das imagens.
Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 Modelagem

A etapa de modelagem compreende dois formatos distintos: primeiramente, o fluxo convencional *Scan-to*-BIM, caracterizado pela importação da nuvem de pontos diretamente no software de modelagem tridimensional; e, em um segundo momento, a abordagem via processamento de imagens com OpenCV em linguagem Python, conforme detalhado nas seções subsequentes.

4.2.1 Modelagem BIM

O procedimento adotado para modelagem BIM foi executado da seguinte maneira: primeiramente a nuvem de pontos foi pós-processada (Autodesk Recap versão estudantil) e nesta etapa foi necessário reduzir a quantidade de pontos globais da nuvem e limpar os ruídos para melhorar a usabilidade dentro do software de modelagem BIM. Neste caso, para o estudo utilizou-se Archicad 29 (Graphisoft versão estudantil). Para construção do componente utilizou-se o elemento construtivo "Escada" e foram ajustados os parâmetros para compatibilização semântica do elemento à da nuvem de pontos, na Figura 6 (a) nota-se a sobreposição do elemento modelado à nuvem de pontos da escada construída; no entanto, na Figura 6 (b) apresenta o detalhe ampliado que se evidencia a dispersão dos contornos do objeto.



a. Detalhe da modelagem do componente

b. Detalhe ampliado contornos do componente

Figura 6: Etapa do processamento da imagem. Fonte: Elaborado pelos autores.

Esse resultado corrobora as deficiências intrínsecas ao fluxo convencional, o qual demanda interpretação geométrica manual e pode resultar em imprecisões na representação dos limites do elemento.

4.2.2 Processamento das imagens

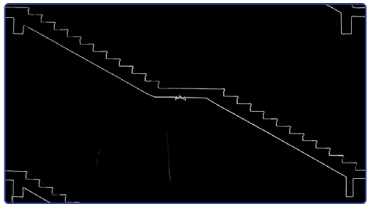
Para reconstrução geométrica a partir de uma representação ras-

ter da nuvem de pontos, foi utilizada uma técnica de visão computacional aplicada a imagens. A implementação foi realizada em Python com a biblioteca OpenCV. As etapas compreendem:

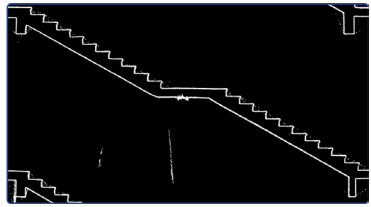
1. **Binarização**: aplicação de limiarização sobre o canal alfa da imagem para separar a região correspondente à nuvem de pontos do fundo;
2. **Dilatação**: operação morfológica que expande as regiões segmentadas, conectando pontos próximos e reduzindo descontinuidades locais;
3. **Fechamento Morfológico**: operação composta por dilatação seguida de erosão, utilizada para suavizar a região segmentada e preencher pequenas lacunas;
4. **Detecção de Contornos**: aplicação do algoritmo de Suzuki e Abe (1985), implementado no OpenCV, para extração dos contornos externos da região binarizada e suavizada pelas operações morfológicas;
5. **Filtragem dos Contornos**: remoção de regiões com área inferior a um limiar, eliminando ruídos e componentes espúrios;
6. **Simplificação Geométrica**: aplicação do algoritmo de Douglas–Peucker (1973), reduzindo a complexidade dos contornos através da diminuição do número de vértices;
7. **Exportação CAD**: conversão dos contornos simplificados para polilinhas e exportação em formato DXF compatível com softwares CAD.

A Figura 7 ilustra as etapas do procedimento aplicado no presente estudo.

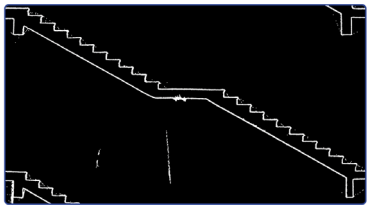
No detalhe da amostra ampliado a Figura 8 apresenta a imagem original constituída por nuvem de pontos e o modelo CAD final obtido. Como pode ser observado, a técnica é capaz de produzir um modelo geométrico aproximado automaticamente, regularizando parcialmente zonas contendo ruídos. Entretanto, o método



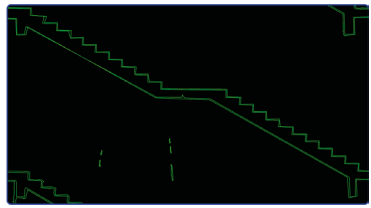
a. Binarização



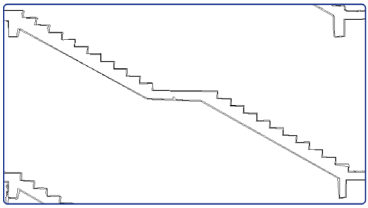
b. Dilatação



c. Fechamento Morfológico

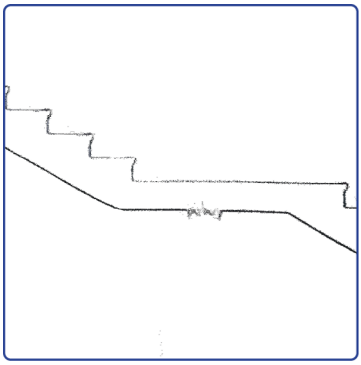


d. Detecção de contornos e suavização

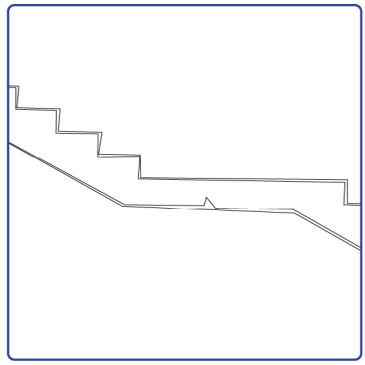


e. Modelo simplificado CAD obtido

Figura 7: Etapa do processamento da imagem. Fonte: Elaborado pelos autores.



a. Nuvem original



b. Geometria simplificada obtida

Figura 8: Detalhe do processamento. Fonte: Elaborado pelos autores.

também acaba produzindo a geometria (segmento) obtida para ambos os lados da nuvem de pontos, sendo possível a utilização de algum destes segmentos ou a junção de ambos em uma posição média por técnica geométrica apropriada.

Entretanto, o método de detecção com a simplificação excessiva da forma pode comprometer a preservação de detalhes e ornamentos arquitetônicos existentes na edificação, o que pode prejudicar futuros projetos de preservação patrimonial voltados ao HBIM. Em contrapartida, vislumbrando a futura integração de dados em tempo real, um modelo geométrico mais leve (gerado por Python) pode ser computacionalmente mais eficiente para executar simulações ou receber dados de IoT em plataformas de visualização de gêmeos digitais.

4.3 Comparação visual Modelagem BIM e processamento das imagens

Por fim, sobrepôs-se o contorno obtido por meio do método de processamento de imagens (.dxf) ao contorno do elemento tridimensional desenvolvido em BIM. Na Figura 9, observa-se que determinados detalhes geométricos foram simplificados durante o processamento de imagens, resultando em pequenas diferenças entre os contornos gerados. Contudo, a discrepância acumulada entre os contornos não ultrapassou 2mm em nenhuma das superfícies analisadas.

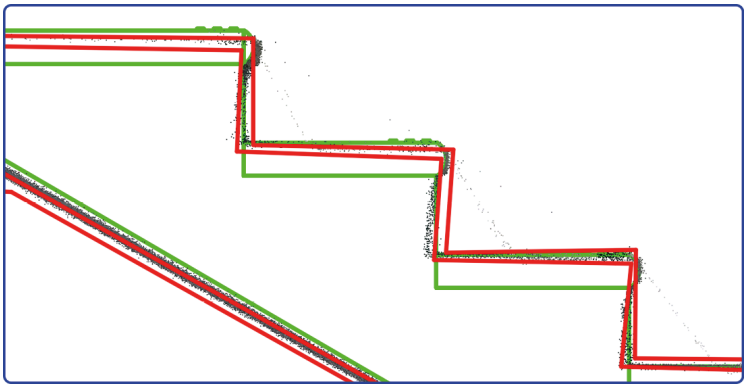


Figura 9: Comparação visual dos contornos geométricos. Legenda: Contorno da seção da nuvem de pontos; vermelho – contorno geometria simplificada; verde – contorno modelagem BIM. Fonte: Elaborado pelos autores.

Esse resultado evidencia o potencial da aplicação de técnicas de processamento de imagens para a geração automatizada de contornos, uma vez que a divergência geométrica identificada permaneceu inferior à margem de erro acumulada da própria nuvem de pontos (3mm). Assim, os resultados indicam que o método apresenta precisão compatível com aplicações voltadas à representação digital e à modelagem BIM de edificações existentes, especialmente em etapas preliminares de modelagem *Scan-to*-BIM.

Destaca-se que a precisão alcançada deve ser avaliada de forma contextualizada, de acordo com a atividade à qual o modelo BIM se destina. Em casos voltados à gestão e operação de ativos, geometrias simplificadas costumam ser adequadas. O levantamento de objetos padrão, como vasos sanitários e mobiliários, por exemplo, não exige precisão milimétrica. Assim, para a criação de Gêmeos Digitais (GD) focados em operação e manutenção, a adoção de geometrias simplificadas é suficiente e mais vantajosa, pois evita um esforço de modelagem manual exaustivo.

5 Considerações finais

O presente estudo evidenciou o potencial do uso de tecnologias de escaneamento a laser associadas ao desenvolvimento de scripts em Python como ferramenta de suporte ao processo de modelagem digital no contexto do *Scan-to*-BIM. A aplicação das bibliotecas OpenCV demonstrou que é possível estruturar fluxos de trabalho capazes de extrair informações geométricas relevantes a partir de nuvens de pontos, com destaque para a identificação automatizada de contornos.

Embora os resultados obtidos apresentem caráter preliminar, verificou-se que ajustes em parâmetros específicos podem aprimorar a fidelidade geométrica das representações e automatizar o processo. Dessa forma, conclui-se que a integração entre nuvens de pontos e ferramentas computacionais representa um caminho promissor para a digitalização de ativos no setor AECO, contribuindo para maior precisão, agilidade e fidelidade nos processos de modelagem de elementos.

Como perspectiva para trabalhos futuros, sugere-se o avanço do método para a geração automatizada de volumetrias tridimensionais, ampliando a aplicação do processamento computacional para além da extração bidimensional de contornos. Tendo em vista que o processo de extração geométrica a partir de imagens implica perda de resolução em relação à nuvem original, indica-se a necessidade de desenvolver métodos capazes de realizar recortes e processamentos diretamente sobre a própria nuvem de pontos, reduzindo as perdas de informação geométrica. Adicionalmente, recomenda-se a investigação de estratégias voltadas à visualização e à manipulação simplificada de grandes nuvens de pontos, permitindo o processamento otimizado de regiões específicas.

No âmbito da automação e modelagem, a extração de contornos 2D pode evoluir para servir como dado de entrada no treinamento de modelos de detecção baseados em deep learning ou grafos. Isso contribuiria para a inferência semântica automática dos elementos construtivos, classificando diretamente elementos como paredes, escadas ou portas. Para potencializar essa integração, pode-se explorar o desenvolvimento de plugins ou o uso de Application Programming Interfaces (APIs) que executem os scripts Python nativamente dentro dos softwares BIM, eliminando a necessidade de exportação para formatos intermediários (como o .dxf). Nesse contexto, destaca-se também a possibilidade de vincular os contornos geométricos obtidos ao recurso de "Perfil Complexo" de softwares como o Archicad, incorporando-os diretamente à criação paramétrica de componentes.

Por fim, os resultados reforçam a demanda por fluxos de trabalho mais integrados no contexto do *Scan-to*-BIM. A viabilização de visualizações rápidas de nuvens de pontos em grande escala e a extração automatizada de geometrias estimula a interoperabilidade sem a dependência de múltiplos softwares. Tais avanços são fundamentais para acelerar a conversão de ativos físicos existentes em modelos digitais precisos. Dessa forma, essas bases poderão suportar a visualização de informações dinâmicas em futuros gêmeos digitais, contribuindo para o gerenciamento do ciclo de vida das edificações.

Agradecimentos

O presente estudo resulta dos conhecimentos adquiridos na disciplina Visão Computacional, do Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Agradecemos à empresa Geosurvey Tecnologias pela concessão do sensor e do software utilizado neste trabalho. Esta pesquisa conta com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, por meio da bolsa de doutorado concedida à primeira autora.

Referências

DA COSTA, F. C. A.; XAVIER JUNIOR, E. D.; BORDA, A. A. S. A door to access HBIM: didactic aspects to advance in the level of detail (LoD), geometry (LOG) and information (LOI). In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IBERO-AMERICAN SOCIETY OF DIGITAL GRAPHICS, 27., 2024, Punta del Este. Blucher Design Proceedings. Punta del Este: Editora Blucher, 2024. Disponível em: **Blucher Proceedings**. Acesso em: 14 abr. 2026.

DIEHL, N. C. et al. Digital Twin Creation Process Applied to a University Building. In: **SIGraDi** 2025, 2025a. Disponível em: CumInCAD Paper Repository. Acesso em: 14 abr. 2026.

DIEHL, N. C. et al. Levantamento cadastral faculdade de arquitetura: aprimoramento da modelagem BIM com nuvem de pontos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 5., 2025, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2025b. DOI: 10.46421/sbtic.v5i00.7516. Acesso em: 5 maio 2026.

DOUGLAS, D. H.; PEUCKER, T. K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. **Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization**, v. 10, n. 2, p. 112–122, 1973.

FACULDADE de arquitetura. In: **Museu da UFRGS**. Porto Alegre, 5 jul. 2021. Disponível em: Museu da UFRGS. Acesso em: 29 mar. 2025.

FRANCO JÚNIOR, J. C.; COSTA, H. A.; MINTO FABRÍCIO, M. BIM and aerial photogrammetry: building documentation of E1 - USP São Carlos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 22., 2018, São Carlos. **Anais [...]**. São Paulo: Blucher, 2018. Disponível em: **Blucher Proceedings**. Acesso em: 29 mar. 2025.

HAJIAN, H.; BECERIK-GERBER, B. Scan to BIM: factors affecting operational and computational errors and productivity loss. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION, 27., 2010, Bratislava. **Anais [...]**. Bratislava: ISARC, 2010. Disponível em: ISARC Proceedings. Acesso em: 29 mar. 2025.

HAN, J. et al. FloorUSG: indoor floorplan reconstruction by unifying 2D semantics and 3D geometry. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 196, p. 490–501, 2023.

HU, Z. et al. Geometric feature enhanced line segment extraction from large-scale point clouds with hierarchical topological optimization. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 112, p. 102858, ago. 2022.

LEICA GEOSYSTEMS. **Leica BLK360 G1 Spec Sheet**. Heerbrugg: Leica Geosystems AG, 2023. Disponível em: Leica BLK360 G1 Spec Sheet. Acesso em: 15 maio 2026.

LIN, Y. et al. Facet segmentation-based line segment extraction for large-scale point clouds. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 55, n. 9, p. 4839–4854, 2017.

LI, W. et al. MeshFlow: Efficient Artistic Mesh Generation via MeshVAE and Flow-based Diffusion Transformer. **arXiv**, 15 jun. 2026. Disponível em: http://arxiv.org/abs/2606.04621. Acesso em: 23 jun. 2026.

MENDES, M. D. et al. Formação de servidores públicos: uma experiência do LaBIM-RS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2024. p. 1–12. DOI: 10.46421/entac.v20i1.6072. Acesso em: 3 maio 2026.

RIBEIRO, G. C. et al. An integrated HBIM protocol for digital documentation, management and reconstruction of historic buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 118, p. 114920, 2026.

SUZUKI, S.; ABE, K. A topological structural analysis of digitized binary images by border following. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, v. 30, n. 1, p. 32–46, 1985.

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: literature review and future needs. Automation in Construction, v. 38, p. 109–127, 2014. Disponível em: ScienceDirect. Acesso em: 29 mar. 2025.

WANG, M. et al. Automating graph-based geometric digital model generation for building digital twin applications from point cloud and image data. **Building and Environment**, v. 291, p. 114211, 2026.

XIN, X. et al. Accurate and complete line segment extraction for large-scale point clouds. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 128, p. 103728, 2024.

Declaração de disponibilidade de dados e uso de IA

Declaramos o uso das ferramentas de IA generativa (Gemini e ChatGPT) para suporte técnico na organização de referências bibliográficas e formatação deste trabalho. A autoria do conteúdo intelectual, a revisão final e as informações apresentadas são de responsabilidade dos autores.

Como citar este capítulo:

DIEHL, Natália Cristina; LINN, Renato Vaz; BRUSCATO, Léia Miotto; BAYAN HENRIQUES, Renato Ventura. Etapas iniciais de criação de gêmeos digitais: detecção de contornos com Python para conversão de nuvens de pontos em BIM. In: BRUSCATO, Léia Miotto; KIELING, César (Org.). **Investigações em inovação e tecnologia aplicadas à Arquitetura e ao Design.** Porto Alegre: Marcavisual, 2026. p.106-127. 2026. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.22215520.

Copyright © ITAD e Editora Marcavisual, 2026.
Organizado por Léia Miotto Bruscato, César Kieling.
Consultor editorial: Airton Cattani
Edição e produção gráfica: César Kieling
Projeto gráfico: Bruna Luz Vieira
Diagramação: Bruna Luz Vieira, Alexandre dos Santos Rossi
Capa: arte de Bruna Luz Vieira,
seleção de imagens de Léia Miotto Bruscato e César Kieling.
Revisão assistida por IA: César Kieling
Publicado por ITAD e Editora Marcavisual, agosto de 2026.

I62 Investigações em inovação e tecnologia aplicadas à arquitetura e ao design = Investigations into innovation and technology in architecture and design / organizadores Léia M. Bruscato & César Kieling. – Porto Alegre: Marcavisual, 2026.
304 p. ; 21 x 29 cm

ISBN 978-65-6230-009-3

Texto em português e inglês.

1. Arquitetura. 2. Design. 3. Inovação. 4. Tecnologia. 5. Inteligência artificial. 6. Realidade virtual. 7. Ambiente imersivo. 8. Metaverso. 9. Modelagem informacional. 10. Algoritmos. I. Bruscato, Léia M. II. Kieling, César. III. Título: Investigations into innovation and technology architecture and design.
CDU 658.512.2+72

CIP-Brasil. Dados Internacionais de Catalogação na Publicação.
(Jaqueline Trombin – Bibliotecária responsável CRB10/979)

DOI 10.5281/zenodo.22145381