Industrialização, Digitalização, Desempenho

5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção e 5º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos

FLORIANÓPOLIS-SC | 20 a 22 de agosto

[1]HBIM E GIS PARA O PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO MODERNO DA ANDALUZIA: UM ESTUDO DE CASO

HBIM and GIS for Modern Architectural Heritage of Andalusia: A Case Study

Rafael Fernandes Dionizio
Universidade Estadual de Campinas | Limeira, São Paulo | r200299@dac.unicamp.br

Eloisa Dezen-Kempter
Universidade Estadual de Campinas | Limeira, São Paulo | eloisak@unicamp.br

RESUMO

Este estudo investiga a integração entre o *Historic Building Information Modeling* (HBIM) e os Sistemas de Informações Geográficas (GIS) na gestão do patrimônio arquitetônico, abordando os desafios e as oportunidades dessa abordagem. A pesquisa destaca a importância da interoperabilidade entre diferentes formatos e o uso de tecnologias para aprimorar a documentação do patrimônio. A metodologia empregada incluiu a modelagem HBIM, a conversão de dados para o formato Geodatabase (GDB) e a integração em ambiente GIS. Além disso, explorou-se o enriquecimento semântico dos modelos HBIM-GIS e a implementação de uma plataforma WebGIS proprietária para compartilhamento de informações. Os resultados indicam que o formato GDB preserva a integridade dos dados HBIM e permite uma integração mais eficiente no ArcGIS Pro. A análise comparativa demonstrou a viabilidade da conversão e a importância da estruturação dos metadados para evitar inconsistências. O uso da webgis mostrou-se uma solução eficaz para disseminação e acesso aos modelos digitais. Conclui-se que a integração HBIM-GIS contribui significativamente para a documentação do patrimônio arquitetônico.

Palavras-chave: Patrimônio arquitetônico, HBIM e SIG, sistemas de informações geográficas, integração de dados.

ABSTRACT

This study investigates the integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and Geographic Information Systems (GIS) for the management of architectural heritage, addressing the challenges and opportunities of this approach. The research emphasizes the importance of interoperability between different data formats and the use of technologies to enhance heritage documentation. The methodology employed included HBIM modeling, data conversion to the Geodatabase (GDB) format, and integration within a GIS environment. Additionally, the study explored the semantic enrichment of HBIM-GIS models and the implementation of a proprietary WebGIS platform for information sharing. The results indicate that the GDB format preserves the integrity of HBIM data and allows for more efficient integration within ArcGIS Pro. Comparative analysis demonstrated the feasibility of the data conversion process and highlighted the importance of metadata structuring to avoid inconsistencies. The use of WebGIS proved to be an effective solution for the dissemination and accessibility of digital models. It is concluded that HBIM-GIS integration significantly contributes to the documentation of architectural heritage.

Keywords: *Architectural heritage, HBIM and GIS, geographic information systems, data integration.*

[1]DIONIZIO, R. F.; DEZEN-KEMPTER, E. HBIM e GIS para o Patrimônio Arquitetônico Moderno da Andaluzia: um estudo de caso. In: 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2025, Florianópolis. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2025.

1 INTRODUÇÃO

A gestão do patrimônio arquitetônico em áreas de grande escala é um desafio complexo, especialmente quando se trata de conservar e documentar elementos históricos e culturais. Em contextos urbanos e de larga extensão, a necessidade de integrar dados diversos, como informações topográficas, geográficas e de construção, é crucial para uma gestão eficaz e sustentável. Em grande parte, esses desafios envolvem a obtenção de dados precisos, a visualização em múltiplos formatos e a integração de informações provenientes de diferentes fontes, como arquitetos, engenheiros e gestores do patrimônio (MATRONE *et al*., 2024; GALEAZZO *et al.*, 2024). A implementação de tecnologias inovadoras, como o Building Information Modeling (BIM) e sistemas de informações geográficas (GIS), tem se mostrado promissora para abordar tais questões, mas as limitações relacionadas à interoperabilidade, à conversão de dados e à padronização continuam a representar desafios significativos (COLUCCI *et al.,* 2024).

O uso de tecnologias emergentes, como o *Heritage or Historic Building Information Modeling (*HBIM) e o GIS, tem avançado consideravelmente no campo da gestão do patrimônio (FERNANDES DIONIZIO; DEZEN-KEMPTER, 2024). O HBIM é uma adaptação do BIM para o contexto de patrimônio arquitetônico, focando na criação de modelos digitais ricos em informações, que permitem não apenas a visualização tridimensional, mas também a integração de dados semânticos e históricos. Por outro lado, o GIS oferece uma plataforma robusta para a análise espacial, permitindo que esses dados digitais sejam contextualizados no território. A convergência dessas tecnologias propõe um modelo integrado que facilita o monitoramento, a conservação e a gestão de bens culturais, potencializando a tomada de decisões estratégicas (BAIK *et al*., 2015; VACCA; QUAQUERO, 2018; MATRONE *et al*., 2024).

O BIM tem experimentado, nos últimos anos, diversos usos, desde estudos sobre sustentabilidade, como Lean and Green, até pesquisas sobre conservação e restauro, como a identificação e classificação de tipologias arquitetônicas. Isso sugere a crescente evolução do BIM e sua integração com novas tecnologias (BRAVO *et al*., 2023; DIONIZIO; MARQUES; DEZEN-KEMPTER, 2024; RODRIGUES *et al*., 2023). Um dos marcos iniciais no estudo da integração entre HBIM e GIS foi o trabalho de Murphy *et al*. (2012), que propuseram um processo inovador de integração direta de dados HBIM com GIS. Em seu estudo, eles utilizaram um modelo HBIM em formato IFC, integrando-o diretamente com sistemas GIS, como o ArcGIS, por meio de plug-ins específicos. Essa abordagem, embora promissora, revelou-se limitada devido à perda de dados semânticos e à dificuldade de visualização completa das informações no ambiente GIS. Ainda assim, esse trabalho pioneiro estabeleceu a base para futuras investigações sobre como otimizar a interoperabilidade entre essas duas tecnologias.

A evolução do HBIM para a integração com GIS não é apenas uma extensão do BIM, mas também um aprimoramento significativo das capacidades tradicionais do BIM no contexto de patrimônio arquitetônico. O BIM tradicional é amplamente utilizado para representar dados de construção de forma detalhada, enquanto o HBIM busca capturar as complexidades únicas dos edifícios históricos, incluindo suas formas irregulares, materiais e características culturais (DIONIZIO; DEZEN-KEMPTER, 2024; MURPHY *et al.,* 2024). A integração com o GIS, por sua vez, amplia essas capacidades ao adicionar uma camada espacial, permitindo que dados sobre a localização, o contexto geográfico e o estado de conservação dos edifícios sejam analisados de forma integrada e dinâmica.

No entanto, a integração bem-sucedida de HBIM e GIS não é trivial, e é necessário o uso de softwares específicos para facilitar a conversão e transferência de dados entre essas plataformas. Vacca e Quaquero (2018) foram pioneiros ao introduzirem o uso de softwares integradores de dados, como o FME, para converter modelos HBIM em formatos adequados para GIS, como o GDB. Essa abordagem minimiza a perda de dados e facilita a inserção das informações no ambiente GIS, melhorando a visualização e a análise. Dionizio e Dezen-Kempter (2024) exploraram a avaliação de abordagens integrativas para a conversão de dados HBIM para GIS, relatando que a conversão de dados HBIM de IFC para Geodatabase (GDB) oferece os melhores resultados em termos de preservação de dados semânticos e geométricos, além de ser mais eficiente na prática.

Diversos estudos recentes têm se dedicado à aplicação de HBIM-GIS para a gestão do patrimônio, mas os desafios relacionados à seleção dos tipos de dados a serem utilizados para a gestão continuam a ser uma questão relevante (XU *et al*., 2024; GALEAZZO *et al*., 2024; DIONIZIO; DEZEN-KEMPTER, 2024; MATRONE *et al*., 2024). Assim, a exploração de HBIM-GIS exige uma análise cuidadosa sobre quais dados são essenciais para diferentes fases da gestão patrimonial e como esses dados podem ser utilizados para

otimizar as operações de preservação, análise e decisão. O objeto de estudo deste trabalho é o distrito histórico do Pueblo de Esquivel, projetado pelo arquiteto Alejandro de la Sota, localizado na Andaluzia, que será utilizado como estudo de caso para a aplicação das metodologias de integração HBIM-GIS e para a avaliação do estado de conservação do patrimônio arquitetônico.

1.1 Estudo de caso

Esquivel é um distrito pertencente ao município de Alcalá del Río, localizado a 15 km de Sevilha, com uma população estimada em aproximadamente 900 habitantes. Este povoado é um exemplo representativo do movimento de colonização agrícola implementado na década de 1950, inserido no contexto do Plano Geral de Colonização, iniciado em 1950, com o objetivo de estabelecer uma área de cultivo irrigado ao longo dos rios Viar, Guadalquivir e Rivera de Huelva. O planejamento urbano de Esquivel, concebido inicialmente em 1952 por Alejandro de la Sota, reflete uma fusão entre o racionalismo e influências regionais, fundamentando-se em conceitos de urbanismo humanista e na ideia de cidade-jardim. A organização do espaço segue um modelo geométrico que favorece a funcionalidade e a integração do ambiente natural e construído, destacando-se por um conjunto de ruas dispostas em arco. Esta configuração espacial é particularmente notável pela separação das áreas destinadas a seres humanos e animais, inicialmente projetadas para convivência com os animais de trabalho e, posteriormente, adaptadas para o uso de tratores nas atividades agrícolas.

A arquitetura de Esquivel pode ser caracterizada como moderna vernacular, refletindo uma busca por adaptar as soluções arquitetônicas ao contexto local e às condições climáticas da região. De la Sota, influenciado pelas ideias de urbanismo humanista e pelo conceito de cidade-jardim, procurou integrar as características regionais no planejamento urbano, ao mesmo tempo em que introduziu elementos modernos e inovadores, criando um ambiente que atendia tanto às necessidades da vida rural quanto à lógica do desenvolvimento industrial da época. O povoado de Esquivel faz parte de um projeto maior de colonização agrícola que visava transformar áreas anteriormente não exploradas em zonas de cultivo irrigado. A relação entre as estruturas habitacionais e os espaços destinados ao trabalho agrícola, como os campos de cultivo e as instalações de apoio, reflete um esforço para criar um equilíbrio entre a vida rural e a produtividade agrícola. Este projeto, que incluiu a construção de diversas vilas para abrigar os colonos, foi fundamental para a reconfiguração da paisagem social e econômica da região. Atualmente, Esquivel é reconhecido como patrimônio moderno da região, sendo um exemplo significativo da arquitetura e do urbanismo da segunda metade do século XX na Andaluzia. Em reconhecimento ao seu valor histórico e arquitetônico, o povoado está em processo de tombamento, visando à preservação de suas características originais e à continuidade da pesquisa e estudo sobre sua evolução urbanística (CALZADA-PÉREZ; PÉREZ-ESCOLANO, 2009). A Figura 1 ilustra o Pueblo de Esquivel.

Figura 1: Pueblo de Esquivel, Sevilla, España



Fonte: Calzada-Pérez e Pérez-Escolano 2009

2 MATERIAS E METODOS

Baseado nos estudos de Groat e Wang (2013), que destacam a importância de abordagens metodológicas detalhadas em pesquisas qualitativas, esta pesquisa adota uma metodologia qualitativa, utilizando o estudo de caso como a principal abordagem investigativa. O foco da pesquisa é explorar a integração entre HBIM e GIS, para o Pueblo de Esquivel, como objeto de estudo. O objetivo é explorar como essas duas tecnologias podem ser combinadas para enriquecer a gestão e a preservação do patrimônio arquitetônico. A pesquisa está estruturada em três etapas principais;

Etapa 1: modelagem HBIM e coleta de dados, a primeira etapa consistiu na modelagem HBIM, que foi realizada utilizando dados fornecidos pela província de Sevilha, juntamente com informações disponíveis em formatos DWG e PDF, referentes aos desenhos originais do projeto de Alejandro de la Sota. A modelagem foi desenvolvida com o uso de ferramentas especializadas em HBIM, considerando as especificidades dos dados provenientes dessas fontes. Este processo garantiu a criação de um modelo detalhado, que reflete com precisão as características arquitetônicas do "Pueblo de Esquivel", respeitando as particularidades históricas e espaciais do projeto original.

Etapa 2: conversão e Integração de dados, na segunda etapa, os dados obtidos a partir da modelagem HBIM foram convertidos para o formato IFC (*Industry Foundation Classes*), um formato amplamente utilizado para facilitar a interoperabilidade entre diferentes plataformas de modelagem e sistemas. Em seguida, esses dados foram convertidos para o formato Geodatabase, utilizando o software FME (*Feature Manipulation Engine*). De acordo com Dionizio e Dezen-Kempter (2024), o formato Geodatabase foi selecionado devido à sua capacidade superior de preservar dados durante o processo de conversão, garantindo uma integração mais eficiente entre HBIM e GIS e minimizando possíveis perdas de informações. Essa etapa foi crucial para garantir que os dados HBIM fossem compatíveis com o sistema GIS e pudessem ser processados e analisados de forma eficaz.

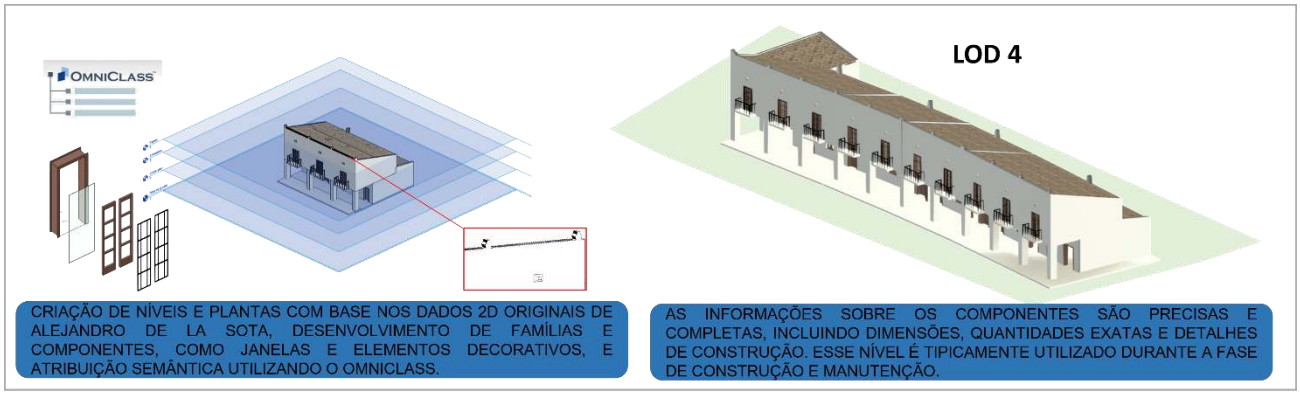
Etapa 3: criação e interação com o GIS, na terceira etapa, os dados convertidos foram integrados em uma camada 3D no ArcGIS Pro, permitindo a análise geoespacial detalhada dos elementos arquitetônicos do "Pueblo de Esquivel". O GIS foi utilizado para enriquecer os dados HBIM, incorporando informações adicionais, como dados geoespaciais e históricos, que complementam o modelo arquitetônico com informações contextuais essenciais para a gestão do patrimônio. Esses dados foram analisados e verificados em um ambiente WebGIS dedicado, desenvolvido especificamente para este estudo. A análise incluiu a verificação da precisão dos dados, a identificação de lacunas ou inconsistências, e a avaliação de como a combinação das tecnologias HBIM e GIS pode melhorar a gestão e preservação do patrimônio arquitetônico, facilitando a tomada de decisões informadas para sua conservação a longo prazo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Murphy, McGovern e Pavia (2009) destacam que a criação de famílias específicas para cada patrimônio arquitetônico, com o objetivo de modelar seus elementos, como janelas, portas e adornos, é crucial para o desenvolvimento de modelos HBIM. Nesse sentido, foram adotados diferentes níveis de detalhamento (LOD) para a modelagem das edificações do Pueblo de Esquivel. Este conjunto arquitetônico apresenta diversas tipologias de edificações, e, para este estudo inicial, utilizou-se o LOD 4, conforme definido por Antonopoulou (2017). Esse nível de detalhamento possibilita a captura de dados tanto do interior quanto do exterior das edificações, permitindo a atribuição de famílias específicas aos elementos do patrimônio arquitetônico.

Baseando-se em dados DWG fornecidos pela prefeitura e importados para o ambiente de modelagem arquitetônica no Revit, foram criados diferentes níveis e planos para a modelagem. Seguindo a metodologia padrão do Revit, foram modeladas as paredes e vedações. No ambiente de famílias, todos os elementos, incluindo janelas, portas e adornos, foram modelados com base nas características da arquitetura de Alejandro de la Sota. O modelo HBIM foi georreferenciado com base nas coordenadas extraídas pela função de geração do Revit, permitindo a integração precisa de pontos de coordenadas geográficas no modelo HBIM. Embora o uso de dados 2D para a modelagem HBIM seja uma abordagem válida, recomenda-se o uso de técnicas avançadas, como *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) e ferramentas de georreferenciamento, para aprimorar a precisão e a acurácia da documentação digital (COLTELLA, 2023). Contudo, o foco deste estudo é a aplicação da integração entre HBIM e GIS, e não a modelagem de alta precisão. A Figura 2 ilustra o modelo HBIM do Pueblo de Esquivel.

Figura 2: Modelo HBIM da Vivenda (Residência) tipo A e B



Fonte: Autores

3.1 Abordagem integrativa de dados HBIM e GIS

A integração e conversão de dados espaciais entre diferentes plataformas representam um desafio significativo, especialmente quando se trata de preservar a integridade e a precisão das informações. Nesse contexto, o uso de ferramentas especializadas, como o FME (*Feature Manipulation Engine*), se torna essencial para garantir a interoperabilidade entre diferentes formatos e sistemas (VACCA; QUAQUERO, 2018; COLUCCI *et al.* 2023). O FME é um software amplamente utilizado para a conversão e integração de dados espaciais, oferecendo duas extensões principais: Data Inspector e Workbench FME. Cada uma dessas ferramentas desempenha funções específicas e complementares no processo de manipulação e conversão de dados. O Data Inspector é uma ferramenta de visualização e inspeção de dados, permitindo a verificação da estrutura e da integridade dos dados presentes no modelo. Por outro lado, o Workbench FME é uma plataforma de transformação de dados, utilizada para realizar a conversão dos dados para outros formatos, além de possibilitar a filtragem e organização dos dados.

Neste estudo, foi adotado o formato IFC 4 para a exportação dos dados, devido à sua alta capacidade de interoperabilidade entre plataformas e à sua robustez na representação de informações relacionadas ao patrimônio arquitetônico. A validação inicial do arquivo IFC foi realizada utilizando o Data Inspector do FME, processo essencial para identificar lacunas nos metadados, especialmente nas propriedades "Axis" e "Description", que estavam vazias ou ausentes em diversas classes e subclasses do modelo IFC. Esse tipo de falha é crítico, pois pode comprometer a integridade dos dados durante a conversão e integração com plataformas GIS.

Para corrigir essas falhas, foi necessário retornar ao modelo original no Revit para preencher ou excluir essas propriedades vazias antes da reexportação para o formato IFC. A manutenção de metadados completos e preenchidos é crucial, pois dados vazios podem gerar erros durante o processo de conversão e dificultar a interpretação do modelo em sistemas GIS. Assim, a eliminação de metadados incompletos ou inconsistentes é uma prática recomendada para garantir a qualidade e a integridade dos dados durante a conversão para outros formatos. No modelo HBIM do Pueblo de Esquivel, referente às habitações tipos A e B, foram obtidas 8.625 entradas de dados e metadados, que foram minuciosamente analisados no Data Inspector do FME. Esses dados e metadados foram validados ao comparar o número total de entradas do modelo Revit original, garantindo que todas as informações relevantes fossem corretamente exportadas para o formato IFC. A validação comparativa das tabelas de dados no Data Inspector com as do Revit é uma etapa importante para assegurar que não houve falhas na exportação, garantindo a qualidade e a precisão dos dados exportados.

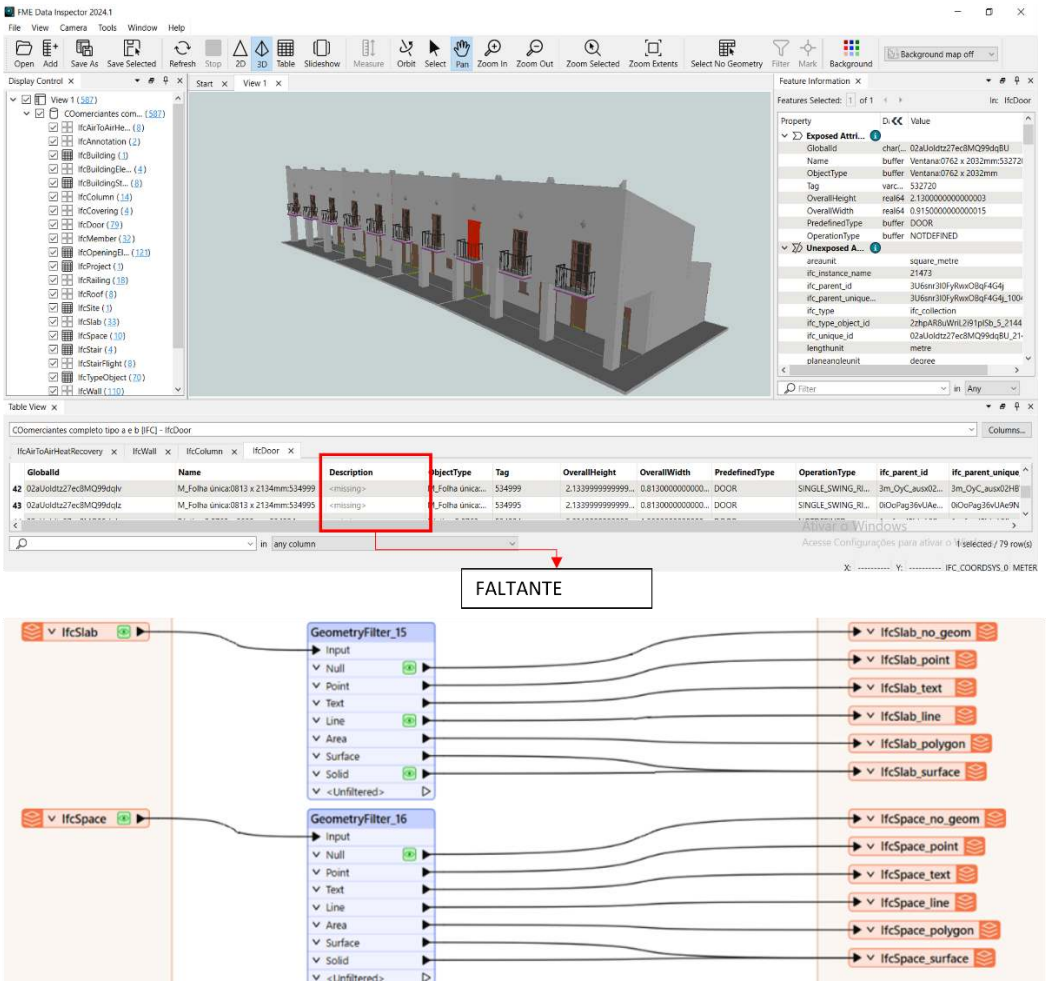
Vacca e Quaquero (2018) destacam a importância de comparar as tabelas de dados visualizadas no Data Inspector com as tabelas de dados e metadados do Revit, a fim de permitir uma análise mais precisa e aprimorar o processo de conversão de dados.

De acordo com Gabriele e Previtali (2021) e Colucci *et al*. (2024), existem diversas formas de integração entre HBIM e GIS, como a conversão de IFC para Shapefile, CityGML ou Geodatabase. Cada uma dessas abordagens apresenta vantagens e desafios específicos. Neste estudo, a escolha do formato Geodatabase (GDB) foi motivada pela necessidade de preservar a integridade dos dados em 2D e 3D, além de garantir a

compatibilidade com o ArcGIS. Após a criação do modelo HBIM e a validação dos dados, os dados foram importados para o Workbench FME, onde foram organizados e convertidos para o formato ESRI Geodatabase (GDB). O processo de importação no FME foi realizado por meio da ferramenta “Input”, definindo a entrada como dados IFC, e, em seguida, através da ferramenta “Output”, os dados foram definidos para conversão, de IFC para GDB. Este formato permite a manipulação de dados espaciais em 2D e 3D, sendo altamente compatível com o ArcGIS. O Workbench FME transforma as classes do IFC, como IFCWall, em classes específicas do Geodatabase, por exemplo, a classe IFCWall foi convertida para conjuntos de classes como IFCWallGeometry, IFCWallLine e IFCWallTexture, a fim de adequar a estrutura de dados BIM para GIS.

Dionizio e Dezen-Kempter (2024) ressaltam a importância de comparar os dados IFC com os dados visualizados no ArcGIS, pois essa verificação permite garantir a consistência das informações e assegurar que os dados exportados estejam prontos para serem utilizados no contexto de gestão do patrimônio arquitetônico. A análise realizada neste estudo seguiu essa abordagem, utilizando o Data Inspector para inspecionar e comparar os dados, garantindo que apenas os dados relevantes para o modelo fossem mantidos, enquanto os dados incompletos ou incorretos foram excluídos. A comparação da quantidade de dados e metadados no modelo HBIM, que totalizou 8.625 entradas, com os dados visualizados no ArcGIS, assegurou que a conversão tivesse sido realizada sem perda de informações para as demais edificações do Pueblo de Esquivel, seguiu-se o mesmo processo de validação e conversão de dados. A Figura 3 ilustra o modelo HBIM no Data Inspector e no FME Workbench.

Figura 3: modelo HBIM no Data Inspector e no FME Workbench



Fonte: Autores

3.2 Aplicação e criação webgis

Ao importar um modelo HBIM para o ArcGIS Pro dentro de um Geodatabase (GDB), o software possibilita a criação de metadados descritivos para o conjunto urbano. No entanto, a atribuição de metadados detalhados e específicos para cada edifício representa um desafio significativo, uma vez que o ArcGIS Pro não automatiza esse processo para cada estrutura de forma individual. Em vez disso, é necessário selecionar manualmente cada edifício, organizado em camadas dentro do GDB, e atribuir metadados personalizados para cada um.

O modelo HBIM, estruturado em diferentes Níveis de Detalhe (LOD), exige que cada nível seja identificado com precisão por meio de tags e atributos descritivos. Por exemplo, uma parede pode ser selecionada e receber atributos que detalham suas características, histórico de conservação e outras informações relevantes. Esse processo facilita a visualização em diferentes escalas, desde o conjunto urbano como um todo até os elementos arquitetônicos específicos.

No caso das edificações do Pueblo de Esquivel, metadados descritivos foram atribuídos, contendo informações sobre o estado de conservação, número de intervenções e histórico das edificações. Embora a aplicação de metadados tenha sido realizada de forma individual para cada estrutura, essa metodologia pode ser expandida para o conjunto total de edifícios. Contudo, a manutenção contínua desses dados exige vigilância constante e atualizações regulares, especialmente em contextos históricos, onde o estado de conservação pode variar ao longo do tempo. A integração de dados com metadados descritivos no ArcGIS Pro pode resultar em uma carga de trabalho substancial, especialmente em projetos de grande porte, como o do Pueblo de Esquivel, onde os metadados precisam ser atribuídos manualmente a cada edifício. A Figura 17 ilustra os metadados enriquecidos com informações descritivas.

Além disso, o ArcGIS Pro permite a realização de análises da evolução urbana do Pueblo de Esquivel, com base em ortofotos obtidas em diferentes períodos, como em 1956 e na data atual. Essas ortofotos possibilitam a análise das transformações urbanas ao longo do tempo e o monitoramento do crescimento da cidade. A coleta de dados cartográficos históricos também permitiu a georreferência de um mapa antigo, que, embora não tenha alta precisão, contribui para a criação de uma base de dados integrada, contendo não apenas os dados HBIM, mas também informações em Shapefile. Isso facilita a combinação do modelo HBIM-GIS com análises baseadas em informações históricas, criando um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que agrega dados de diferentes fontes. A Figura 4 ilustra a análise em Shapefile e o mapa georreferenciado de 1746, destacando que, apesar da imprecisão do mapa, o foco recai sobre a criação de uma base de dados multifacetada, útil para diferentes públicos e partes interessadas.

Figura 4: Dados em SHP do Pueblo de Esquivel no ArcgisPro



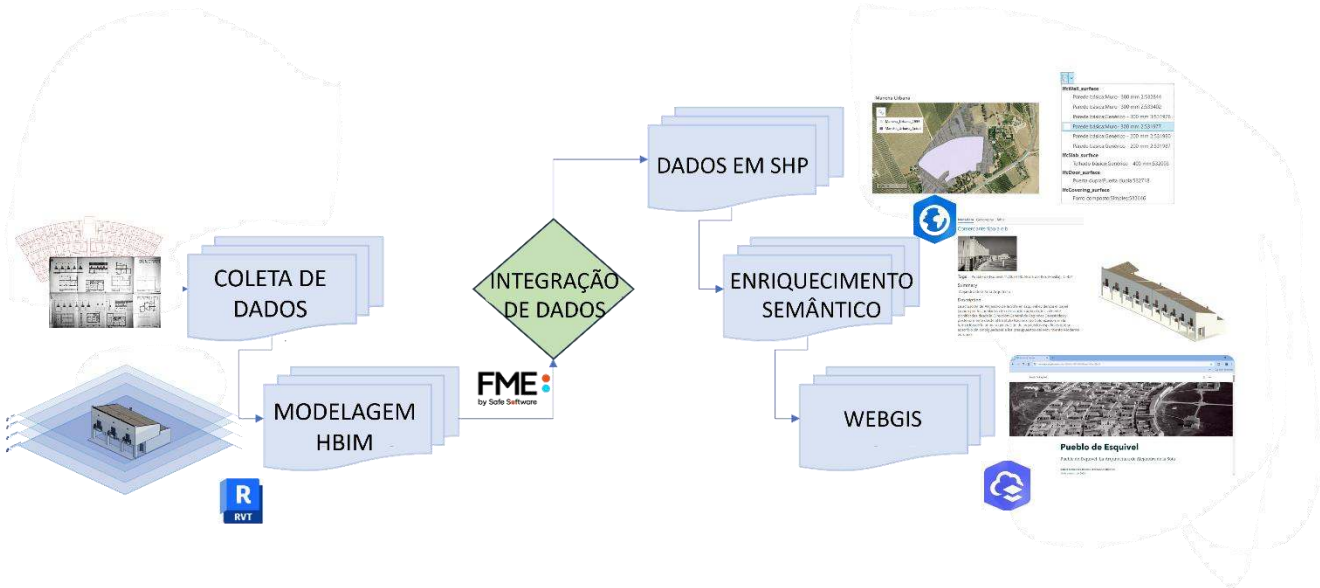
Fonte: Autores

A integração entre HBIM e GIS oferece uma plataforma que não só armazena dados HBIM no formato Geodatabase, mas também enriquece essas informações com dados adicionais sobre as condições das edificações e seu estado de conservação (GABRIELE; PREVITALI, 2021; DIONIZIO; DEZEN-KEMPTER, 2023). No estudo do Pueblo de Esquivel, por exemplo, o uso de diferentes mapas e ortofotos possibilita uma análise detalhada das transformações urbanas ao longo do tempo, ampliando as potencialidades do HBIM e GIS. Isso permite que o modelo seja enriquecido com informações históricas e contemporâneas, criando uma base de dados robusta e multifacetada.

A inclusão de metadados descritivos, como o estado de conservação e o histórico de intervenções das edificações, proporciona uma compreensão mais aprofundada do patrimônio, contribuindo para sua preservação e gestão eficiente. A utilização do ArcGIS Pro para atribuição manual de metadados a cada edifício no Geodatabase assegura a precisão na gestão das informações, permitindo análises detalhadas em diferentes escalas, tanto no nível do conjunto urbano quanto nos elementos arquitetônicos específicos.

Colucci *et al.* (2023) e Dionizio e Dezen-Kempter (2024) destacam a importância da disponibilidade de dados HBIM e GIS, uma vez que a gestão do patrimônio arquitetônico frequentemente enfrenta limitações relacionadas à ausência de softwares licenciados, infraestrutura de hardware adequada e capacitação técnica em HBIM e GIS. Para superar essas dificuldades, os autores enfatizam o compartilhamento de dados baseado na web. No ArcGIS Pro, foi realizada a análise e o envio dos dados para a web por meio da função “Compartilhar Cena Web” no ArcGIS Pro Desktop. No ArcGIS Online, foi possível criar uma aplicação webgis utilizando a funcionalidade “StoryMap”, na qual os dados foram configurados, analisados e preparados para visualização[2]. Com base nessa abordagem, é possível compreender um caminho para a utilização da integração HBIM-GIS na gestão do patrimônio arquitetônico, desde a coleta de dados e modelagem HBIM até a conversão desses dados de HBIM para GIS. Em seguida, são utilizados diferentes formatos de dados para documentar e analisar o patrimônio, tanto em nível urbano quanto em formatos como Shapefile, além da aplicação de semântica de dados com base em metadados descritivos, até a disponibilização na web. A figura 5 ilustra um fluxo de trabalho para a utilização de HBIM-GIS.

Figura 5: Fluxo de Trabalho para HBIM-GIS do Pueblo de Esquivel, da coleta dados a integração de dados



Fonte: Autores

É válido destacar que, embora tenha sido bem-sucedida a criação do webgis e o envio dos dados para a nuvem, os dados gerados no ArcGIS Pro Desktop não são automaticamente utilizados na plataforma webgis. Isso implica a necessidade de validação e envio manual do modelo HBIM-GIS, o que representa uma limitação significativa no processo de gerenciamento de dados. A ausência de integração automática aumenta o tempo e o custo das operações, além de introduzir erros humanos. Esse procedimento também dificulta a atualização em tempo real dos dados na plataforma web, prejudicando a eficiência na gestão colaborativa do patrimônio. A automação dessa integração poderia otimizar o fluxo de trabalho, reduzir erros e permitir a atualização contínua dos modelos, tornando a gestão do patrimônio mais ágil e eficaz. Assim, a implementação de soluções tecnológicas que integrem essas plataformas de forma automática seria um avanço crucial para a otimização do processo de gestão de dados HBIM-GIS.

[2] No WebGIS desenvolvido, os dados podem ser acessados e visualizados por meio do seguinte link: https://storymaps.arcgis.com/stories/455b10c5575547959bee13d0ac295627. É necessário aguardar o carregamento total do site para visualizar os dados 3D no mapa.

4 CONCLUSÃO

Este estudo explorou a integração de dados entre HBIM e GIS, abordando as etapas de modelagem, conversão e disseminação de informações patrimoniais geométricas e semânticas em ambientes GIS. A aplicação dessa integração ao distrito histórico do Pueblo de Esquivel demonstrou uma abordagem eficaz para superar os desafios relacionados à interoperabilidade entre sistemas heterogêneos, à padronização de dados provenientes de fontes distintas e ao enriquecimento semântico por meio da unificação de dados em uma única plataforma. O estudo ressaltou, portanto, novas oportunidades para a gestão, preservação e documentação do patrimônio arquitetônico, destacando o potencial de tecnologias emergentes, como BIM e GIS, para promover uma abordagem integrada e aprimorada na gestão do patrimônio, com foco na melhoria da acessibilidade e interoperabilidade dos dados.

A integração dos dados HBIM e GIS, utilizando um software integrador, demonstrou a viabilidade da conversão para o formato Geodatabase, assegurando a preservação total das informações durante o processo de conversão. O uso das ferramentas Data Inspector e Workbench FME facilitou a validação e organização dos metadados, garantindo a qualidade e precisão da integração no ArcGIS Pro. A modelagem detalhada das edificações, com a implementação do LOD, proporcionou uma base sólida para a análise geoespacial e documentação digital, permitindo uma representação precisa, com base nos dados originais de alta fidelidade.

O enriquecimento semântico dos dados HBIM-GIS, por meio de metadados descritivos, permitiu um monitoramento eficaz e um gerenciamento eficiente das informações associadas ao modelo HBIM. Esse processo viabilizou a documentação do estado de conservação das edificações, incorporando atributos detalhados que contribuem diretamente para a avaliação e monitoramento do patrimônio. Além disso, foi possível adicionar informações como identificações e números de processos relacionados ao tombamento. Essa abordagem ressaltou a importância da estruturação e padronização dos metadados, assegurando a precisão das análises e facilitando a interoperabilidade dos modelos em diversas plataformas e sistemas.

A implementação de um ambiente webgis proprietário possibilitou o compartilhamento dos dados HBIM-GIS, promovendo o acesso remoto às informações patrimoniais por múltiplos stakeholders, o que fortaleceu a colaboração na gestão do patrimônio. No entanto, apesar desses avanços, ainda persistem desafios relacionados à automação dos processos de conversão e à necessidade de melhorias na visualização e manipulação de modelos tridimensionais em ambientes web. Esses desafios indicam a necessidade de inovações tecnológicas para otimizar a interação e a manipulação dos dados em plataformas colaborativas.

Para futuras investigações, recomenda-se a incorporação de tecnologias avançadas de captura digital, como o escaneamento a laser terrestre e a fotogrametria, visando aprimorar a precisão geométrica dos modelos HBIM. A aplicação dessas metodologias em sistemas colaborativos pode expandir significativamente o acesso e a utilização dos dados por especialistas e gestores patrimoniais, promovendo uma gestão integrada, eficiente e sustentável do patrimônio arquitetônico. O desenvolvimento de soluções tecnológicas que integrem essas ferramentas pode contribuir para um modelo de gestão mais preciso e acessível, aprimorando a preservação e o monitoramento contínuo do patrimônio cultural.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), sob o código de financiamento 24/08966-6.

REFERÊNCIAS

ANTONOPOULOU, Sofia; BRYAN, Paul. **BIM for heritage: developing a historic building information model**. Historic England, 2017.

BAIK, Ahmad; YAAGOUBI, Reda; BOEHM, Jan. Integration of Jeddah historical BIM and 3D GIS for documentation and restoration of historical monument. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 40, p. 29-34, 2015.

BRAVO, Mariana et al. Lean and Green Construction e BIM: mapeamento dos estudos e práticas integradas. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO**, v. 4, p. 1-15, 2023.

CALZADA-PÉREZ, Manuel; PÉREZ-ESCOLANO, Víctor. Pueblo de Esquivel, Sevilla 1952-1955. Alejandro de la Sota. **Almería, Colegio Oficial de Arquitectos de Almería**, 2009.

COLUCCI, Elisabetta *et al.* Documenting cultural heritage in an INSPIRE-based 3D GIS for risk and vulnerability analysis. **Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development**, v. 14, n. 2, p. 205-234, 2024.

DIONIZIO, Rafael Fernandes; MARQUES, Crislandy Kaline Barreiro; DEZEN-KEMPTER, Eloisa. TOWARDS INFORMED DECISION-MAKING BASED ON DIGITAL TWINS WITH HBIM AND IOT. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 15, 2024. DOI 10.20396/parc.v15i00.8677224.

DIONIZIO, Rafael. Fernandes.; DEZEN-KEMPTER, Eloisa. Cultural heritage management: towards informed decision-making based on integrated hbim-gis , p. 501-516 . In: Fourth-Generation Knowledge Districts 2024. São Paulo: **Blucher**, 2024. ISSN 2359-2990, DOI 10.5151/FGKD24-48.

FERNANDES DIONIZIO, Rafael.; DEZEN-KEMPTER, Eloisa. From Data and Metadata to HBIM-GIS Integration. **International Journal of Architectural Heritage**, p. 1-14, 2024. DOI 10.1080/15583058.2024.2439916.

GABRIELE, Marzia; PREVITALI, Mattia. HBIM-GIS integration with an IFC-to-shapefile approach: The palazzo trotti vimercate pilot case study. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 8, p. 167-174, 2021.

GALEAZZO, Ludovica *et al.* Integration of Historical Sources, HGIS and HBIM for Cultural Heritage Sites: The Digital Reconstruction of the Islands in the Venice Lagoon. In: **Proceedings Heritage Digital Technologies and Tourism Management-HEDIT2024**. Universitat Politècnica de València, 2024. p. 1-13.

GROAT, Linda N.; WANG, David. **Architectural research methods**. John Wiley & Sons, 2013.q

MATRONE, Francesca *et al.* The HBIM-GIS Main10ance platform to enhance the maintenance and conservation of historical built heritage. **Sensors**, v. 23, n. 19, p. 8112, 2023.

MURPHY, Maurice *et al.* A Metadata/Paradata Design Framework for Historic BIM. In: **3D Research Challenges in Cultural Heritage V: Paradata, Metadata and Data in Digitisation**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 127-138. DOI 10.1007/978-3-031-78590-0_11

MURPHY, Maurice; MCGOVERN, Eugene; PAVIA, Sara. Historic building information modelling (HBIM). **Structural Survey**, v. 27, n. 4, p. 311-327, 2009.

RODRIGUES, Bruno Noronha *et al.* Digital survey applied to the assessment of pathological manifestations in the architectural heritage of monte alegre in Piracicaba/SP. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 8, n. 1, p. 60, 2023.

VACCA, Giuseppina *et al.* GIS-HBIM integration for the management of historical buildings. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 42, p. 1129-1135, 2018.

XU, Jianzhuo *et al.* Integration of HGIS/HBIM to Reveal and Reconstruct the Vanished Metal Bridge Heritage of the Chinese Eastern Railway Main Line. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 48, n. 4/W11-2024, p. 161-166, 2024.