XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Processo de Conversão de Escaneamento Laser em Modelos BIM para geração de Simulações Energéticas

Proceso de conversión de escaneo láser en modelos BIM para generar simulaciones energéticas

Process of converting laser scans into BIM models for energy simulation purposes

Desempenho Térmico do Ambiente Construído

Bertoldi, Natália Dâmaso

Mestranda, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil, ndbertoldi@gmail.com

Roque, Pedro Thiago

Mestrando, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil, ptdnascimento@inf.ufpel.edu.br

Silva, Antonio César Silveira Baptista Da

Professor Doutor, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil, antoniocesar.sbs@gmail.com

Resumo

Este estudo propõe um fluxo de trabalho automatizado para converter escaneamentos a laser, realizados com dispositivos móveis contendo o sensor LiDAR (Light Detection and Ranging), em modelos BIM compatíveis com simulações energéticas no Revit. A metodologia utiliza o aplicativo pCon-scan para gerar modelos tridimensionais, que são posteriormente interpretados e convertidos em geometrias paramétricas no Dynamo, com scripts em Python. O desenvolvimento do processo foi baseado em testes iterativos, aplicados inicialmente em ambientes isolados — como salas, quartos e escritórios — e posteriormente em uma residência completa. Os resultados indicaram maior precisão e coerência nos modelos de ambientes únicos, enquanto escaneamentos simultâneos de múltiplos ambientes apresentaram limitações geométricas. Ainda assim, o fluxo mostrou potencial significativo de automatização, reduzindo etapas manuais e viabilizando a compatibilidade direta com a ferramenta "Systems Analysis" do Revit. O processo está em fase de refinamento, buscando otimizações que tornem a etiquetagem de edificações existentes mais eficiente, acessível e integrada.

Palavras-chave: Escaneamento a laser. Modelagem BIM. LiDAR. Simulação energética. Automação.

Resumen

*Este estudio propone un flujo de trabajo automatizado para convertir escaneos láser, realizados con dispositivos móviles que contienen el sensor LiDAR (Light Detection and Ranging), en modelos BIM compatibles con simulaciones de energía en Revit. La metodología utiliza la aplicación pCon-scan para generar modelos tridimensionales, que posteriormente son interpretados y convertidos en geometrías paramétricas en Dynamo, con scripts de Python. El desarrollo del proceso se basó en pruebas iterativas, aplicadas inicialmente en entornos aislados —como salas de estar, dormitorios y oficinas— y posteriormente en una residencia completa. Los resultados indicaron mayor precisión y coherencia en los modelos de un solo entorno, mientras que los escaneos simultáneos de múltiples entornos presentaron limitaciones geométricas. Aun así, el flujo mostró un potencial significativo para la automatización, reduciendo los pasos manuales y permitiendo la compatibilidad directa con la herramienta "*Systems Analysis*" de Revit. Actualmente se está perfeccionando el proceso, buscando optimizaciones que hagan más eficiente, accesible e integrado el etiquetado de los edificios existentes.*

Palabras clave: Escaneo láser. Modelado BIM. LiDAR. Simulación energética. Automatización.

Abstract

This study proposes an automated workflow to convert laser scans, performed with mobile devices containing the LiDAR (Light Detection and Ranging) sensor, into BIM models compatible with energy simulations in Revit. The methodology uses the pCon-scan application to generate three-dimensional models, which are later interpreted and converted into parametric geometries in Dynamo, with Python scripts. The development of the process was based on iterative tests, initially applied in isolated environments — such as living rooms, bedrooms and offices — and later in an entire residence. The results indicated greater accuracy and coherence in the models of single environments, while simultaneous scans of multiple environments presented geometric limitations. Even so, the flow

showed significant potential for automation, reducing manual steps and enabling direct compatibility with the Revit "Systems Analysis" tool. The process is in the refinement phase, seeking optimizations that make the labeling of existing buildings more efficient, accessible and integrated.

Keywords: Laser scanning. BIM modeling. LiDAR. Energy simulation. Automation.

Introdução

A crescente demanda por edificações mais sustentáveis tem intensificado o interesse por mecanismos de avaliação de desempenho térmico e energético, como a etiquetagem de edificações. Essa ferramenta, regulamentada no Brasil pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica), visa informar o consumidor e incentivar melhorias no desempenho dos edifícios. No entanto, o processo de etiquetagem ainda enfrenta desafios, sobretudo na etapa inicial de levantamento de dados geométricos, que costuma ser manual, demorada e suscetível a erros. A urgência por soluções mais ágeis torna-se ainda mais evidente quando se observa que o país dispõe de apenas dois Organismos de Inspeção Acreditados (OIA) — situação que limita a capacidade de atender à demanda crescente por certificações e encarece o processo para os usuários finais.

Nesse contexto de carência de infraestrutura avaliadora, tecnologias que automatizam o levantamento geométrico emergem como peças-chave para acelerar todo o processo de etiquetagem. A digitalização de edificações por meio do escaneamento a laser tem se tornado uma ferramenta essencial na arquitetura e engenharia, particularmente em projetos de reforma e interiores (AUTODESK, 2024; BORKOWSKI; KUBRAT, 2024; SADEGHINEKO; LAWANI; TONG, 2024; WANG; GUO; KIM, 2019) e ainda, viabiliza a automatização em etapas críticas do fluxo. Entre as tecnologias disponíveis, o Light Detection and Ranging (LiDAR) integrado, por exemplo, ao iPhone 13 Pro, permite coletar dados tridimensionais diretamente no local (APPLE, 2024). O LiDAR emite pulsos de luz laser e mede o tempo de retorno para mapear superfícies, resultando em uma nuvem de pontos que descreve a geometria do ambiente.

Considerando a possibilidade de realizar simulações energéticas diretamente no Autodesk Revit por meio da ferramenta "Systems Analysis" (RODRIGUES, 2023), este trabalho recorreu à literatura sobre o processo de conversão de dados escaneados em modelos BIM, conhecido como scan-to-BIM. Embora muitos estudos nessa área não tenham como objetivo final a simulação energética, eles oferecem fundamentos relevantes para a criação de modelos digitais precisos, capazes de serem utilizados em análises de desempenho.

A integração entre levantamento tridimensional e modelagem em ambiente BIM tem sido objeto de interesse crescente em diversas pesquisas internacionais. Macher et al. (2017), por exemplo, propuseram um método semiautomático de reconstrução de edificações a partir de nuvens de pontos. O processo envolveu segmentações sucessivas da nuvem e a identificação dos planos representativos de paredes, tetos e pisos. Os elementos estruturais foram descritos em formato .obj e reconstruídos com base nos dados extraídos, considerando diferentes condições geométricas. Apesar de reduzir significativamente o tempo de modelagem, a abordagem exigiu intervenções manuais para garantir a precisão e a qualidade do modelo final, revelando os desafios ainda presentes na automatização completa do fluxo scan-to-BIM.

Já Zeng et al. (2023) desenvolveram o sistema Auto-Scan-To-BIM (ASTB), com o intuito de automatizar a conversão de nuvens de pontos em modelos BIM. A metodologia é composta por três módulos principais: o primeiro realiza a segmentação aprimorada dos planos por meio da detecção de bordas e recalibração de cantos; o segundo aplica regras heurísticas baseadas em conhecimento de domínio para reconhecer elementos construtivos (como paredes, pisos, tetos, janelas e portas) e gerar os objetos BIM correspondentes; e o terceiro realiza a exportação do modelo final em formato IFC, assegurando sua interoperabilidade com diferentes plataformas BIM.

Os resultados do estudo de Zeng et al. demonstraram alta precisão na identificação dos elementos arquitetônicos e na geração automatizada de modelos detalhados, o que contribui significativamente para aplicações como controle de qualidade, planejamento de obras e análises energéticas. Ainda assim, os autores reconhecem limitações, como dificuldades na representação de geometrias complexas e na determinação exata da espessura dos componentes, indicando oportunidades para futuros aprimoramentos.

A partir desse escaneamento, o aplicativo *pCon.scan* converte automaticamente a nuvem de pontos em elementos básicos (paredes, portas, janelas), acelerando a transição para o ambiente BIM. Todavia, ao importar essa geometria para o Revit, os objetos gerados não são reconhecidos como nativos, impossibilitando a edição de materiais e propriedades exigidas pela simulação energética (BORKOWSKI; KUBRAT, 2024).

Para contornar essa limitação, o objetivo deste trabalho é propor um fluxo de trabalho que interpreta os dados do escaneamento e recria a volumetria de forma parametrizada no Revit, garantindo compatibilidade com a ferramenta “Systems Analysis” (RODRIGUES, 2023) e,

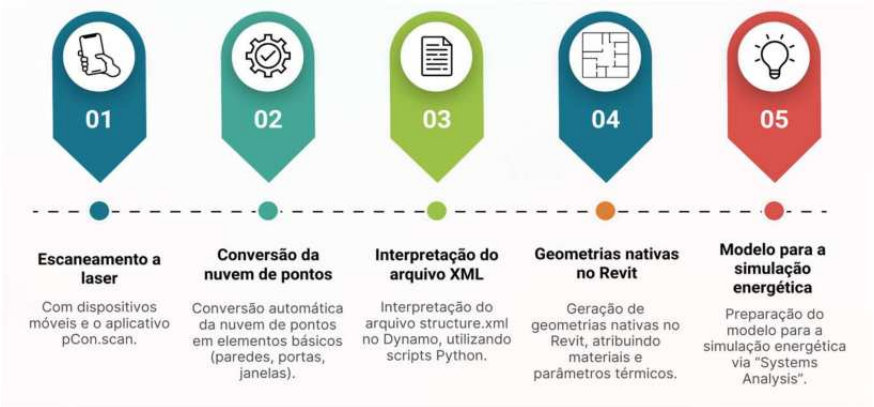
assim, com os requisitos da etiquetagem. Além de aprimorar o processo de modelagem, essa metodologia viabiliza o uso direto do modelo digital em simulações energéticas, contribuindo para uma análise mais eficiente do desempenho térmico das edificações. Ao integrar escaneamento, processamento automatizado e modelagem paramétrica, busca-se oferecer uma solução que torne a etiquetagem de edificações construídas mais ágil e acessível, auxiliando no avanço de políticas e práticas voltadas à eficiência energética no setor da construção civil.

Metodologia

Diante da carência de tecnologias que permitam automatizar o processo de etiquetagem de edificações, foi desenvolvido um componente de software capaz de interpretar os dados escaneados e recriar a volumetria de forma parametrizada dentro do Revit, assegurando a compatibilidade com as ferramentas de análise energética do software. Essas funcionalidades são orquestradas em um processo dividido em cinco etapas (Figura 1):

1. Escaneamento a laser com dispositivos móveis e o aplicativo pCon.scan;
2. Conversão automática da nuvem de pontos em elementos básicos (paredes, portas, janelas);
3. Interpretação do arquivo XML no Dynamo, utilizando scripts Python;
4. Geração de geometrias nativas no Revit, atribuindo materiais e parâmetros térmicos;
5. Preparação do modelo para a simulação energética via “Systems Analysis”.

Figura 1 - Fluxo de trabalho automatizado para conversão de escaneamentos a laser em geometrias BIM compatíveis com simulações energéticas.



Fonte: Autor (2024).

O projeto foi desenvolvido utilizando a metodologia de pesquisa aplicada, com o objetivo de transformar arquivos XML, que contêm dados de escaneamento de ambientes, em geometria nativa para o software Revit, empregando o software Dynamo como ferramenta de automação e conversão através de programação procedural e visual. O uso do Dynamo, aliado às bibliotecas como RevitAPI, permite automatizar interações com modelos Revit, facilitando processos desde a criação de elementos até manipulações que normalmente seriam realizadas manualmente pela interface visual, otimizando o fluxo de trabalho no ambiente BIM.

O projeto desenvolvido realiza a conversão de dados de escaneamento, utilizando uma série de funções que interpretam e transformam as descrições de objetos arquitetônicos em geometria. Utilizando a biblioteca xml.etree.ElementTree, foi possível aproveitar a forma hierárquica que organiza arquivos XML para implementar a lógica de geração dos elementos. Para cada objeto do tipo “parede”, foram extraídos os dados de comprimento, altura, ponto inicial e o quaternion de rotação, que são uma representação matemática que utiliza quatro parâmetros (w, x, y, z) para descrever rotações tridimensionais de maneira eficiente, evitando distorções e facilitando cálculos complexos. Todas as medidas foram convertidas de metros para pés para se adequarem às configurações do projeto, assim como os pontos foram convertidos para o sistema de coordenadas do Dynamo, mantendo o eixo X, e trocando o eixo Z pelo Y (X,Y, Z => X,Z,Y), corrigindo a orientação espacial e garantindo o posicionamento correto dos objetos no Revit.

A rotação dos objetos é expressa em quaternions devido à sua robustez em comparação com ângulos de Euler, que podem sofrer problemas como o gimbal lock. Isso exigiu implementações específicas para tratar esse formato e suas aplicações em objetos 3D, incluindo a conversão dos quaternions para o sistema de coordenadas do Dynamo. Para aplicar a rotação de um ponto, foi necessário calcular o conjugado do quaternion, que corresponde à inversão dos sinais da parte vetorial, e a multiplicação entre quaternions, para aplicação de fórmula conforme ilustrado na Figura 2. Essa manipulação de quaternions é essencial para garantir a aplicação correta das rotações aos pontos que geram as linhas definidoras da geometria.

No Dynamo, essas linhas orientam a construção de paredes no projeto Revit, sendo transformadas em elementos BIM ao associar características como altura e espessura ao eixo definido. A mesma lógica de pontos e linhas orienta o posicionamento de aberturas com base

na descrição do escaneamento. Para garantir a reprodutibilidade do método, foram adicionados blocos de seleção para as famílias de portas, janelas e paredes no Revit.

Figura 2 - Fórmulas Utilizadas nas Funções do Projeto.

Representação do Ponto como Quaternion

$$p=(0,x,y,z)$$

Representação do Quaternion de rotação

$$q=(w,x,y,z)$$

Cálculo do Conjugado do Quaternion de Rotação

$$q*=(w,-x,-y,-z)$$

Fórmula de Multiplicação de Dois Quaternions

$$q1 \cdot q2 = (w1w2-x1x2-y1y2-z1z2,\ w1x2+x1w2+y1z2-z1y2,\ w1y2-x1z2+y1w2+z1x2,\ w1z2+x1y2-y1x2+z1w2)$$

Multiplicação de Quaternions para Aplicar Rotação

$$p'=q \cdot p \cdot q*$$

Fonte: Autor (2024).

Após a geração da volumetria parametrizada por meio da programação no Dynamo e a realização dos ajustes necessários nos elementos construtivos, o modelo passa a estar apto para a simulação computacional. Para a análise energética, foi adotado o fluxo de trabalho baseado no System Analysis do Revit, conforme descrito por Rodrigues (2023). Esse método permite a avaliação do desempenho térmico do edifício diretamente no software de modelagem, sem a necessidade de exportação para programas específicos de simulação energética, tornando o processo mais integrado e eficiente.

O processo consiste na definição da localização e clima do projeto, atribuição das propriedades construtivas dos elementos, incluindo os materiais de paredes, lajes e aberturas, de forma a refletir suas características reais e impactar corretamente os cálculos de desempenho térmico. Em seguida acontece a criação dos espaços dentro do modelo BIM, e configuração dos parâmetros de análise de energia, garantindo que os ambientes sejam reconhecidos adequadamente pelo motor de simulação.

Com todas essas informações inseridas, o modelo é processado pelo motor de análise do Revit, que gera relatórios detalhados sobre o consumo energético. Essa abordagem possibilita a avaliação do edifício de forma automatizada e integrada ao ambiente BIM, facilitando o processo de avaliação energética.

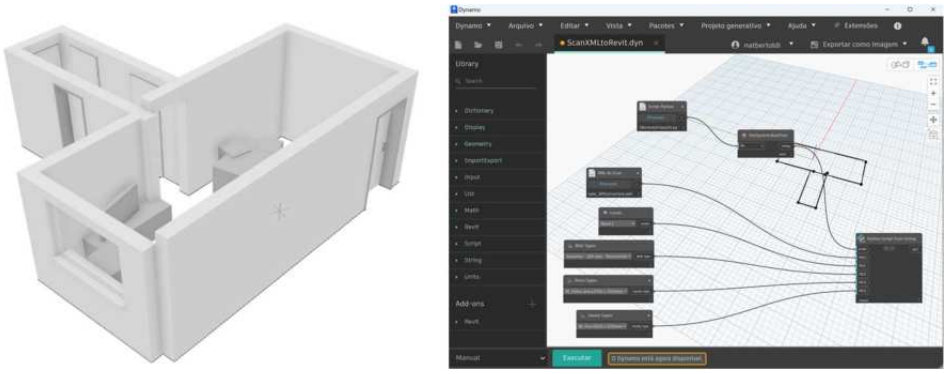
Assim, a metodologia proposta combina a digitalização automatizada de edificações com um fluxo de modelagem parametrizada e análise computacional dentro do próprio Revit. O foco

central deste trabalho está na otimização da etapa de levantamento e modelagem geométrica de edificações existentes, utilizando dispositivos com sensor LiDAR e programação visual para gerar modelos compatíveis com o ambiente BIM. Para verificar a compatibilidade do modelo gerado com simulações energéticas, foi seguido o fluxo descrito por Rodrigues (2023), aplicado exclusivamente à etapa de análise no Revit. Dessa forma, a simulação não constitui o objeto de estudo deste trabalho, mas serve como ferramenta de verificação da conversão geométrica proposta. O processo reduz a necessidade de remodelagem manual em softwares externos, otimizando o tempo e os recursos envolvidos na certificação energética de edificações existentes.

Resultados E Discussão

Foi realizado um primeiro teste em um ambiente reduzido, composto por uma porta, uma janela e uma abertura que conecta ao corredor com quatro portas adicionais, conforme modelo do escaneamento, mostrado na Figura 3 (a). Os elementos gerados ainda necessitam de adaptações e interpretações posteriores para atender ao fluxo de trabalho BIM, particularmente no Revit. O Pcon.scan gerou um arquivo no formato .eox, que foi compactado e posteriormente descompactado, resultando em quatro arquivos XML. Entre eles, o arquivo structure.xml continha o código com as informações da geometria do ambiente. Utilizando um script em Python, executado no ambiente de programação visual Dynamo, foi possível interpretar esses dados e convertê-los em geometrias BIM paramétricas, adequadas ao controle e à análise dentro do projeto. O ambiente do dynamo com a programação para criação dos elementos nativos no Revit é mostrado na Figura 3 (b).

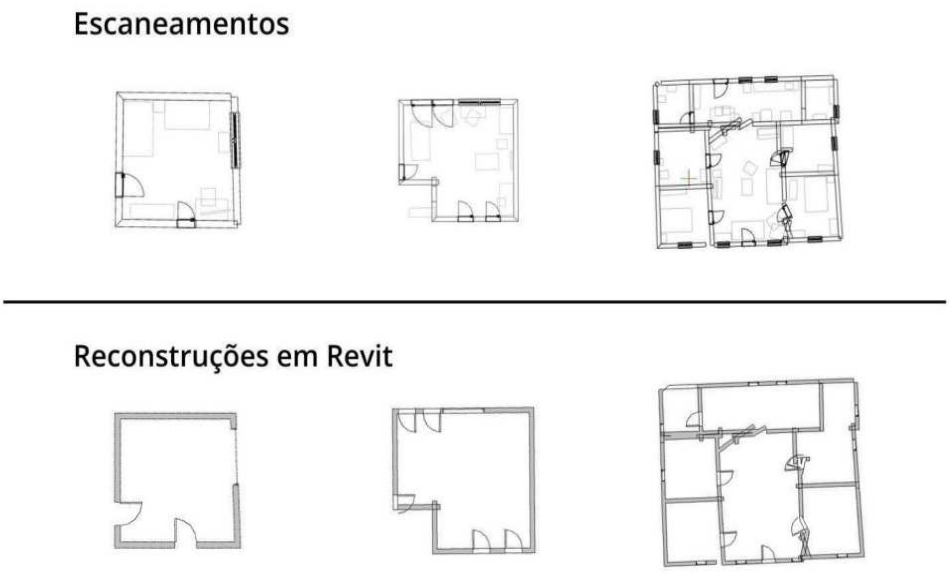
Figura 3 - (a) Modelo 3D gerado no escaneamento. (b) Dynamo com a programação para criação dos elementos nativos no Revit.



Fonte: Autor (2024).

Já, a precisão e fidelidade da conversão dos dados do XML para o Revit foram avaliadas visualmente através da comparação entre o modelo gerado e as plantas originais de alguns testes feitos. As imagens (Figura 4) mostram que os elementos criados seguem fielmente as dimensões e posições definidas no arquivo XML, demonstrando a exatidão do processo de conversão. Pequenas discrepâncias podem ocorrer devido a variações no processamento dos quaternions de rotação, mas o impacto na modelagem geral foi mínimo.

Figura 4 - Comparação de geometria original de escaneamentos e reprodução em geometria Revit a partir da implementação.

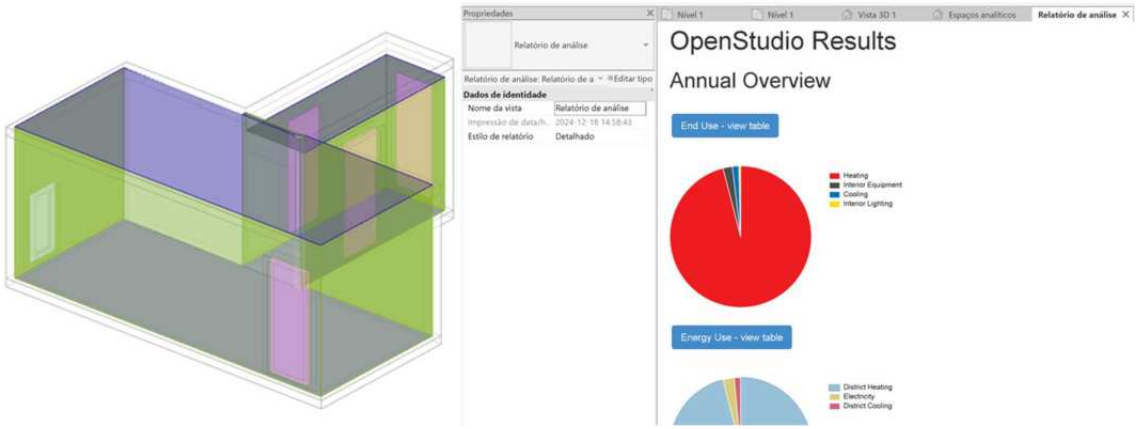


Fonte: Autor (2024).

Para mitigar alguns problemas de reconhecimento da geometria na hora do escaneamento, foram realizadas adaptações manuais no modelo, incluindo a união das paredes e a criação manual de elementos como a laje de piso, a laje de cobertura e o forro, que não são feitos no modelo escaneado. Com estes ajustes, foi possibilitada a realização da simulação energética no Revit. Rodrigues (2023), em seu estudo, apresenta um protocolo detalhado para viabilizar simulações energéticas diretamente no Revit por meio da ferramenta “Systems Analysis”, com o objetivo de reduzir o tempo para emissão de etiquetas, eliminando etapas desnecessárias. Seguindo os procedimentos descritos por ele, foram configuradas as propriedades térmicas dos materiais, a localização e o clima do projeto, bem como criados os espaços e definidos os

parâmetros necessários para a análise energética. Esse processo tem como objetivo transformar o modelo arquitetônico em um modelo analítico energético, compatível com os critérios de avaliação do desempenho térmico. Durante sua aplicação, ajustes foram necessários para garantir a correta geração do modelo analítico — mostrado na Figura 5(a) — incluindo a seleção da opção “Rooms and Spaces” para criação do modelo e a adequação da modelagem de forros e superfícies analíticas. Com essas correções, foi possível realizar a simulação computacional e obter relatórios detalhados sobre o desempenho energético do edifício, conforme mostra a Figura 5(b).

Figura 5 - (a) Modelo analítico gerado a partir do modelo escaneado. (b) Relatório de análise energética gerado dentro do software Autodesk Revit.



Fonte: Autor (2024).

A integração do modelo escaneado com a análise energética demonstra o potencial da abordagem para aplicações na etiquetagem de edificações, facilitando a avaliação do desempenho térmico de edificações existentes sem necessidade de modelagem manual. Essa metodologia reduz significativamente o tempo necessário para a geração de um modelo BIM compatível com simulação energética, permitindo uma análise mais ágil e eficiente.

Embora ainda em fase de desenvolvimento, o projeto já demonstra um potencial notável para otimizar tanto o processamento de dados quanto a geração de geometrias, quando comparado aos métodos manuais. De acordo com Gleń e Krupa (2019), a automatização do levantamento a partir da nuvem de pontos gerada por LiDAR proporciona ganhos significativos de produtividade, superando em eficiência os procedimentos tradicionais baseados em medições manuais. No estudo dos autores, a substituição do processo

convencional por fluxos digitais resultou em um ganho geral de produtividade da ordem de 52%, evidenciando o impacto positivo da integração tecnológica na racionalização das etapas de documentação arquitetônica. Esses indicadores de desempenho constituem, portanto, a base de produtividade que orienta o presente trabalho, guiando o desenvolvimento de fluxos de levantamento e modelagem capazes de simplificar o cotidiano do arquiteto e de tornar o processo projetual mais ágil e confiável.

A complexidade de uso do projeto também foi avaliada, com a interface em Dynamo facilitando a adaptação para diferentes tipos de arquivos XML e requisitos de projeto, tornando-o uma solução robusta e eficiente para fluxos de trabalho BIM. O projeto e seus códigos-fonte são open source e estão disponíveis em: https://github.com/PedroThiagoRoque/ScanXMLtoRevit..

Conclusões

O projeto demonstrou ser uma contribuição significativa para o fluxo de trabalho BIM, otimizando a conversão automatizada de dados de escaneamento em geometrias digitais precisas no Revit. A automação proporcionada reduz a intervenção manual, tornando o processo mais rápido e menos suscetível a erros, especialmente em projetos que envolvem grande volume de dados.

A precisão da conversão foi avaliada visualmente, confirmando que os elementos gerados seguem fielmente as dimensões e posições extraídas do arquivo XML. Pequenas discrepâncias foram identificadas, principalmente devido ao uso de quaternions para tratar rotações tridimensionais, o que apresentou desafios na modelagem de geometrias complexas no Revit. Essas limitações indicam a necessidade de aprimoramentos futuros para aumentar a precisão na conversão geométrica.

Além da geração do modelo arquitetônico, a ferramenta desenvolvida permitiu a preparação do modelo para simulação energética, explorando sua viabilidade na etiquetagem de edificações. Para isso, foram configuradas as zonas térmicas, as propriedades dos materiais, a localização e clima do projeto e os parâmetros de análise energética, seguindo as diretrizes apresentadas no trabalho de Rodrigues (2023). Durante essa etapa, desafios foram enfrentados na geração do modelo analítico, como a necessidade de ajustes na modelagem de forros e superfícies analíticas. Com essas correções, foi possível processar o modelo no

motor de simulação do Revit e obter relatórios sobre consumo energético e desempenho térmico do edifício.

A integração entre modelos gerados a partir de escaneamento e ferramentas de simulação energética reforça o potencial da abordagem para avaliações automatizadas do desempenho térmico de edificações existentes. Essa metodologia permite agilizar a geração de modelos compatíveis com certificações energéticas, tornando o processo mais eficiente e acessível para profissionais da área.

O projeto demonstrou eficiência na redução do tempo necessário para modelagem arquitetônica, oferecendo uma alternativa viável à modelagem manual, que pode ser demorada e propensa a erros. Com a interface em Dynamo, a ferramenta se mostrou adaptável a diferentes tipos de arquivos XML e requisitos de projeto, possibilitando sua aplicação em diversos contextos.

Em trabalhos futuros, o projeto poderá ser expandido para incluir uma maior variedade de elementos arquitetônicos, como diferentes tipos de portas e aberturas, assim como o refino de cálculos de posições tridimensionais. Além disso, novas melhorias poderão ser implementadas para otimizar a conversão do modelo para análise energética, garantindo maior precisão na avaliação de edificações e possibilitando sua aplicação em certificações de eficiência energética. Essas melhorias ampliarão a capacidade da ferramenta, tornando-a ainda mais versátil e adaptável a diferentes tipos de projetos arquitetônicos e de engenharia.

Dessa forma, a solução desenvolvida representa um avanço na automação de processos dentro do fluxo BIM, com impacto positivo tanto na modelagem arquitetônica quanto na avaliação do desempenho energético, contribuindo para um fluxo de trabalho mais eficiente e inovador na arquitetura e engenharia.

Referências

APPLE. **Capturing depth using the LiDAR camera.** 2024. Disponível em: https://developer.apple.com/documentation/avfoundation/additional_data_capture/capturing_depth_using_the_lidar_camera. Acesso em: 08 out. 2024.

AUTODESK. **3D laser scanning**: unleashing the power of precision. 2024. Disponível em: https://www.autodesk.com/solutions/3d-laser-scanning. Acesso em: 12 set. 2024.

BORKOWSKI, A. S.; KUBRAT, A. **Integration of laser scanning, digital photogrammetry and BIM technology:** a review and case studies. Eng, v. 5, n. 4, p. 2395-2409, 2024.

MACHER, H.; LANDES, T.; GRUSSENMEYER, P. **From Point Clouds to Building Information Models: 3D Semi-Automatic Reconstruction of Indoors of Existing Buildings**. Applied Sciences, v. 7, n. 10, p. 1030, 2017.

RODRIGUES, C. M. A. C. **A tecnologia BIM como ferramenta de simulação para etiquetagem de edifícios conforme a INI-C. 2023.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

SADEGHINEKO, F.; LAWANI, K.; TONG, M. **Practicalities of incorporating 3D laser scanning with BIM in live construction projects:** a case study. Buildings, v. 14, n. 6, p. 1651, 2024.

WANG, Q.; GUO, J.; KIM, M. K. **An application oriented scan-to-BIM framework.** Remote Sensing, v. 11, n. 3, p. 365, 2019.

ZENG, R; SHI, J. J. S.; WANG, C.; LU, T. **Integrating as-built BIM model from point cloud data in construction projects**. Engineering, Construction and Architectural Management, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2022-1196. Acesso em: 19 abr. 2025.

GLEŃ, Piotr; KRUPA, Karol. **Comparative analysis of the inventory process using manual measurements and laser scanning.** Budownictwo i Architektura, Lublin, v. 18, n. 2, p. 21-30, 2019. DOI: https://doi.org/10.35784/bud-arch.552.