



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 CAMINHO PARA A PROMOÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO BASEADO EM HBIM E SERIOUS GAME

## Pathway to Promoting Architectural Heritage Based on HBIM and Serious Game

**Rafael Fernandes Dionizio**

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

**Crislandy Kaline Barreiro Marques**

Universidade Estadual de Campinas | Limeira, São Paulo | c135359@dac.unicamp.br

**Eloisa Dezen-Kempter**

Universidade Estadual de Campinas | Limeira, São Paulo | eloisak@unicamp.br

### RESUMO

A reusabilidade de dados HBIM (*Heritage Building Information Modeling*) é crucial para a preservação do patrimônio arquitetônico, permitindo que modelos digitais e metadados sejam reutilizados em diversos contextos. A integração com tecnologias emergentes, como *game engines*, possibilita a criação de experiências interativas para a exploração virtual de edifícios históricos, ao se apoiar em uma documentação adequada e no uso de metadados organizados. Este estudo visa desenvolver um fluxo de trabalho para integrar HBIM com *game engines*, utilizando Unity, focando na preservação do patrimônio moderno brasileiro. A metodologia segue uma abordagem qualitativa e exploratória, com um estudo de caso do edifício Museu de arte da Pampulha de Oscar Niemeyer. O processo envolve a importação do modelo HBIM do Revit para o Unity, aplicando texturas e componentes interativos. Os resultados indicaram que, ao importar modelos HBIM para o Unity, houve perda de informações, principalmente em texturas e propriedades RGB, embora os dados geométricos tenham sido preservados. A organização manual das texturas foi necessária para restaurar as informações perdidas. O estudo destaca a necessidade de uma abordagem mais automatizada para integrar dados entre plataformas, visando melhorar a compatibilidade e a precisão na visualização de dados em plataformas virtuais.

**Palavras-chave:** HBIM, Preservação do Patrimônio, Integração de Plataformas, Serious Game.

### ABSTRACT

*The reusability of HBIM (Heritage Building Information Modeling) data is crucial for the preservation of architectural heritage, allowing digital models and metadata to be reused in various contexts. Integration with emerging technologies, such as game engines, enables the creation of interactive experiences for the virtual exploration of historic buildings. Proper documentation and the use of organized metadata are essential. This study aims to develop a workflow for integrating HBIM with game engines, using Unity, focusing on the preservation of Brazilian modern heritage. The methodology follows a qualitative and exploratory approach, with a case study of the Museu de Arte da Pampulha building by Oscar Niemeyer. The process involves importing the HBIM model from Revit into Unity, applying textures and interactive components. The results indicated that when importing HBIM models into Unity, there was a loss of information, primarily in textures and RGB properties, although geometric data was preserved. Manual organization of textures was necessary to restore the lost information. The study highlights the need for a more automated approach to integrating data between platforms, aiming to improve compatibility and accuracy in data visualization on virtual platforms.*

**Keywords:** HBIM, Heritage Preservation, Platform Integration, Serious Game.

### 1 INTRODUÇÃO

Inicialmente proposto por Murphy, McGovern e Pavia (2009), o *Heritage Building Information Modelling* (HBIM) tem se consolidado como uma metodologia fundamental para a documentação, gestão e conservação do patrimônio arquitetônico. No contexto brasileiro, sua aplicação tem se intensificado nas últimas décadas, promovendo avanços significativos no monitoramento e na gestão de bens culturais em diferentes escalas — desde a escala territorial, como evidenciado em Rodrigues *et al.* (2023), até a escala distrital, conforme demonstrado por Fernandes Dionizio, Murphy e Dezen-Kempter (2025). As potencialidades do HBIM têm sido ampliadas por meio de sua integração com diversas tecnologias, destacando-se, entre elas, os Sistemas de Informação Geográfica (GIS), como discutido por Dionizio e Dezen-Kempter (2024). Além disso, observa-se sua articulação com diferentes campos disciplinares, incluindo as geociências, a construção enxuta e

<sup>1</sup>DIONIZIO, R. F.; MARQUES, C. K. B. M.; DEZEN-KEMPTER, E. Caminho para a Promoção do Patrimônio Arquitetônico Baseado em HBIM e Serious Game. In: 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2025, Florianópolis. *Anais [...]*. Porto Alegre: ANTAC, 2025.

sustentável (*lean and green construction*) e estratégias voltadas à gestão integrada do patrimônio, conforme apontado por Bravo *et al.* (2023), Da Silva e Cuperschmid (2022) e Fernandes Dionizio, Murphy e Dezen-Kemter (2025).

Nesse contexto, destaca-se a crescente importância da reusabilidade dos dados HBIM, que se refere à capacidade de reaproveitar modelos digitais e seus metadados em múltiplos processos relacionados à preservação, conservação e gestão do patrimônio. Essa prática visa aumentar a eficiência e a sustentabilidade, permitindo que os dados coletados em um projeto possam ser aplicados em diferentes contextos e usos, reduzindo a necessidade de reprocessamento e aumentando a acessibilidade da informação. De acordo com El Sharkawy e Marzouk (2023) Dionizio, Barreiro e Dezen-Kemter (2024), a reusabilidade de dados no contexto da conservação do patrimônio histórico facilita a integração de novos dados, propiciando melhorias contínuas nas práticas de preservação. Guerra De Oliveira, Biancardo e Tibaut (2022) enfatizam que, ao otimizar fluxos de trabalho HBIM, é possível preservar e aprimorar elementos históricos ao longo do tempo, utilizando dados de maneira dinâmica. Khodeir, Aly e Tarek (2016) e Da Silva e Cuperschmid (2022) também destacam que a integração de ferramentas HBIM para retrofit sustentável de edifícios históricos, como no caso do Egito, promove uma utilização eficiente e prolongada dos dados, facilitando o acesso a informações essenciais para intervenções e gestão do patrimônio.

A documentação adequada de dados e metadados desempenha um papel fundamental na promoção da preservação do patrimônio arquitetônico, especialmente quando se utiliza o reuso de modelos HBIM. Murphy *et al.* (2025) abordam a criação de um framework de design para metadados e paradata no contexto do *Historic BIM*, destacando a importância de dados precisos e organizados para garantir a integridade do patrimônio ao longo do tempo. Este framework permite uma gestão mais eficaz do patrimônio, garantindo que informações críticas sejam acessíveis e utilizáveis para futuras intervenções ou projetos de restauração. A organização eficiente desses dados facilita a tomada de decisões informadas, assegurando que os aspectos históricos sejam preservados enquanto se implementam melhorias sustentáveis. O reuso de dados HBIM, portanto, não só melhora a eficiência de projetos, mas também assegura que o patrimônio arquitetônico seja mantido de forma acessível para diferentes usos, como a aplicação em *game engines*.

"*Serious games*" são jogos desenvolvidos com o objetivo principal de educar ou informar, além de entreter. Eles são frequentemente usados em contextos como treinamento, ensino e disseminação de conhecimento, aproveitando as interações dinâmicas dos jogos para engajar o usuário de maneira imersiva. A gamificação, por sua vez, aplica elementos e mecânicas de jogos em contextos não-lúdicos para engajar os usuários, melhorar a motivação e facilitar a aprendizagem. Yahya *et al.* (2024) e Mohammadkarimi, Shahbazi (2025) exploram como os conceitos de *serious games* têm sido aplicados na educação, demonstrando sua capacidade de promover uma aprendizagem interativa e envolvente. A utilização de *serious games* no campo da preservação do patrimônio permite que os usuários explorem e aprendam sobre edifícios históricos de forma imersiva e interativa, ampliando o acesso ao conhecimento cultural de uma maneira inovadora e acessível.

Os desafios na criação e aplicação de realidades virtuais voltadas à preservação do patrimônio são notáveis, principalmente no que diz respeito à preservação dos dados e à interoperabilidade das informações. Argiolas *et al.* (2022) e Khodeir, Aly E Tarek (2025) discutem o uso de ambientes virtuais para comunicar o patrimônio construído, ressaltando as dificuldades técnicas e logísticas associadas à gestão dos dados, como a preservação de texturas e metadados, e a necessidade de fluxos de trabalho eficientes para garantir a qualidade das representações digitais. D'Agostino, Antuono E Elefante (2022) e Rontani, Dionizio e Dezen-Kemter (2024) também apontam que a integração de dados de HBIM em contextos virtuais exige a superação de barreiras técnicas, como a manutenção da integridade dos dados 3D e a adaptação de ferramentas de visualização para melhor representar a arquitetura histórica. Esses desafios são amplificados pela falta de recursos especializados em hardware e software, como licenças de HBIM e a necessidade de estudos detalhados sobre a compilação e o reuso de dados para garantir a eficácia dessas iniciativas.

O objetivo geral deste estudo é desenvolver um fluxo de trabalho baseado em HBIM, com o propósito de viabilizar a criação de um *serious game* que contribua para a preservação do patrimônio arquitetônico moderno brasileiro. O estudo tem como foco o Museu de Arte da Pampulha, projetado por Oscar Niemeyer e integrante do conjunto arquitetônico da Pampulha, reconhecido como Patrimônio Mundial pela UNESCO (Figura 1). A proposta envolve a integração de novas tecnologias e metodologias, como *game engines*, para criar experiências interativas que permitam a exploração do patrimônio de forma imersiva. Pretende-se estabelecer um quadro metodológico que utilize as tecnologias HBIM e realidade virtual, proporcionando novas perspectivas e ferramentas para a preservação digital e disseminação do conhecimento cultural.

Figura 1: Museu de Arte da Pampulha



Fonte: IPHAN 2017

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com base nos princípios metodológicos propostos por Groat e Wang (2013), o presente estudo adota uma abordagem qualitativa e exploratória, valendo-se do método de estudo de caso para examinar o comportamento dos dados provenientes de modelos HBIM em um ambiente de desenvolvimento de jogos. A finalidade é estabelecer uma base metodológica para a futura criação de um serious game voltado à difusão do conhecimento sobre os cinco pontos da arquitetura moderna.

A seguir, descreve-se a metodologia aplicada, estruturada em três etapas principais:

- Importação e construção do ambiente virtual. O modelo HBIM do edifício do Museu de Arte da Pampulha, desenvolvido inicialmente no software Revit (formato RVT), foi importado para a plataforma Unity. A partir disso, iniciou-se a construção do ambiente virtual, com a configuração de texturas baseadas nos metadados do modelo e a incorporação de elementos interativos. Totens informativos foram inseridos, contendo dados textuais apresentados no formato JPG, com o intuito de enriquecer a experiência do usuário.
- Programação de interações e navegação. Utilizando a linguagem de programação C#, foram implementados scripts que possibilitaram a navegação no ambiente e a interação do usuário com os objetos virtuais, especialmente com os totens informativos. Essa etapa foi fundamental para conferir caráter imersivo à experiência, permitindo ao usuário explorar livremente o espaço e acessar conteúdos informativos integrados.
- Análise do comportamento de dados e metadados. Foi realizada uma avaliação do comportamento dos dados e metadados oriundos do modelo HBIM durante o processo de reutilização no ambiente virtual. Essa análise buscou compreender a viabilidade técnica e conceitual de aplicação do HBIM em propostas futuras de serious games, identificando potenciais limitações e contribuições do modelo para fins educativos e patrimoniais.

É importante ressaltar que este estudo não tem como objetivo final a criação de um *serious game* completo. O foco reside na construção de um percurso metodológico robusto e replicável, que sirva de alicerce para o desenvolvimento futuro de jogos digitais voltados à mediação do conhecimento arquitetônico, em especial no contexto da arquitetura moderna.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O método HBIM adotado neste estudo baseia-se na modelagem a partir de dados 2D, como os desenhos originais de Oscar Niemeyer. O processo de modelagem, utilizando dados 2D existentes, envolve a importação de arquivos em formatos PDF e DWG, além da criação de planos e níveis, o que possibilita a seleção de pontos específicos para sobreposição nos componentes BIM.

Para atribuição semântica, foi utilizado o padrão de informação integrado ao Revit, o *Omniclass*, juntamente com a definição de parâmetros personalizados, com base nas características da arquitetura moderna. Assim, foram criadas famílias específicas, como "Pilotis" e "Janela em Fita", para representar esses elementos distintivos.

A abordagem HBIM vai além da simples modelagem de edifícios convencionais, incorporando elementos que remetem à época de sua construção. Elementos como "pilotis" e "janela em fita", menos comuns nos dias atuais, foram cuidadosamente considerados. Para tanto, foram desenvolvidas famílias personalizadas no ambiente de criação de famílias do Revit, especificamente voltadas para representar esses elementos característicos da arquitetura moderna.

O ambiente de famílias do Revit não apenas possibilita a criação dessas famílias personalizadas, mas também permite a inclusão de dados em formato DWG para guiar o processo de desenvolvimento. Nesse sentido, seguir os dados do DWG é fundamental para assegurar uma modelagem precisa com base nas informações existentes.

Além da personalização de dados textuais, destaca-se que a estrutura do Museu de Arte da Pampulha reflete materiais intrínsecos à sua época, essenciais para contextualizar o ambiente. Materiais como mármore amarelo, aço inoxidável, mármore travertino, pedra ônix e espelhos de bronze foram incorporados de forma cuidadosa e documentados como metadados nos componentes do modelo HBIM, garantindo uma representação fiel do ambiente histórico.

É importante observar que essa abordagem pode não reproduzir com total fidelidade o museu e a arte de autoria do arquiteto, como seria o caso de uma modelagem avançada com o uso de tecnologias como scanners a laser terrestres. No entanto, ela oferece uma documentação inicial válida que pode ser refinada no futuro, por meio de coletas mais precisas de dados internos utilizando tecnologias como scanners a laser e ferramentas de sensoriamento remoto. A Figura 2 ilustra o modelo HBIM criado, demonstrando a integração entre os dados 2D existentes e o modelo HBIM.

Figura 2: Museu de Arte da Pampulha em HBIM



Fonte: Dionizio e Dezen-Kempton (2024)

Os modelos HBIM foram georreferenciados no ambiente do Revit, o que contribuiu significativamente para a integração entre as equipes e para o compartilhamento preciso das coordenadas espaciais. No âmbito da organização e da visualização das informações, foram concebidos totens com o propósito de reunir e

apresentar dados textuais e imagens relacionadas ao patrimônio estudado. A escolha por esse tipo de suporte físico, amplamente reconhecido no contexto brasileiro, fundamenta-se em sua familiaridade e na forma como se insere no imaginário da arquitetura moderna nacional. A partir de referências bidimensionais previamente elaboradas, foram desenvolvidos totens cuja linguagem formal foi inspirada no modernismo brasileiro, especialmente nas obras de Lina Bo Bardi, cuja estética singular oferece uma rica base para o diálogo entre passado, presente e memória construída.

Denominados neste estudo como Obra de Lina Bo Bardi, os totens desenvolvidos incorporam uma abordagem que articula elementos do modernismo arquitetônico com referências formais presentes na obra de Oscar Niemeyer. Para o processo de modelagem, optou-se pela utilização do software SketchUp Pro, versão 10.15, em razão de sua eficiência na representação de formas complexas, como aquelas observadas nos aparatos expositivos idealizados por Lina Bo Bardi. Após a modelagem, os objetos tridimensionais foram exportados no formato OBJ e integrados à plataforma Unity, juntamente com os modelos HBIM.

### 3.1 Aplicação de HBIM para Game Engine

Antes de importar o modelo HBIM, foi realizada a visualização dos dados e metadados no modelo IFC exportado do Revit, o qual contém um total de 3.669 dados e metadados. Contudo, ao importar os modelos HBIM para o Unity, observou-se que informações como texturas e dados RGB não foram visualizadas, resultando em um modelo exibido apenas em branco. Embora elementos geométricos, como as janelas, tenham sido corretamente renderizados, houve uma perda significativa de informações essenciais. No Unity, foi possível quantificar o número total de dados e metadados presentes no modelo HBIM, que somaram 2.832, indicando uma redução considerável em relação ao modelo original no Revit.

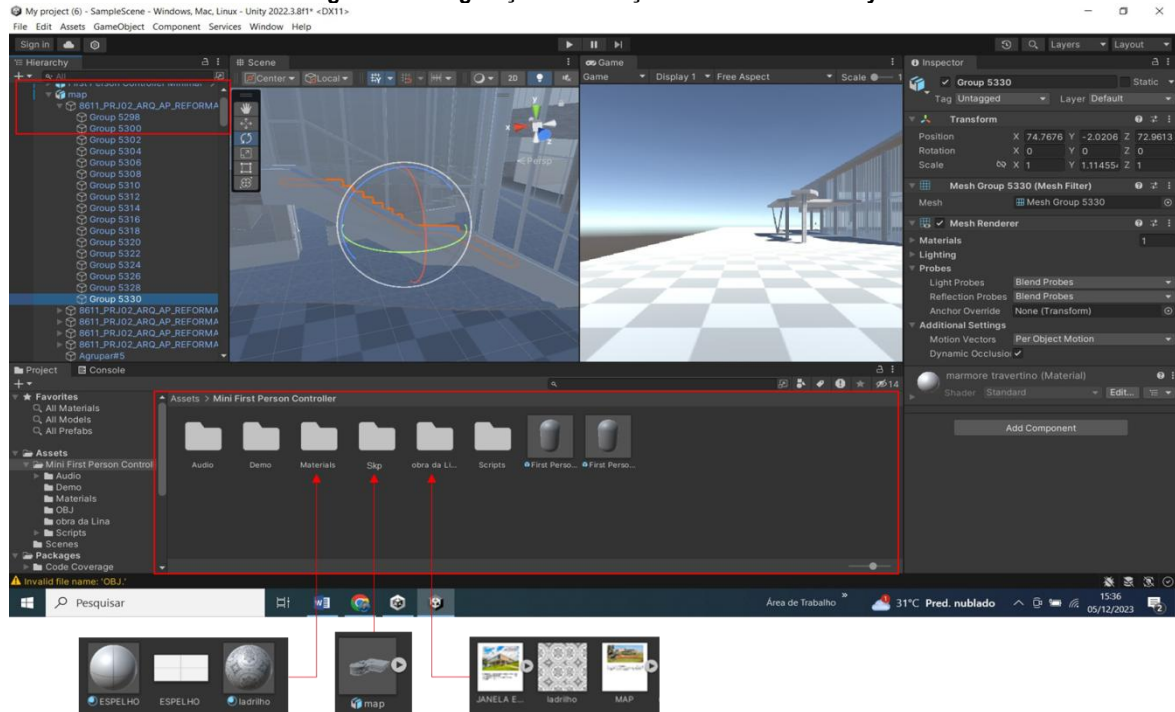
Essa discrepância evidencia a perda substancial de dados, especialmente no que se refere às texturas e propriedades RGB. No entanto, as dimensões geométricas do modelo BIM foram preservadas, e as dimensões no Unity corresponderam exatamente às do modelo HBIM no Revit, confirmando a integridade dos dados espaciais. Esse fato sugere que, enquanto os dados geométricos são amplamente compatíveis entre os dois softwares, a transferência de informações mais complexas, como texturas e propriedades de cores, não foi realizada com a mesma eficácia.

Como resultado dessa limitação, foi necessário realizar uma verificação e organização manual dos materiais no Unity, onde os dados foram cuidadosamente estruturados em pastas de ativos. Essa abordagem teve como objetivo restaurar, na medida do possível, as informações perdidas e garantir que o modelo fosse exibido de forma consistente e completa no ambiente de desenvolvimento. A validação dos dados foi realizada por meio da visualização do modelo no jogo, confirmando a importância de uma abordagem mais automatizada e precisa para a integração de dados entre plataformas.

Para facilitar a navegação e interação no ambiente de visualização, foi utilizado o componente "*First Person Control*" da Unity Store, integrado ao jogo por meio da interface do Unity, que inclui janelas de edição e visualização. Além disso, foi implementada uma estrutura de classes e subclasses para a programação de movimentos e interações, o que assegurou a eficácia no desenvolvimento da aplicação e possibilitou uma experiência de navegação mais fluida e precisa.

A organização clara das classes e subclasses revelou-se fundamental para o desenvolvimento eficiente do jogo, permitindo uma melhor gestão dos dados e maior flexibilidade na implementação de novas funcionalidades. Para garantir a acessibilidade, especialmente para usuários com deficiência visual, foram adotados padrões visuais distintos nas figuras do fluxo de trabalho, conforme ilustrado na Figura 3, com o intuito de melhorar a compreensão e garantir uma navegação inclusiva.

Figura 3: Configuração e atribuição de texturas no Unity



Fonte: Autores

A plataforma Unity possibilita a programação de modelos HBIM para diferentes finalidades, como aplicações em realidade aumentada e ambientes interativos baseados em jogos digitais. Para alcançar esses objetivos, faz-se necessário o uso de uma linguagem de programação, bem como recursos típicos de jogos do tipo RPG, a fim de viabilizar a visualização, a navegação no espaço virtual e o compartilhamento de dados. Com todos os modelos tridimensionais inseridos no ambiente de jogo do Unity e com os componentes devidamente organizados em classes e subclasses, a lógica de programação foi desenvolvida por meio da linguagem C#, utilizando scripts nativos da própria plataforma. A escrita do código e a implementação das funcionalidades foram realizadas no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) Visual Studio, versão 2022, que oferece suporte direto à integração com o Unity.

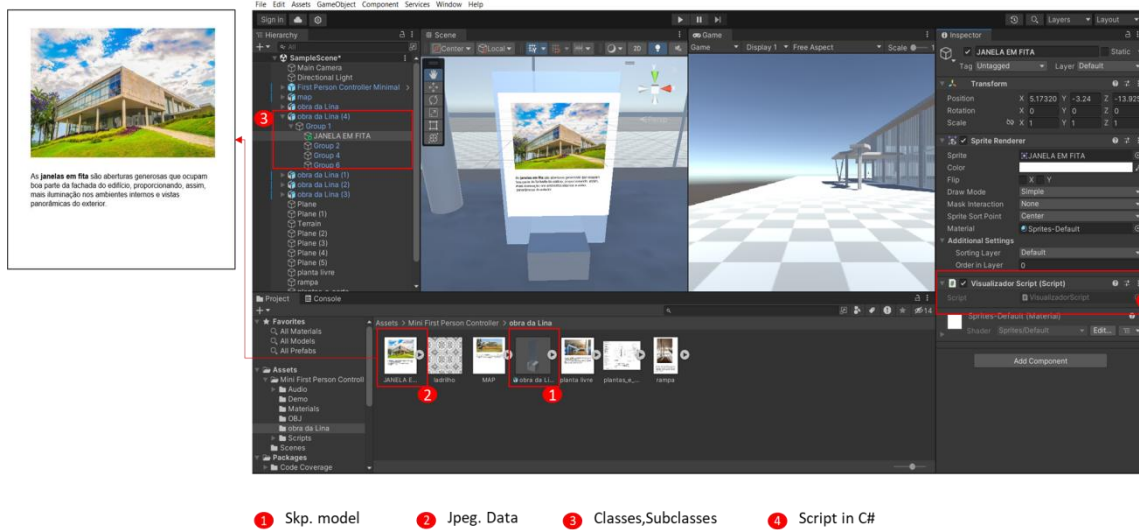
A verificação e a criação dos códigos para o desenvolvimento do jogo exigiram um processo complexo e detalhado, envolvendo a programação precisa de cada movimento e interação. A integração de movimentos e textos nos totens, denominados "Obra de Lina Bo Bardi", foi configurada por meio de subclasses de grupos predefinidos no Unity, o que permitiu a organização e o controle adequados de cada elemento dentro da interface do jogo. O uso do "Canvas", componente essencial para exibir a interface do usuário (UI), foi crucial para a exibição das imagens associadas às obras, com ajuste de escala para garantir a visualização adequada.

A programação foi estruturada em três *scripts* C# distintos, que possibilitaram o controle do movimento do personagem, a interação com o Canvas e o controle da câmera. A interação entre o jogador e os totens foi fundamental para a dinâmica do jogo, com a lógica implementada para identificar a proximidade do jogador em relação ao totem (dentro de um raio de 3 metros), permitindo que o botão esquerdo do mouse fosse utilizado para selecionar e visualizar a obra de forma interativa.

Além disso, a interrupção do movimento da câmera quando a obra fosse selecionada contribuiu para a imersão do jogador, permitindo uma visualização mais detalhada e focada. A criação do script público "*ViewerScript*" foi central para essa funcionalidade, facilitando a exibição das imagens JPG em tela cheia, o que aumentou a interatividade com o conteúdo do jogo.

O processo de teste e validação, realizado diretamente na interface do Unity, assegurou que a integração dos scripts e a interação com os objetos fossem realizadas de maneira eficiente, conforme ilustrado na Figura 4. Essa abordagem de programação, que combina controle preciso e interações dinâmicas, foi essencial para o desenvolvimento de uma experiência interativa.

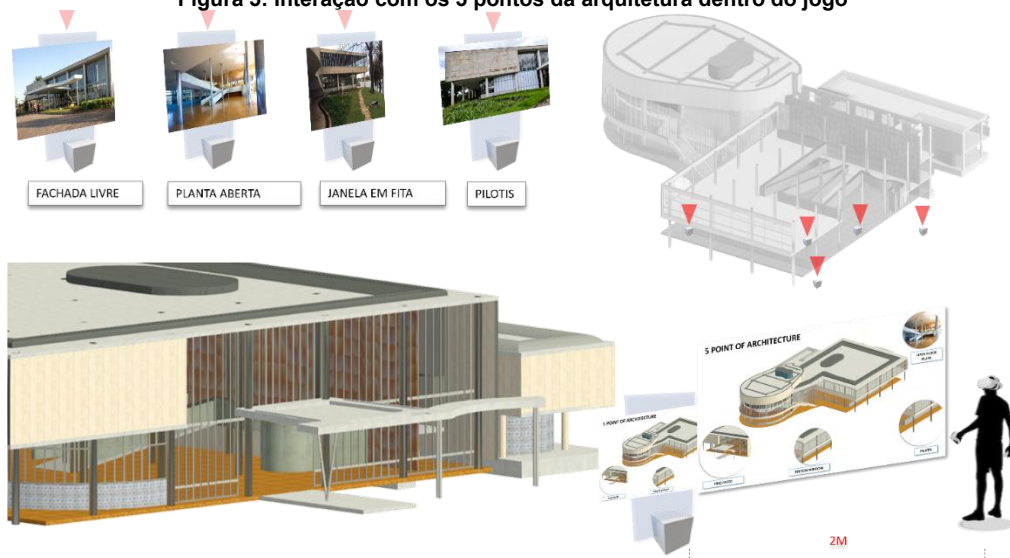
**Figura 4: Aplicação de interação textual**



Fonte: Autores

Bonacini e Giaccone (2022) discutem a documentação de dados e as metodologias para a reutilização de modelos HBIM, destacando a importância de uma organização rigorosa dos dados para garantir a integridade durante o processo de publicação. Após a conclusão do desenvolvimento do jogo, a fase de publicação exigiu uma organização cuidadosa dos dados, tanto nas pastas de "ativos" quanto nas classes e subclasses. Essa organização foi essencial para evitar falhas durante a publicação, especialmente quando se consideram diferentes plataformas. A escolha da plataforma foi influenciada pela natureza do jogo e pelo público-alvo, garantindo sua adaptação a dispositivos como *desktops*, *tablets* e *iPads*, o que resultou em uma experiência consistente ao usuário. Esses aspectos são relevantes quando se observa a reutilização de dados HBIM para diferentes fins, como visualizações interativas e imersivas, na medida em que uma organização eficaz e a escolha adequada de ferramentas são cruciais para a utilização desses dados em diversos contextos. A inserção de dados em formato JPG e a interação do usuário com essas informações permitem a inclusão, em toda a exibição do Museu de Arte da Pampulha, de explicações sobre os cinco pontos da arquitetura moderna. Isso proporciona ao visitante uma experiência mais imersiva e educativa. A Figura 5 ilustra os totens inseridos no jogo para interação com dados textuais.

**Figura 5: Interação com os 5 pontos da arquitetura dentro do jogo**



Fonte: Autores, 2025

Arrotéia *et al.* (2021) ressaltam a importância de estudos interdisciplinares para a criação de realidades virtuais o desenvolvimento de jogos voltados para a promoção do HBIM. Eles destacam a relevância de ferramentas como a Realidade Aumentada (AR) e virtual (VR) para melhorar a visualização e a compreensão de modelos BIM. No estudo realizado, foi utilizada a AR para permitir a visualização do modelo BIM em tempo real, o que facilitou a exploração detalhada de elementos como paredes e lajes, promovendo uma compreensão mais aprofundada do patrimônio arquitetônico moderno. A integração de tecnologias imersivas, como AR, pode ser vista como uma contribuição significativa para a gestão e preservação do patrimônio arquitetônico, especialmente quando aplicada a projetos modernos, como os de Oscar Niemeyer.

O resultado deste estudo permitiu a criação de um caminho válido e metodológico para o desenvolvimento de um jogo sério baseado em HBIM, promovendo a valorização do patrimônio arquitetônico por meio do uso de *game engines*. Os códigos utilizados até o momento estão disponíveis no link <https://github.com/r200299/Unity-game/blob/main/Unity%20pampulha>, o que abre novas possibilidades para a criação de experiências imersivas aplicadas ao patrimônio brasileiro. A integração de dados HBIM com o Unity pode resultar na criação de jogos sérios que permitem ao usuário explorar e aprender sobre o patrimônio de forma interativa, utilizando as funcionalidades dessas plataformas para criar simulações e ambientes virtuais realistas.

Argiolas *et al.* (2022) discutem a aplicação de jogos sérios e VR em museus de ciência na Itália, sugerindo a necessidade de mais estudos sobre o uso de jogos para promover o patrimônio arquitetônico. O uso de jogos sérios e VR oferece uma maneira eficaz de engajar o público em diferentes contextos culturais, permitindo uma abordagem lúdica e educativa para a preservação do patrimônio. O uso de jogos sérios como ferramenta de educação sobre o patrimônio pode transformar a maneira como as novas gerações se relacionam com a história e a arquitetura. Bonacini e Giaccone (2022) também exploram o uso de jogos sérios para promover o patrimônio arquitetônico, com foco no aprendizado disciplinar e no engajamento do público. A aplicação de tecnologias como AR e VR nesses jogos tem o potencial de motivar o aprendizado sobre o patrimônio arquitetônico, incentivando o público a explorar diferentes escalas e períodos históricos. Essa abordagem pode ser uma ferramenta valiosa para aumentar a conscientização sobre a importância da preservação do patrimônio e melhorar o entendimento da arquitetura em sua diversidade temporal e espacial. A figura 6 ilustra o processo de uso HBIM para *game engine* como Unity.

Figura 6: Caminho para criação de *Serious Game* baseado em HBIM



## 4 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo investigar a viabilidade e os desafios da reusabilidade de dados HBIM para o desenvolvimento de um *serious game*, com foco na preservação do patrimônio arquitetônico moderno brasileiro. O estudo envolveu a criação de um fluxo de trabalho metodológico que integrasse modelos HBIM com *game engines*, proporcionando uma experiência imersiva de exploração digital do patrimônio arquitetônico. A análise das etapas de desenvolvimento e dos resultados obtidos permitiu a identificação de avanços significativos, bem como das limitações e áreas que demandam aprimoramento.

O processo de modelagem do edifício Museu de arte da Pampulha, utilizando dados 2D originais de Oscar Niemeyer, permitiu a criação de um modelo HBIM que não apenas refletiu as características geométricas e materiais do edifício, mas também incorporou metadados essenciais para a gestão e preservação do patrimônio. A inclusão de famílias personalizadas, como "Pilotis" e "Janela em Fita", garantiu uma representação precisa de elementos distintivos da arquitetura moderna, enquanto a organização semântica dos dados, por meio do padrão *Omniclass* e parâmetros personalizados, assegurou a contextualização histórica do modelo.

Entretanto, a importação do modelo HBIM para o ambiente Unity, voltado para a criação do *serious game*, revelou desafios substanciais. A perda de dados relacionados às texturas e propriedades RGB, resultando em um modelo exibido sem as informações visuais completas, destacou a necessidade de métodos mais eficazes para a transferência de dados complexos entre plataformas. Embora os dados geométricos tenham sido preservados com precisão, a discrepância na visualização dos materiais evidenciou a falta de interoperabilidade entre os diferentes sistemas e softwares utilizados, sugerindo a necessidade de soluções mais robustas para garantir a integridade de informações visuais e semânticas durante a transição entre os modelos HBIM e os ambientes de desenvolvimento de jogos.

A implementação de scripts em C# e a utilização do componente "*First Person Control*" da Unity Store para facilitar a navegação e interação no ambiente virtual representaram avanços importantes, permitindo uma experiência mais fluida e acessível. No entanto, a verificação manual dos materiais e a organização dos dados no Unity revelaram que o processo ainda carece de automação e maior precisão. A criação de uma estrutura de classes e subclasses para a programação das interações foi essencial para a eficácia no desenvolvimento da aplicação, permitindo flexibilidade e fácil adaptação de novas funcionalidades.

Além dos desafios técnicos, é validado a relevância do uso de *serious games* como ferramenta de disseminação do conhecimento sobre o patrimônio arquitetônico, ampliando o acesso e a compreensão do público sobre a arquitetura moderna brasileira. A aplicação de tecnologias de realidade virtual e *game engines* representa uma inovação no campo da preservação digital, proporcionando uma maneira interativa e envolvente de explorar edifícios históricos, ao mesmo tempo que contribui para a sua conservação a longo prazo.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o uso de dados HBIM em ambientes virtuais, embora promissor, exige uma abordagem mais sistemática e integrada para superar as barreiras técnicas encontradas, como a preservação de texturas e metadados complexos. A pesquisa também indica que a utilização de plataformas como o Unity pode ser aprimorada por meio de soluções mais automatizadas e adaptadas às necessidades específicas da preservação do patrimônio. No futuro, a continuidade deste estudo poderá envolver a implementação de técnicas avançadas, como o uso de scanners a laser e sensoriamento remoto, para melhorar a precisão dos dados e permitir uma modelagem mais fiel.

Finalmente, a adoção de jogos sérios e ambientes virtuais como ferramentas de ensino e preservação do patrimônio arquitetônico abre novas perspectivas para a educação e conscientização pública sobre a importância da preservação cultural. A integração de novas tecnologias, como *game engines* e HBIM, pode ser um marco importante para o avanço das práticas de conservação e gestão do patrimônio, facilitando o acesso ao conhecimento e promovendo a sustentabilidade no campo da preservação arquitetônica. O próximo passo será a exploração de novos casos de estudo, ampliando a aplicabilidade da metodologia proposta e buscando superar as limitações identificadas, garantindo assim a criação de soluções mais robustas e eficazes para a preservação digital do patrimônio histórico.

## REFERÊNCIAS

- ARGIOLAS, R. et al. Virtual environments to communicate built cultural heritage: A HBIM based virtual tour. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 46, p. 21-29, 2022.
- ARROTÉIA, Aline V.; FREITAS, Raissa C.; MELHADO, Silvio B. Barriers to BIM adoption in Brazil. *Frontiers in Built Environment*, v. 7, p. 520154, 2021.
- BONACINI, Elisa; GIACCONE, Sonia Caterina. Gamification and cultural institutions in cultural heritage promotion: a successful example from Italy. *Cultural trends*, v. 31, n. 1, p. 3-22, 2022.
- 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.
- D'AGOSTINO, Pierpaolo; ANTUONO, Giuseppe; ELEFANTE, Erika. Management and dissemination for dismissed religious architecture. An approach fusing HBIM and gamification. In: *Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 399-407.
- DA SILVA, Felipe Bruno Lima; CUPERSCHMID, Ana Regina Mizrahy. HBIM e mapa de danos: uma revisão sistemática da literatura. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 13, p. e022003-e022003, 2022.
- DIONIZIO, Rafael Fernandes; DEZEN-KEMPTER, Eloisa. Cultural heritage management: towards informed decision-making based on integrated hbim-gis. *Fourth-Generation Knowledge Districts*, p. 501-516, 2024.
- EL SHARKAWY, Maryam; MARZOUK, Mohamed. Heritage Conservation and Reusability. In: *Heritage Building Conservation*. Routledge, 2023. p. 44-63.
- FERNANDES DIONIZIO, Rafael; MURPHY, Maurice; DEZEN-KEMPTER, Eloisa. Multi-scale documentation of modern brazilian architecture: An HBIM-HGIS approach. *International Journal of Architectural Heritage*, p. 1-18, 2025.
- GROAT, Linda N.; WANG, David. *Architectural research methods*. John Wiley & Sons, 2013.
- GUERRA DE OLIVEIRA, Sara; BIANCARDO, Salvatore Antonio; TIBAUT, Andrej. Optimizing H-BIM workflow for interventions on historical building elements. *Sustainability*, v. 14, n. 15, p. 9703, 2022.
- IPHAN. Conjunto Moderno da Pampulha - Belo Horizonte (MG). 2017. Disponível em: [http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/820/Conjunto%20Moderno%20da%20Pampulha%20-%20Belo%20Horizonte%20\(MG\)](http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/820/Conjunto%20Moderno%20da%20Pampulha%20-%20Belo%20Horizonte%20(MG)). Acesso em: 21 mar. 2025.
- KHODEIR, L. M.; ALY, D.; TAREK, S. Integrating HBIM (Heritage Building Information Modeling) tools in the application of sustainable retrofitting of heritage buildings in Egypt. *Procedia Environmental Sciences*, v. 34, p. 258-270, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.024>. Acesso em: 21 maio 2025.
- MOHAMMADKARIMI, Ebrahim; SHAHBAZI, Zoleikha. Kurdish Teachers and Learners' Preferences and Motivations for Teaching and Learning English through Textbooks or E-learning Platforms. *JOURNAL OF DIGITAL LEARNING AND DISTANCE EDUCATION*, v. 3, n. 11, p. 1354-1366, 2025.
- 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.
- 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.
- RONTANI, Sofia Puppini; DIONIZIO, Rafael Fernandes; DEZEN-KEMPTER, Eloisa. DATA COLLECTION APPROACHES FOR CULTURAL HERITAGE PRESERVATION. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 15, 2024.
- YAHYA, Saiful; ALIFAH, Afyah; KUSUMASARI, Adita Ayu. PENGEMBANGAN SERIUS GAME PADA PENGENALAN FAUNA DI TAMAN NASIONAL BALI BARAT. *JADECS (Journal of Art, Design, Art Education & Cultural Studies)*, v. 9, n. 1, p. 54, 2024.