



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS RUSSAS**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**GILMÁRIO DA COSTA RIBEIRO**

**REPRESENTAÇÃO DIGITAL DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO: PROTOCOLO DE  
MODELAGEM HBIM E SEMIAUTOMAÇÃO DE GEOMETRIAS COMPLEXAS**

**RUSSAS**

**2025**

GILMÁRIO DA COSTA RIBEIRO

REPRESENTAÇÃO DIGITAL DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO: PROTOCOLO DE  
MODELAGEM HBIM E SEMIAUTOMAÇÃO DE GEOMETRIAS COMPLEXAS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Mylene de Melo Vieira.

Coorientador: Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita.

RUSSAS

2025



GILMÁRIO DA COSTA RIBEIRO

REPRESENTAÇÃO DIGITAL DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO: PROTOCOLO DE  
MODELAGEM HBIM E SEMIAUTOMAÇÃO DE GEOMETRIAS COMPLEXAS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Engenharia Civil.

Aprovado em: 11/12/2025

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Mylene de Melo Vieira (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Cecilia Serpa Braga Vasconcelos  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Fernanda da Silva Rodrigues  
Universidade de Aveiro (UA)



A Deus.

A minha mãe, Zildelene Ribeiro, que sempre acreditou nos meus sonhos. Hoje, ela vê seu filho tornar-se mestre.

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente, agradeço a Deus pela oportunidade de ter chegado até aqui, por ter me dado forças em toda a trajetória, pela sabedoria nas decisões tomadas e por permitir a conclusão desta etapa tão significativa em minha vida.

À minha mãe, Zildelene Ribeiro, e à minha irmã Giselly Ribeiro, pelo apoio incondicional nessa trajetória. Contar com o incentivo de quem amamos é essencial para tornar o processo mais leve e significativo. Ao meu pai, Gilmar Ribeiro (in memoriam), cuja lembrança continua a me inspirar e guiar.

À minha avó, tios e primos, que sempre estiveram presentes e na torcida para que eu fosse em busca dos meus sonhos.

Ao meu amigo, Elói Romão, pela parceria e companheirismo desde a graduação. Agradeço pela disposição em compartilhar cada desafio, pelo apoio constante, por dividir o peso desta jornada e por estar presente nos momentos mais significativos da minha trajetória.

Aos meus amigos, e hoje engenheiros civis, Karina Rodrigues e Emerson Martins, pela amizade, por terem se mostrado presente, apoiando e torcendo pela realização desse sonho.

Aos meus amigos de mestrado, pela parceria, pelos momentos de descontração e por compartilharem os desafios desta trajetória, tornando-a mais leve. Foi incrível acompanhar cada um, vindo de diferentes regiões do Brasil, demonstrando coragem e determinação na busca por seus sonhos.

À minha orientadora, professora Mylene Viera, a quem eu tenho um imenso carinho, amizade e admiração. Agradeço por ter acreditado no meu potencial, pelo companheirismo ao longo desta jornada, por ter me feito crescer, pela oportunidade de aprender sobre a vida e principalmente pelo exemplo de humanidade que sempre demonstrou. Levarei seus ensinamentos para sempre. Obrigado por contribuir de forma tão marcante e significativa.

Ao projeto “Inovação e Tecnologia para o Patrimônio Cultural do Ceará”, liderado pelo meu querido professor Esequiel Mesquita, pela oportunidade de participação. Contribuir para um projeto tão significativo para a nossa sociedade foi imensamente gratificante, especialmente por ter a chance de trabalhar ao lado de profissionais de tamanha competência. Os aprendizados adquiridos, sem dúvida, foram essenciais para o meu crescimento profissional.

À FUNCAP por todo o apoio financeiro concedido a esta pesquisa.

Por fim, expresso meu muito obrigado a todos aqueles que apoiaram e fizeram parte deste momento tão significativo.

“Nada grandioso jamais foi alcançado sem entusiasmo.”

Ralph Waldo Emerson

## RESUMO

O patrimônio arquitetônico é a materialização de uma era, permitindo à sociedade compreender diversos aspectos do mundo atual. Sua preservação está vinculada a uma documentação atualizada para manutenção e salvaguarda dessas construções. A metodologia BIM (*Building Information Modelling*) tem o potencial de organização da documentação das edificações ao longo do seu ciclo de vida. Nas construções históricas, com a falta de informação e documentação precisa, o HBIM (*Historic Building Information Modelling*) proporciona um avanço em processos como conservação e gestão desses ativos. Este trabalho tem como objetivo desenvolver a documentação e reconstrução digital de construções históricas com ênfase no protocolo de modelagem HBIM e na implementação de um processo semiautomático e integrado para a representação de elementos com geometrias complexas. O protocolo proposto apresenta um fluxo de trabalho em cinco estágios integrados: PEB (Plano de Execução BIM), modelagem digital, precisão geométrica, enriquecimento semântico, reconstrução digital e documentação. A metodologia do processo semiautomático e integrado é estruturada em três etapas principais: levantamento do acervo histórico da Igreja, representação de elementos do acervo histórico e renderização e melhoramento com IA. A validação do protocolo foi realizada por meio da aplicação do processo ao icônico edifício histórico Sobrado Dr. José Lourenço (Fortaleza-CE), enquanto a metodologia semiautomática e de integração foi aplicada à elementos sacros da Igreja Matriz de Nossa Senhora do Rosário dos Brancos (Aracati-CE). Os resultados obtidos indicam a aplicabilidade dos métodos na representação digital do patrimônio histórico.

**Palavras-chave:** HBIM; protocolos; modelagem 3D; documentação digital; famílias HBIM.

## ABSTRACT

Architectural heritage represents the materialization of an era, enabling society to understand various aspects of the contemporary world. Its preservation is closely linked to the availability of updated documentation for the maintenance and safeguarding of these constructions. The Building Information Modeling (BIM) methodology has the potential to organize building documentation throughout the entire life cycle of a structure. In historical constructions, where accurate information and documentation are often lacking, Historic Building Information Modeling (HBIM) provides significant advances in processes such as conservation and asset management. This study aims to develop the documentation and digital reconstruction of historical buildings, emphasizing the HBIM modeling protocol and the implementation of a semi-automatic and integrated process for representing elements with complex geometries. The proposed protocol introduces a workflow structured into five integrated stages: BIM Execution Plan (BEP), digital modeling, geometric accuracy, semantic enrichment, digital reconstruction, and documentation. The methodology for the semi-automatic and integrated process is organized into three main phases: survey of the church's historical collection, representation of elements from the historical collection, and rendering and enhancement using artificial intelligence (AI). The validation of the proposed protocol was conducted through its application to the iconic historical building Sobrado Dr. José Lourenço (Fortaleza, CE), while the semi-automatic and integration methodology was applied to sacred elements of the Igreja Matriz de Nossa Senhora do Rosário dos Brancos (Aracati, CE). The results obtained demonstrate the applicability of the proposed methods for the digital representation of architectural heritage.

**Keywords:** HBIM; protocols; 3D modeling; digital documentation; HBIM families.

## LISTA DE FIGURAS

|           |                                                                                                                                                                                                              |    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | – Metodologia tradicional vs Metodologia BIM .....                                                                                                                                                           | 25 |
| Figura 2  | – Usos do BIM mapeados pela Pennsylvania State University .....                                                                                                                                              | 28 |
| Figura 3  | – (a) Laser Scanner Terrestre e (b) Veículo aéreo não tripulado .....                                                                                                                                        | 32 |
| Figura 4  | – Exemplo de nuvem de pontos 3D gerada por laser scanner .....                                                                                                                                               | 33 |
| Figura 5  | – Evolução da Fotogrametria .....                                                                                                                                                                            | 34 |
| Figura 6  | – Comparativo dos resultados de técnicas de digitalização 3D aplicadas ao Sobrado Dr. José Lourenço .....                                                                                                    | 36 |
| Figura 7  | – Exemplos de edificações históricas que passaram pelo processo Scan-to-BIM: (a) Casa José de Alencar, (b) Teatro José de Alencar, (c) Igreja Nossa Senhora do Rosário e (d) Sobrado Dr. José Lourenço ..... | 38 |
| Figura 8  | – Etapas do processo HBIM .....                                                                                                                                                                              | 43 |
| Figura 9  | – Protocolo BIMLegacy .....                                                                                                                                                                                  | 44 |
| Figura 10 | – Protocolo HBIM proposto por Yira Jáquez .....                                                                                                                                                              | 45 |
| Figura 11 | – Elementos arquitetônicos do Sobrado Dr. José Lourenço .....                                                                                                                                                | 53 |
| Figura 12 | – Proposta de protocolo HBIM para gerenciamento, documentação e reconstrução digital .....                                                                                                                   | 54 |
| Figura 13 | – LOIN para um modelo HBIM para apoio à gestão, documentação e reconstrução digital .....                                                                                                                    | 57 |
| Figura 14 | – Modelagem HBIM: (a) nuvem de pontos do laser scanner, (b) nuvem de pontos da fotogrametria e (c) modelagem da escada e da fachada principal no software Revit® .....                                       | 58 |
| Figura 15 | – Análise da precisão do modelo .....                                                                                                                                                                        | 60 |
| Figura 16 | – Fluxo de enriquecimento semântico no modelo HBIM aplicado ao piso da sala de exposição 05 .....                                                                                                            | 62 |
| Figura 17 | – Configuração de materiais no ambiente BIM: (a) inserção de metadados de identidade, (b) definição de parâmetros gráficos e (c) ajustes de aparência .....                                                  | 64 |
| Figura 18 | – LOD dos elementos da fachada frontal do Sobrado .....                                                                                                                                                      | 67 |
| Figura 19 | – Detalhe do modelo HBIM: (a) corte perspectivado e (b) tabela de quantitativos de materiais .....                                                                                                           | 69 |

|           |                                                                                                                                                              |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 20 | – Detalhe da parametrização dos caixilhos das portas .....                                                                                                   | 70  |
| Figura 21 | – Configurações de informações incorporadas no modelo HBIM .....                                                                                             | 71  |
| Figura 22 | – Precisão geométrica do modelo HBIM: (a) verificação inicial e (b) verificação final .....                                                                  | 72  |
| Figura 23 | – Documentação técnica do modelo HBIM .....                                                                                                                  | 74  |
| Figura 24 | – Reconstrução digital da fachada do Sobrado Dr. José Lourenço .....                                                                                         | 75  |
| Figura 25 | – Reconstrução digital do interior do edifício .....                                                                                                         | 77  |
| Figura 26 | – Pirâmide de hierarquias .....                                                                                                                              | 78  |
| Figura 27 | – Fluxograma do protocolo HBIM integrando <i>scan-to-BIM</i> para documentação e reconstrução digital .....                                                  | 80  |
| Figura 28 | – Documentação existente: (a) nuvem de pontos, (b) modelo HBIM e (c) nuvem de pontos e foto da sala com o acervo .....                                       | 87  |
| Figura 29 | – Etapas da Metodologia HBIM .....                                                                                                                           | 88  |
| Figura 30 | – Detalhes da coleção sacra: (a) crucifixos (b) tabernáculo (c) relógio antigo (d) confessionário (e) molduras e (f) esculturas .....                        | 89  |
| Figura 31 | – Integração de <i>script</i> nas etapas de criação da família HBIM .....                                                                                    | 90  |
| Figura 32 | – Código do Dynamo® para criar o elemento HBIM .....                                                                                                         | 93  |
| Figura 33 | – Etapas para transformação do componente do SketchUp® em família HBIM .....                                                                                 | 94  |
| Figura 34 | – Renderização com o software Lumion®.....                                                                                                                   | 96  |
| Figura 35 | – Imagens carregadas na plataforma Krea .....                                                                                                                | 97  |
| Figura 36 | – Aplicação de IA: (a) Prompt do ChatGPT e (b) Imagem aprimorada .....                                                                                       | 99  |
| Figura 37 | – Comparação de peças da coleção sacra: fotos reais, nuvem de pontos e famílias HBIM criadas pelo processo de integração de <i>script</i> .....              | 102 |
| Figura 38 | – Famílias HBIM criadas pelo procedimento de transformação do SketchUp® .....                                                                                | 104 |
| Figura 39 | – Detalhe de famílias HBIM com renderização e aprimoramento de IA com ambas as metodologias: integração de <i>scripts</i> e transformação do SketchUp® ..... | 105 |

## LISTA DE TABELAS

|          |                                                                       |     |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 | – Lista de peças sacras da Igreja .....                               | 100 |
| Tabela 2 | – Validação com análise volumétrica dos dados (m <sup>3</sup> ) ..... | 103 |
| Tabela 3 | – Validação com análise de estatística descritiva .....               | 104 |



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                |                                                 |
|----------------|-------------------------------------------------|
| 3D             | Tridimensional                                  |
| AECO           | Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações |
| AIM            | Asset Information Model                         |
| AIR            | Requisitos de Informação de Ativos              |
| BDS            | Building Description System                     |
| BIM            | Building Information Modelling                  |
| BIMe           | BIM Excellence                                  |
| BPMN           | Business Process Model and Notation             |
| CAD            | Design Auxiliado por Computador                 |
| EIR            | Requisitos de Troca de Informações              |
| GB             | Gigabyte                                        |
| GTX            | Giga Texel Shader eXtreme                       |
| HBIM           | Historic Building Information Modelling         |
| HD             | High Definition                                 |
| IA             | Inteligência Artificial                         |
| IPHAN          | Patrimônio Histórico e Artístico Nacional       |
| Kb             | Quilobyte                                       |
| LOD            | Level of development                            |
| LOI            | Level of Information                            |
| LOIN           | Nível de Informação Necessária                  |
| m <sup>2</sup> | Metro quadrado                                  |
| OIR            | Requisitos de Informação da Organização         |
| PEB            | Plano de Execução BIM                           |
| PSO            | Enxame de Partículas                            |
| PVC            | Policloreto de Vinila                           |
| RA             | Realidade aumentada                             |
| RV             | Realidade virtual                               |
| SECULT         | Secretaria de Cultura do Ceará                  |
| TLS            | Laser Scanner Terrestre                         |
| VANTs          | Veículos Aéreos Não Tripulados                  |

## LISTA DE SÍMBOLOS

® Marca Registrada

## SUMÁRIO

|                |                                                                                                                                                  |           |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>       | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                                          | <b>17</b> |
| <b>1.1</b>     | <b>Justificativa .....</b>                                                                                                                       | <b>19</b> |
| <b>1.2</b>     | <b>Objetivos .....</b>                                                                                                                           | <b>21</b> |
| <b>1.2.1</b>   | <b><i>Objetivo Geral .....</i></b>                                                                                                               | <b>21</b> |
| <b>1.2.2</b>   | <b><i>Objetivos Específicos .....</i></b>                                                                                                        | <b>21</b> |
| <b>1.3</b>     | <b>Estrutura da dissertação .....</b>                                                                                                            | <b>22</b> |
| <b>2</b>       | <b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                                                                                                               | <b>24</b> |
| <b>2.1</b>     | <b>BIM .....</b>                                                                                                                                 | <b>24</b> |
| <b>2.1.1</b>   | <b><i>Histórico e conceitos fundamentais .....</i></b>                                                                                           | <b>24</b> |
| <b>2.1.2</b>   | <b><i>Usos do BIM .....</i></b>                                                                                                                  | <b>26</b> |
| <b>2.2</b>     | <b>HBIM: BIM aplicado ao patrimônio histórico.....</b>                                                                                           | <b>29</b> |
| <b>2.2.1</b>   | <b><i>Documentação das construções históricas .....</i></b>                                                                                      | <b>31</b> |
| <b>2.2.1.1</b> | <b><i>Digitalização .....</i></b>                                                                                                                | <b>31</b> |
| <b>2.2.1.2</b> | <b><i>Scan-to-BIM .....</i></b>                                                                                                                  | <b>37</b> |
| <b>2.2.1.3</b> | <b><i>Modelagem 3D HBIM .....</i></b>                                                                                                            | <b>38</b> |
| <b>2.3</b>     | <b>Protocolos HBIM .....</b>                                                                                                                     | <b>40</b> |
| <b>2.4</b>     | <b>Automação da modelagem HBIM .....</b>                                                                                                         | <b>46</b> |
| <b>3</b>       | <b>INTEGRAÇÃO DO <i>SCAN-TO-BIM</i> NO PROTOCOLO HBIM PARA<br/>DOCUMENTAÇÃO, GESTÃO E RECONSTRUÇÃO DIGITAL DE<br/>EDIFÍCIOS HISTÓRICOS .....</b> | <b>48</b> |
| <b>3.1</b>     | <b>Introdução .....</b>                                                                                                                          | <b>48</b> |
| <b>3.2</b>     | <b>Metodologia .....</b>                                                                                                                         | <b>52</b> |
| <b>3.2.1</b>   | <b><i>Estudo de Caso: Sobrado Dr. José Lourenço .....</i></b>                                                                                    | <b>52</b> |
| <b>3.2.2</b>   | <b><i>Protocolo HBIM .....</i></b>                                                                                                               | <b>54</b> |
| <b>3.2.2.1</b> | <b><i>Definição do PEB .....</i></b>                                                                                                             | <b>55</b> |
| <b>3.2.2.2</b> | <b><i>Modelagem Digital .....</i></b>                                                                                                            | <b>57</b> |
| <b>3.2.2.3</b> | <b><i>Precisão Geométrica .....</i></b>                                                                                                          | <b>59</b> |
| <b>3.2.2.4</b> | <b><i>Enriquecimento Semântico .....</i></b>                                                                                                     | <b>61</b> |
| <b>3.2.2.5</b> | <b><i>Reconstrução digital e Documentação .....</i></b>                                                                                          | <b>65</b> |
| <b>3.3</b>     | <b>Resultados e discussões .....</b>                                                                                                             | <b>66</b> |
| <b>3.3.1</b>   | <b><i>PEB .....</i></b>                                                                                                                          | <b>66</b> |

|           |                                                                                                                                     |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.2     | <i>Modelo HBIM</i> .....                                                                                                            | 68  |
| 3.3.3     | <i>Precisão geométrica do modelo HBIM</i> .....                                                                                     | 72  |
| 3.3.4     | <i>Documentação e Reconstrução digital</i> .....                                                                                    | 73  |
| 3.3.5     | <i>Protocolo HBIM</i> .....                                                                                                         | 78  |
| 3.4       | <b>Comentários Finais</b> .....                                                                                                     | 81  |
| 4         | <b>MELHORIA DA GEOMETRIA E TEXTURA DA REPRESENTAÇÃO<br/>DIGITAL DE ARTEFATOS INTEGRANDO NUVENS DE PONTOS,<br/>SCRIPT E IA</b> ..... | 83  |
| 4.1       | <b>Introdução</b> .....                                                                                                             | 83  |
| 4.2       | <b>Metodologia</b> .....                                                                                                            | 86  |
| 4.2.1     | <i>Levantamento da coleção sacra</i> .....                                                                                          | 88  |
| 4.2.2     | <i>Representação digital de elementos do acervo histórico</i> .....                                                                 | 89  |
| 4.2.2.1   | <i>Integração de scripts na criação de famílias HBIM</i> .....                                                                      | 90  |
| 4.2.2.1.1 | Segmentação da nuvem de pontos .....                                                                                                | 90  |
| 4.2.2.1.2 | Geração de mesh .....                                                                                                               | 91  |
| 4.2.2.1.3 | Refinamento da mesh .....                                                                                                           | 91  |
| 4.2.2.1.4 | Família HBIM .....                                                                                                                  | 92  |
| 4.2.2.1.5 | Validação .....                                                                                                                     | 93  |
| 4.2.2.2   | <i>Transformação do componente SketchUp® em família HBIM</i> .....                                                                  | 93  |
| 4.2.2.2.1 | Levantamento do elemento no 3D Warehouse .....                                                                                      | 94  |
| 4.2.2.2.2 | Otimização do 3ds Max .....                                                                                                         | 95  |
| 4.2.2.2.3 | Separação de camadas no AutoCAD .....                                                                                               | 95  |
| 4.2.2.2.4 | Criação da família HBIM .....                                                                                                       | 95  |
| 4.2.3     | <i>Renderização e melhoria com IA</i> .....                                                                                         | 96  |
| 4.3       | <b>Resultados e discussões</b> .....                                                                                                | 100 |
| 4.4       | <b>Comentários Finais</b> .....                                                                                                     | 106 |
| 5         | <b>CONCLUSÃO</b> .....                                                                                                              | 109 |
|           | <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                                                                                            | 117 |
|           | <b>APÊNDICE A</b> .....                                                                                                             | 122 |
|           | <b>APÊNDICE B</b> .....                                                                                                             | 134 |
|           | <b>APÊNDICE C</b> .....                                                                                                             | 140 |

## 1 INTRODUÇÃO

Edificações patrimoniais estão constantemente sujeitas a riscos, que podem ser imprevisíveis, acidentais ou intencionais. Recentemente, incêndios de grandes proporções atingiram a Catedral de Notre-Dame, na França, em 2019, e o Museu Nacional do Brasil, no Rio de Janeiro, em 2018. No caso de Notre-Dame a digitalização realizada em 2010 pelo arquiteto Andrew Tallon, que resultou em uma nuvem de pontos da edificação, desempenhou um papel fundamental em sua restauração. Diante desse contexto, torna-se evidente a necessidade imprescindível de implementar estratégias de preservação do patrimônio histórico (Leon, Pérez e Senderos, 2020). Nesse sentido, a documentação, entendida como o processo de coleta e registro de dados e informações relevantes em formatos visuais ou textuais (Shanoer e Abed, 2018), representa o ponto de partida para apoiar as práticas de manutenção e restauro. No entanto, os métodos tradicionais de documentação têm demonstrado limitações diante da complexidade geométrica das construções históricas, no qual para intervenções de restauração, demandam cada vez mais por níveis elevados de precisão.

Com os avanços tecnológicos, novas possibilidades foram surgindo para dar suporte a documentação patrimonial. Métodos de aquisição de dados por meio de fotogrametria e *laser scanner* têm se consolidado nos últimos anos (Costa *et al.*, 2023; Ribeiro *et al.*, 2024; Rubens, Ribeiro, Moreira, *et al.*, 2023; Vieira, M. M. *et al.*, 2023), permitindo que as edificações históricas sejam documentadas por meio de nuvens de pontos 3D, alcançando um nível elevado de detalhamento em um tempo significativamente menor, quando comparado aos métodos tradicionais. No entanto, este é apenas o ponto de partida para a documentação patrimonial. A metodologia BIM (*Building Information Modeling*), que vem se consolidando desde os anos 2000 (Lidelöw, Engström e Samuelson, 2023) permite a criação de modelos digitais mais completos das edificações, reproduzindo-as de forma fidedigna ao que será construído. Além de favorecer a visualização 3D, o BIM permite a inserção de dados e informações diretamente no modelo. Assim, elementos que anteriormente eram representados apenas por linhas sem nenhuma informação, passam a evoluir para um novo nível de detalhamento graças à esta metodologia.

No entanto, para edifícios históricos, a aplicabilidade do BIM é restrita devido às peculiaridades e detalhes geométricos do patrimônio (Andriasyan *et al.*, 2020; Brusaporci,

Maiezze e Tata, 2018), uma vez que as ferramentas de modelagem foram desenvolvidas com foco em novas construções, não considerando as particularidades das edificações existentes (Previtali e Banfi, 2018). Dessa forma, a complexidade geométrica dos elementos pode ser modelada de forma simplificada ou criadas de forma otimizada através de processo semiautomático (Vieira et al., 2024). Nesse contexto, no âmbito do patrimônio histórico, a sigla BIM ganha uma nova dimensão com a adição da letra “H”. Ao contrário do BIM, especialmente aplicado para novas construções, o HBIM (Heritage Building Information Modeling) concentra-se no levantamento de estruturas existentes (Murphy et al., 2017). Tratando-se de edificações históricas, a documentação dessas estruturas nem sempre está disponível e, quando existente, pode apresentar-se desatualizada, fragmentada ou dispersa. Assim, o HBIM, além de permitir a modelagem geométrica por meio da engenharia reversa, também se configura como um repositório de informações, uma vez que cada elemento construtivo e seus respectivos sistemas podem armazenar dados considerados úteis para preservação, gestão e manutenção dessas estruturas.

Apesar de inúmeros benefícios associados a metodologia HBIM, como documentação completa e detalhada, maior precisão geométrica, geração automatizada de relatórios quantitativos, integração multidisciplinar entre profissionais, compatibilização entre diferentes disciplinas, entre outros, ainda persistem desafios relevantes. Um dos principais entraves apontados pela literatura científica, que dificultam a plena adoção da metodologia, refere-se à falta de padronização (Giuliani et al., 2024; Lovell, Davies e Hunt, 2025; Parente, Bruno e Ottoni, 2025; Robles, 2018). A ausência de metodologias bem estruturadas e diretrizes claramente definidas pode resultar em modelos inconsistentes, desorganizados e fragilizados, principalmente no aspecto informacional. Assim, o estabelecimento de diretrizes específicas para o desenvolvimento de modelos HBIM torna-se fundamental para garantir a precisão e a qualidade do produto final (Bastem e Cekmis, 2022). Nesse sentido, a criação de protocolos voltados à documentação das construções históricas representa um passo importante para o avanço, fortalecimento e ampla disseminação da metodologia.

Neste contexto, essa dissertação tem como finalidade a criação de um protocolo de modelagem HBIM para a documentação e representação digital de edificações históricas, bem como propor uma metodologia semiautomática e de integração para a modelagem de elementos com geometrias complexas. O protocolo proposto visa reunir de maneira lógica e organizada

todas as etapas referentes ao processo de modelagem, facilitando a replicabilidade da metodologia e garantindo a consistência dos resultados. Sua formulação se fundamenta nas experiências práticas adquiridas no projeto “Inovação e Tecnologia para o Patrimônio Cultural do Ceará”, vinculado ao programa Cientista Chefe da Cultura. Dessa maneira, esta pesquisa contribui para o avanço do estado da arte da modelagem HBIM, configurando-se como o primeiro protocolo voltado especificamente ao processo de modelagem digital que reúne cinco importantes etapas: PEB, modelo digital, precisão geométrica, enriquecimento semântico e documentação e reconstrução digital. Já a metodologia semiautomática e de integração tem como finalidade acelerar o tempo de modelagem de geometrias complexas e viabilizar a representação digital desses elementos, ampliando o potencial da metodologia HBIM e oferecendo um caminho alternativo, eliminando a dependência de modelagem manual.

### 1.1 Justificativa

O projeto “Inovação e Tecnologia para o Patrimônio Cultural do Ceará”, que faz parte do Programa Cientista Chefe da Cultura, é uma iniciativa pioneira do Governo do Estado do Ceará que articula a ação conjunta entre Universidade-Governo-Empresa, e tem como objetivo principal promover a inclusão social através de tecnologias digitais. Desde 2022, o projeto utiliza equipamentos como *laser scanner*, drone e câmera 360 para realizar a documentação geométrica de edificações históricas. O resultado dessas aplicações geralmente resulta em nuvens de pontos e imagens 360°, que são utilizadas para criar experiências imersivas, visando difundir o acesso digital ao patrimônio cultural cearense. Essas experiências imersivas estão disponíveis para acesso na plataforma documenta ([www.documentace.com](http://www.documentace.com)), que oferece visita virtual interativa e de acesso público. O conteúdo inclui informações históricas, fotos, mapas, vídeos, e informações de infraestrutura turística de diversos equipamentos culturais como o Teatro José de Alencar, a Biblioteca Pública Estadual do Ceará, o Centro de Eventos do Ceará, o Centro Dragão do Mar de Arte e Cultura, o Cineteatro São Luiz, entre outros (Mesquita, Vieira e Moreira, 2024).

Além da criação dos *tours* virtuais, o material obtido por meio da digitalização gera insumos de qualidade para o desenvolvimento de pesquisas acadêmicas sobre o patrimônio cultural edificado. As nuvens de pontos geralmente são exploradas para elaborar a documentação de edificações históricas com auxílio da metodologia HBIM. Edificações como

Casa José de Alencar (Rubens, Ribeiro, Paulo, *et al.*, 2023), Teatro José de Alencar (Vieira, M. *et al.*, 2023; Vieira, M. M. *et al.*, 2023), Igreja Nossa Senhora do Rosário (Ribeiro *et al.*, 2024) e Sobrado Dr. José Lourenço (Ribeiro *et al.*, 2025) são exemplos de equipamentos culturais que passaram pelo processo de documentação via *laser scanner* e modelagem HBIM dentro do âmbito do projeto.

O primeiro modelo HBIM desenvolvido no âmbito do projeto foi o do Teatro José de Alencar, iniciado em 2022. Naquele período, a equipe ainda possuía pouca experiência prática com esse tipo de modelagem, e a escassez de material didático ou técnico que orientasse o processo tornava o trabalho consideravelmente desafiador. A literatura científica disponível abordava apenas etapas pontuais da modelagem HBIM, de forma pouco aprofundada. Não havia clareza sobre como iniciar a modelagem, quais parâmetros adotar ou como organizar o modelo digital, tampouco sobre como o uso pretendido do modelo poderia implicar no desenvolvimento do modelo. A modelagem do Teatro José de Alencar foi conduzida por um grupo inicial de pesquisadores, em que cada membro empregava sua própria linguagem de trabalho, o que resultou na ausência de padronização e na necessidade de revisões extensas. Com o avanço do projeto, novos modelos HBIM foram sendo desenvolvidos, e cada experiência contribuiu para o aprimoramento progressivo da metodologia, tornando-a mais coerente, eficiente e adaptada às especificidades do patrimônio edificado.

A maioria das edificações históricas possuem elementos construtivos que são característicos de sua época, como fachadas ornamentadas, arcos, molduras e esculturas. Muitos desses elementos, construídos artesanalmente, possuem um aspecto muito singular, o que dificulta sua representação em *softwares* BIM. Essa dificuldade está atrelada ao fato de que as ferramentas foram originalmente desenvolvidas para apoiar projetos de novas edificações. Além disso, a modelagem manual desses elementos demanda tempo significativo e elevado esforço operacional, podendo não atingir um resultado tão satisfatório. Diante do desenvolvimento dos modelos HBIM no âmbito do projeto, viu-se a necessidade de investigar e aplicar métodos que acelerassem o processo de representação de geometrias complexas em *softwares* BIM, de modo a viabilizar uma documentação mais completa do patrimônio histórico.

O projeto “Inovação e Tecnologia para o Patrimônio Cultural do Ceará” é composto por professores, estudantes de graduação, mestrado e doutorado, além de profissionais das áreas



de Arquitetura e Engenharia Civil. Devido à rotatividade natural da equipe, com a entrada e saída de membros a cada ciclo anual, tornou-se evidente a necessidade de formalizar os procedimentos adotados, de modo a assegurar a continuidade e a transferência de conhecimento entre gerações de pesquisadores. Nesse contexto, surgiu a necessidade de sistematizar as práticas empíricas acumuladas ao longo dos anos de execução do projeto. A presente pesquisa tem o propósito de organizar, consolidar e documentar os processos envolvidos na criação de modelos HBIM, apresentando-os por meio de um protocolo. Esse protocolo visa estruturar todas as etapas da modelagem, indicando a sequência lógica de atividades, os *softwares* e ferramentas a serem utilizados, as bases teóricas a serem consultadas e os produtos esperados em cada fase.

A adoção de um protocolo padronizado contribui para a redução de inconsistências, a melhoria da qualidade dos modelos e a otimização do fluxo de trabalho. Além de atender a uma demanda interna do projeto, o protocolo desenvolvido nesta dissertação, assim como a metodologia semiautomática e de integração, pode ser uma contribuição relevante para a consolidação da metodologia HBIM não só no contexto brasileiro, mas também em nível internacional, abrindo a possibilidade para que pesquisadores e profissionais possam ter acesso a um processo metodológico validado.

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo Geral***

Desenvolver a documentação e reconstrução digital de uma construção histórica, com foco no protocolo de modelagem HBIM e na implementação de um processo semiautomático e integrado para a representação de elementos com geometrias complexas.

### ***1.2.2 Objetivos específicos***

- Mapear as etapas que compõem o processo de modelagem HBIM, considerando práticas e metodologias realizadas dentro do projeto “Inovação e Tecnologia para o Patrimônio Cultural do Ceará”;
- Desenvolver um protocolo HBIM a partir das etapas mapeadas;

- Aplicar e validar o protocolo proposto em um estudo de caso, analisando sua eficácia e aplicabilidade nos processos de modelagem 3D;
- Investigar técnicas para a criação semiautomática de famílias HBIM a partir de dados de nuvem de pontos;
- Desenvolver e aplicar *scripts* para a geração de famílias HBIM;
- Integrar o Revit® com outros *softwares* de modelagem visando à transformação de blocos existentes em famílias HBIM.

### 1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é constituída por 5 capítulos, conforme apresentado a seguir:

O **Capítulo 1** apresenta a introdução da pesquisa, contextualizando sua relevância, e delimitando o problema investigativo. Além disso, expõe a justificativa, o objetivo geral, os objetivos específicos e a estrutura da dissertação.

O **Capítulo 2** apresenta uma revisão de literatura, abordando temas diretamente relacionados com a pesquisa, tais como BIM, HBIM, documentação das construções históricas, protocolos HBIM e automação da modelagem HBIM. Este capítulo aborda a base teórica necessária para o entendimento da pesquisa, reunindo referências relevantes da literatura científica.

O **Capítulo 3** consiste em um artigo científico aceito para publicação no *Journal of Building Engineering*. O trabalho apresenta um novo protocolo HBIM voltado para a documentação de edifícios históricos por meio de modelagem digital. O protocolo proposto avança o estado da arte estruturando o fluxo de trabalho em cinco estágios integrados: PEB, modelagem digital, precisão geométrica, enriquecimento semântico e reconstrução e documentação digital. A validação da metodologia foi realizada através da aplicação do novo método ao icônico edifício histórico Sobrado Dr. José Lourenço.

O **Capítulo 4** também apresenta um artigo científico aceito para publicação no *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*. O estudo propõe uma abordagem para criação de famílias HBIM por meio de duas metodologias distintas: Integração de *script* ou transformação de elementos existentes de SketchUp®. Essa metodologia fornece a base para

um subprocesso que integra a etapa 2 do protocolo de modelagem apresentado no capítulo anterior.

O **Capítulo 5** reúne as considerações finais, destacando as principais contribuições da pesquisa, suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

Além dos capítulos descritos, esta dissertação possui três apêndices. O **Apêndice A** apresenta o PEB aplicado à elaboração do modelo HBIM do Sobrado Dr. José Lourenço, detalhando todas as diretrizes necessárias para a elaboração do modelo. O **Apêndice B** reúne a documentação técnica da edificação, incluindo as plantas técnicas elaboradas a partir da modelagem digital, desenvolvidas com base na nuvem de pontos. Por fim, o **Apêndice C** apresenta o Protocolo de Modelagem HBIM na íntegra, apresentando as cinco etapas que o compõem.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 BIM

#### 2.1.1 *Histórico e conceitos fundamentais*

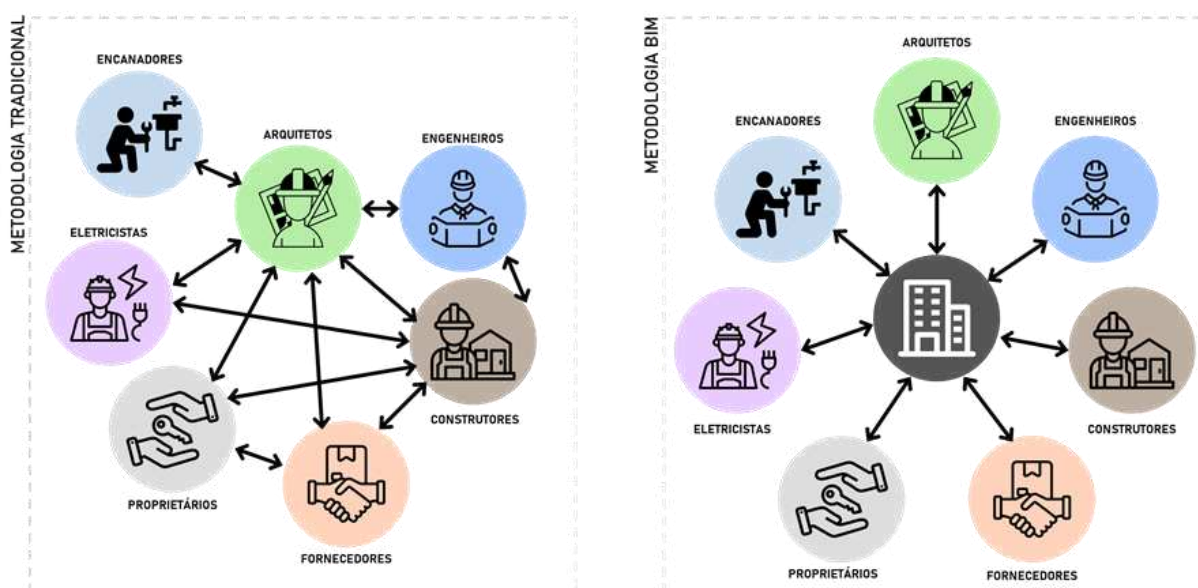
Com o avanço tecnológico, diversos pesquisadores passaram a transformar diretamente às práticas de trabalho de engenheiros e arquitetos. Charles M. Eastman destacou-se como um dos primeiros a desenvolver conceitos fundamentais para a origem do BIM (Farias, 2020). Suas pesquisas, como “*A Data Model for Design Knowledge*” (Eastman, 1994), foram cruciais na abordagem de integração de informações em projeto e interoperabilidade entre disciplinas. Outro trabalho fundamental foi o desenvolvimento do BDS (Building Description System) (Eastman, 1976), sendo o precursor da representação tridimensional de edificações. Apesar das limitações tecnológicas da época, o BDS permitia armazenar características geométricas e dados construtivos, além de integrar diversas disciplinas.

Na década de 1990, Nederveen, Van e Tolman (1992) desenvolveram um trabalho intitulado “*Modelling multiple views on buildings*”, no qual propuseram o conceito de múltiplas representações, cada uma ajustada às necessidades específica de diferentes áreas. Essa abordagem foi denominada *Modelling Building Information* ou Modelo de Informação de Construção. No início dos anos 2000, a Autodesk contribuiu para a popularização do BIM ao publicar um *white paper* (Autodesk, 2002) que reunia os benefícios da metodologia. Phil Bernstein e Jerry Laiserin também desempenharam papéis importantes na disseminação do termo (Monteiro e Martins, 2011). Assim, o BIM se consolidou como metodologia amplamente aplicada em modelagem paramétrica (Sharma, Sawhney e Arif, 2017), manutenção (Valença *et al.*, 2024), gerenciamento (Wefki, Elnahla e Elbeltagi, 2024), entre outros.

De acordo com a definição do Reino Unido, o BIM é uma abordagem de trabalho colaborativo, fundamentada pelas tecnologias digitais que propiciam modos mais eficazes de concepção, entrega e manutenção de ativos físicos construídos (Jordan-Palomar *et al.*, 2018). Esse conceito fortalece o pensamento de que o BIM não se delimita a um determinado *software*, mas sim a uma metodologia baseada na integração. O BIM representa uma modernização tecnológica e processual no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO) (Succar, 2009), permitindo a criação de um modelo detalhado que integra informações

construtivas, dados referentes à materiais, custos e outros aspectos essenciais. Dessa forma, a utilização do BIM abre mais oportunidades para o acesso a informações detalhadas a cerca de uma edificação do que os modelos feitos em CAD (*Design Auxiliado por Computador*) (Mahdjoubi, Moobela e Laing, 2013). A Figura 1 ilustra como a metodologia BIM pode transformar o fluxo de trabalho dos profissionais envolvidos em um projeto.

Figura 1 - Metodologia tradicional vs Metodologia BIM



Fonte: Adaptado de Piña e Avila (2024)

Santos (2012) diz que o BIM é um processo de criação, utilização e melhoria de um modelo de informações de um edifício durante sua vida útil. Esse modelo, além de conter os traços geométricos, dispõe de um conjunto de informações relacionadas a diferentes aspectos da edificação, além de abranger as diversas disciplinas envolvidas. Embora o BIM não seja uma tecnologia, ele se baseia em diversas ferramentas para sua implementação. Groetelaars (2015) destaca que dentre as ferramentas que possuem essa metodologia, as mais conhecidas no campo da modelagem geométrica são o Revit®, considerado o líder do mercado, Bentley Systems® e ArchiCAD®. Esses *softwares* permitem a criação de modelos 3D detalhados, além de oferecerem uma vasta gama de funcionalidades que auxiliam no gerenciamento desses modelos. Todavia, entre as plataformas mencionadas, o Revit® se sobressai, sendo adotado em aproximadamente 80% dos modelos como principal ferramenta de desenvolvimento (Penjor *et al.*, 2024b).

Succar, (2009) destaca que a metodologia BIM se estrutura em três campos principais: tecnológico, processos e político. O campo tecnológico tem como objetivo aumentar a eficiência, a produtividade e a competitividade do setor da construção, sendo constituído por sistemas de *hardware* e *software*. O campo processos abrange todos os agentes envolvidos ao longo do ciclo de vida da edificação (como arquitetos, engenheiros, proprietários, usuários, etc) e define fluxos de trabalho e responsabilidades. Já o campo político corresponde ao conjunto de documentos normativos (como normas técnicas, guias, protocolos, diretrizes, etc) que fornecem a base para a correta adoção do BIM (García, 2020).

### **2.1.2 Usos do BIM**

Os usos do BIM referem-se aos critérios de aplicação da metodologia durante todo o ciclo de vida de uma edificação, com o objetivo de alcançar metas específicas (Mota, 2017). Cada projeto apresenta demandas particulares, exigindo a definição estratégica de como o BIM será implementado conforme esses critérios. Dessa forma, os usos do BIM consistem na aplicação direcionada da metodologia para atender a objetivos específicos, sendo que cada um desses usos requer um LOD (*Level of development* ou Nível de desenvolvimento) adequado (Kreiderejohn e Messner, 2013), servindo como referencial para avaliar o nível de maturidade dos elementos modelados.

Martins (2023) destaca que os usos do BIM são variados e podem gerar benefícios significativos para a indústria da construção civil, promovendo uma maior colaboração entre as equipes, redução de custos e prazos, além da otimização dos processos de projeto, construção e operação de edificações. O autor ainda exemplifica alguns desses usos no setor da construção civil:

- a) Projeto: O BIM pode ser usado para a visualização tridimensional e detalhada do edifício, permitindo a identificação antecipada de problemas de projeto antes do início da construção. Além disso, permite a geração de dados quantitativos, estimativas de custos e especificações técnicas;
- b) Colaboração: O BIM pode ser usado para aprimorar a integração entre as equipes de projeto, engenharia, construção e operação. O modelo BIM pode ser compartilhado entre os envolvidos, possibilitando visualização e atualizações

em tempo real, o que minimiza erros, retrabalhos e melhora a comunicação entre o grupo;

- c) **Análise de desempenho:** O BIM pode ser usado para simular e avaliar o desempenho da edificação em diferentes cenários, como iluminação, ventilação, consumo energético e conforto térmico. Os resultados dessas análises contribuem para a otimização do uso de recursos e a redução de custos operacionais;
- d) **Fabricação e construção:** O BIM pode ser usado para fornecer dados essenciais para fabricação e construção, incluindo plantas detalhadas e especificações técnicas. Essa abordagem auxilia na otimização do processo construtivo, reduzindo desperdícios e melhorando a qualidade da execução;
- e) **Operação e manutenção:** O BIM pode ser usado como uma base de dados para apoiar atividades de operação e manutenção da edificação. O modelo pode incluir informações sobre equipamentos, manuais de uso e cronogramas de manutenção, contribuindo para a redução de custos operacionais e a extensão da vida útil do edifício.

Em 2009, a Pennsylvania State University publicou um estudo que identificou e categorizou 25 diferentes casos de uso do BIM (CBIC, 2016), organizados em quatro etapas do ciclo de desenvolvimento de um projeto: planejamento, projeto, construção e operação. Cada caso foi classificado em “usos principais do BIM” e “usos secundários”. A Figura 2 apresenta a distribuição desses 25 casos.

Figura 2 - Usos do BIM mapeados pela Pennsylvania State University



Fonte: Adaptado de CBIC (2016)

Entre os pesquisadores que se dedicaram a listar os usos do BIM, Succar, Saleeb e Sher (2016), apresentaram contribuições que foram fundamentais para o fortalecimento teórico do conceito de “Usos do Modelo”. Segundo os autores, esse conceito trata-se de uma expansão taxonômica de “Usos do BIM”, referindo-se às entregas previstas, planejadas ou aguardadas do projeto. A partir desse estudo, e principalmente com base em Succar (2009), a BIM Excellence (BIME) surgiu como iniciativa global para apoiar a adoção do BIM. No âmbito das publicações associadas à BIME, destaca-se a “*Model Uses Table*” ou Tabela de Usos do Modelo (Succar, 2020) por apresentar uma lista de usos gerais pretendidos para o modelo. Dentre aqueles mais diretamente relacionados a esta pesquisa, podemos citar: *Conservation Modelling* (1060) ou Modelagem de Conservação, *As-Constructed Representation* (2030) ou Representação



conforme construída, *Laser Scanning* (2050) ou Escaneamento a *laser*, *Photogrammetry* (2060) ou Fotogrametria e *Visual Communication* (2090) ou Comunicação Visual.

## 2.2 HBIM: BIM aplicado ao patrimônio histórico

A relevância histórica das edificações patrimoniais está intimamente ligada aos acontecimentos históricos, seja pela sua construção, sistema construtivo, projeto ou valor arquitetônico (Cheng *et al.*, 2024). A preservação dessas edificações é fundamental. No entanto, é bastante comum a ausência da documentação dessas construções históricas. Com frequência, os registros dessas construções são limitados ou fragmentados, o que torna as ações de salvaguarda do patrimônio construído desafiadoras.

A metodologia HBIM surge como uma vertente do BIM, representando uma solução inovadora para suprir a ausência de documentação dessas construções (Contreras, 2024). Essa abordagem, voltada para a modelagem de componentes construtivos de edifícios históricos, utiliza técnicas de engenharia reversa, resultando na representação digital precisa de objetos existentes (Ali *et al.*, 2018; Sugiyama, 2022). Dessa forma, possibilita tanto a atualização quanto a criação de documentação que reflita com precisão o estado atual de conservação dessas construções. Além disso, essa visão geral da geometria da edificação serve como apoio para atividades de preservação, gerenciamento, projeto e monitoramento (Calcerano *et al.*, 2024).

O HBIM foi inicialmente introduzido por Murphy, McGovern e Pavia (2007), que aplicaram a metodologia à digitalização de uma construção histórica em Dublin. Mais tarde, Murphy aprofundou a discussão em estudos posteriores (Murphy, McGovern e Pavia, 2009; Murphy, McGovern e Pavia, 2013; Murphy *et al.*, 2017), reforçando que o HBIM se trata de um método inovador que une dados históricos com modelagem paramétrica, mapeados com precisão através de nuvens de pontos, oferecendo um novo sistema de modelagem de estruturas históricas. Além do ganho em termos de visualização, os estudos reforçam que o uso da metodologia pode apoiar a criação automática da documentação técnica para atividades de conservação. No entanto, sob a ótica dos desafios iniciais, Murphy e seus colaboradores destacaram o grande esforço na reprodução de geometrias paramétricas complexas, bem como a forte dependência de *hardware*, *softwares* e mão de obra altamente qualificada, fatores que poderiam limitar a disseminação e a aplicação prática do HBIM naquele período.

Enquanto o BIM tradicional é comumente utilizado na concepção e operação de novas edificações, pretendendo garantir a eficiência dos projetos e principalmente da obra, o HBIM tem a competência de demonstrar como se deu o funcionamento de uma edificação ao longo do tempo (Jáquez, 2019). Seu principal foco está em documentar edificações que já são existentes, podendo registrar o estado em que a edificação se encontra no momento da captura ou até mesmo toda a sua trajetória e modificações ao longo dos anos. A modelagem da informação da construção para edificações históricas comumente inicia com o levantamento digital dessas estruturas, seguido da modelagem paramétrica e resultando em um modelo geométrico detalhado (Murphy *et al.*, 2017). Diferentemente do BIM que se apoia no conceito de LOD, inicialmente pensado para as novas construções, o HBIM traz um conceito que já foi pensado e adequado para as construções históricas: LOIN (*Level of Information Need* ou Nível de informação necessária). Este termo apoia-se a ideia de que apenas as informações necessárias para um determinado uso é que devem ser levadas ao modelo (Groetelaars, 2022), evitando o excesso de dados.

No entanto, a reconstrução digital do patrimônio edificado é um desafio, pois os componentes modelados apresentam aspectos complexos e irregulares que nem sempre estão disponíveis em bibliotecas preexistentes (López *et al.*, 2018). Isso está diretamente relacionado à era construtiva, no qual antigamente, muitos dos elementos construtivos eram desenvolvidos artesanalmente, o que lhes davam um aspecto muito particular, diferentemente das construções modernas que normalmente seguem dimensões padronizadas e formatos regulares. Além disso, as bibliotecas dos *softwares* BIM são limitadas, visto que possuem um grande catálogo de elementos relacionados às construções contemporâneas. Assim, torna-se essencial a integração de novas tecnologias para aprimorar o desenvolvimento de um HBIM (Garcia-Gago *et al.*, 2022).

O conceito de HBIM ainda está muito relacionado com a reconstrução geométrica da edificação histórica (Silva e Cuperschmid, 2022). Diversos estudos utilizaram da técnica para aplicar a engenharia reversa em obras de grande valor arquitetônico, como é o caso do Pavilhão de exposições agrárias de Lisboa (Rocha, Mateus e Ferreira, 2024), o Mausoléu de Yahya al-Shabih (Hamed e Antably, 2023) e a Casa José de Alencar (Rubens, Ribeiro, Paulo, *et al.*, 2023). Contudo, o levantamento geométrico é apenas uma pequena parte do que a metodologia pode oferecer. O HBIM permite a integração do conteúdo visual com componentes

imateriais, como documentação arquitetônica histórica, manuscritos, representações arqueológicas, dados, fotos, evolução ao longo dos anos e etc (Khalil e Stravoravdis, 2019).

Como a aplicação do HBIM vai muito além da visualização tridimensional, o profissional precisa descrever a relação existente entre o objeto e a estrutura global (Ali *et al.*, 2018). Por exemplo, ao modelar uma família paramétrica, como uma escada, além de informações dimensionais e do tipo de material, é interessante adicionar uma nota revelando quais pavimentos ela é responsável por interligar e no que implicaria um possível comprometimento em sua estrutural. Ou seja, descrever a relação entre um objeto e a estrutura global significa deixar evidente como que um elemento isolado é capaz de interferir no comportamento e funcionalidade da estrutura global. A inserção desses dados semânticos reforça uma das principais competências da metodologia HBIM: a capacidade de armazenar dados sobre os componentes da edificação, a visualização clara e confiável, a identificação precisa dos elementos construtivos e a automação da documentação. Por essas razões, pesquisadores indicam o HBIM como uma ferramenta fundamental para a manutenção e preservação do patrimônio histórico (Hamed e Antably, 2023).

## **2.2.1 Documentação das construções históricas**

### **2.2.1.1 Digitalização**

A tecnologia digital é uma ferramenta evolutiva que fornece um registro eficiente do patrimônio, abrindo possibilidade para um entendimento mais aprofundado acerca de sua conduta (Dimitriou e Kontovourkis, 2024). Métodos de aquisição de dados, como *laser scanner* Terrestre (TLS) (Figura 3a) e a fotogrametria realizada por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) (Figura 3b), permitem que especialistas digitalizem edificações com um novo nível de detalhes (Alshawabkeh, Baik e Miky, 2021), garantindo maior precisão e agilidade no registro. Isso é o que a faz diferir das representações 2D, onde os objetos são vistos de maneira inerte, pois a visualização 3D permite que o usuário possa interagir livremente, dando a possibilidade de observar aspectos ilimitados (Muniz, Silva e Kindlein Júnior, 2018).

Figura 3 - (a) *Laser Scanner* Terrestre e (b) Veículo aéreo não tripulado



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo autor.

A digitalização possui um papel fundamental na preservação do patrimônio histórico, principalmente no âmbito da documentação, favorecendo e motivando o conhecimento através da inovação, com modelos tridimensionais dos elementos. O *laser scanner* permite o registro por meio de varredura por feixe de *laser*, resultando em uma nuvem de pontos 3D (Figura 4), onde cada ponto possui coordenadas x,y e z (Groetelaars, 2015). A fotogrametria é um método para obter informações acerca de um elemento e sua vizinhança através de imagens fotográficas (Wolf et al., 2014). Esses dados são processados digitalmente, por meio de *softwares* especializados, gerando modelos 3D, que representam fielmente a geometria da edificação.

Figura 4 - Exemplo de nuvem de pontos 3D gerada por *laser scanner*



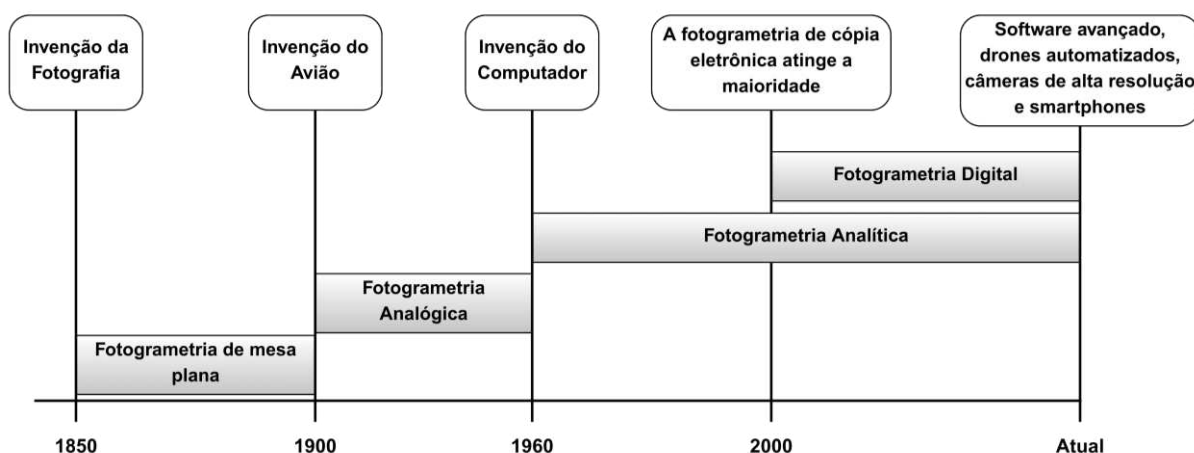
Fonte: Elaborado pelo autor.

A fotogrametria começou a se popularizar por volta do século XX, dando um salto ainda maior nas décadas seguintes por conta do seu notável ganho em produtividade no mapeamento de grandes áreas em comparação com outros métodos de levantamento (Silva, 2015). De acordo com Saif (2022), a fotogrametria tem sido amplamente utilizada na última década em diversas aplicações, como por exemplo, documentação de edificações históricas e arqueológicas, mapeamento, coleta de dados, modelagem, medições, entre outros. Segundo o autor, essa técnica passou por quatro diferentes estágios, que podem ser observados na Figura 5 e que são descritos logo abaixo:

- a) Fotogrametria de mesa plana (1850-19000): As fotografias eram posicionadas em uma mesa plana no qual eram extraídas direções e distâncias, resultando em mapas de forma manual;
- b) Fotogrametria analógica clássica (1900-1960): Utilizava câmeras de filme e métodos mecânicos/ópticos para extrair dados de fotografias. Além disso, os avanços no âmbito aeronáutico permitiram a realização de capturas aéreas para mapeamentos de grandes áreas;

- c) Fotogrametria analítica (1960-2000): Similar ao processo da fotogrametria analógica, porém, com o incremento de computadores para o processo de reconstrução, o que garantiu mais precisão e eficiência;
- d) Fotogrametria digital (2000-atual): Utiliza imagens digitais, tecnologia avançada (drones e câmeras de alta resolução) e *softwares* fotogramétricos para criar modelos 3D.

Figura 5 - Evolução da Fotogrametria



Fonte: Adaptado de Saif (2022).

Entre o fim da década de 80 e início dos anos 90, o *laser scanner* já era utilizado em projetos-piloto (Spring, 2020). Com o passar dos anos, essa tecnologia foi se fortalecendo e tem sido amplamente adotada como ferramenta principal no levantamento de dados 3D de estruturas patrimoniais complexas (Alshawabkeh *et al.*, 2020), exercendo um papel fundamental na preservação, gerenciamento e valorização dessas estruturas (Pepe *et al.*, 2021). O livro “*3D Laser Scanning for Heritage*” da Historic England (2018) destaca algumas das utilidades dessa tecnologia, que envolve:

- a) Registrar minuciosamente um local antes de intervenções, apoiando atividades de reformas, preservação e desenvolvimento de modelos 3D;
- b) Estudos arqueológicos;
- c) Monitoramento de condições estruturais;
- d) Produzir registros arquiváveis para preservação;
- e) Criar modelos 3D para apresentações e restauros;

f) Análise espacial.

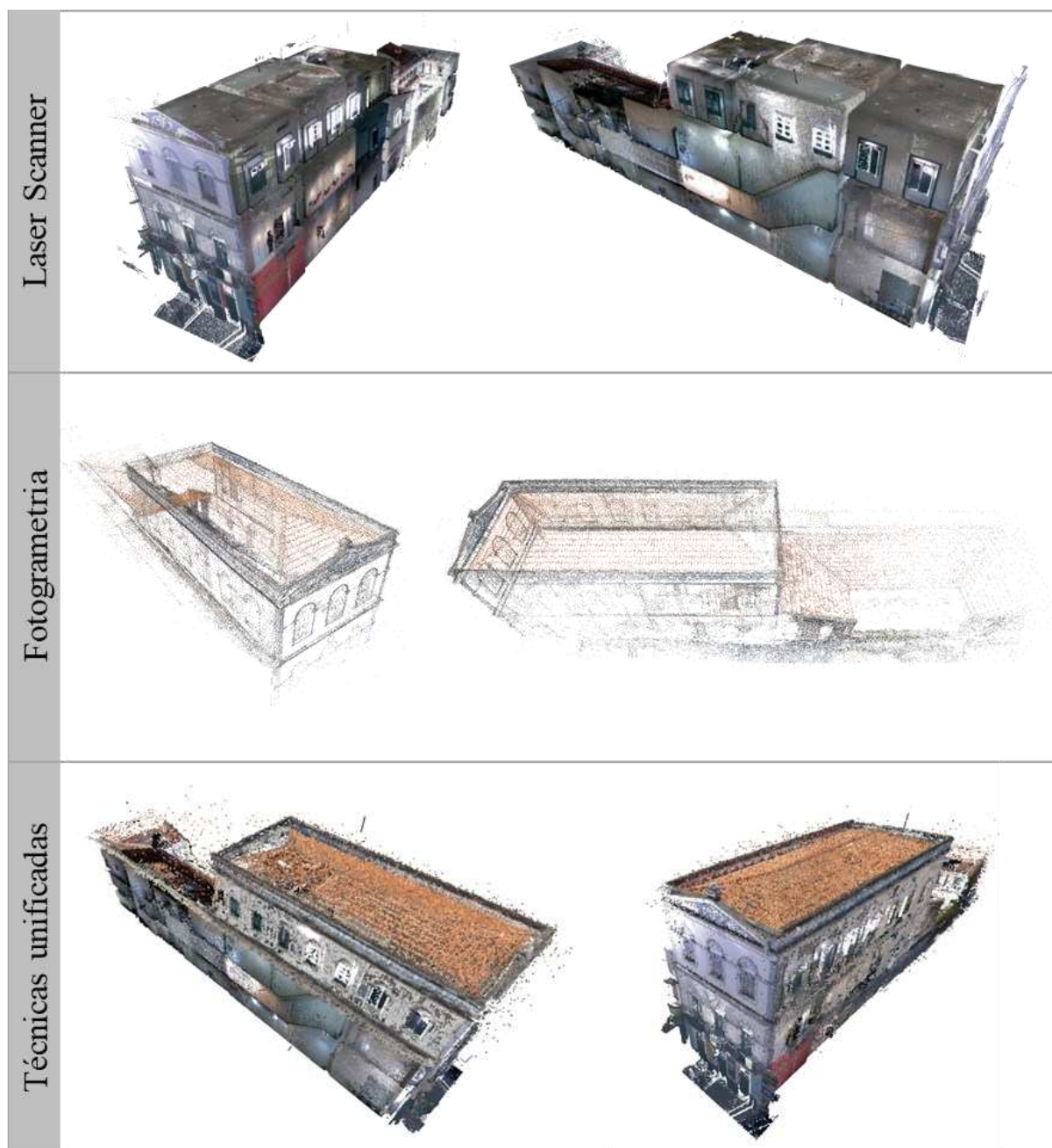
O levantamento geométrico por meio dessa tecnologia tem se consolidado como etapa inicial no processo de documentação de edificações que, em muitos casos, carecem de registros técnicos. Além disso, tem transformado a forma como os usuários interagem e assimilam as informações sobre o patrimônio (Rubens, 2023), possibilitando experiências imersivas por meio de ferramentas como realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e passeios virtuais. Essas novas formas de interação redefiniram a relação dos usuários com esses bens, expandindo o acesso, a percepção e o reconhecimento do patrimônio cultural.

A fotogrametria e *scanners* são processos comumente aplicados para o registro de edificações. Eles registram tudo o que é visível, dentro de um raio delimitado, permitindo a consulta de medidas em momento posterior (Barbosa, 2018). Em comparação com os métodos tradicionais, essas técnicas proporcionam uma documentação mais ágil e detalhada. Costa *et al.* (2016) destacam que, em patrimônios históricos, a abordagem mais adequada é a utilização conjunta dessas duas tecnologias, de modo que o potencial de cada técnica seja plenamente aproveitado e ambas se complementem. Uma situação que reforça essa afirmação dos autores é quando envolvem edificações de grande altura, onde o escaneamento a *laser* isolado se mostra insuficiente. Nestes casos, a técnica não consegue capturar de forma completa a geometria do telhado e das coberturas, comprometendo o registro (Rocha *et al.*, 2020). Dessa maneira, o uso conjunto da fotogrametria é essencial para cobrir essas áreas.

A Figura 6 ilustra o comparativo dos resultados de técnicas de digitalização 3D aplicadas ao Sobrado Dr. José Lourenço, o que reforça essa abordagem. Observa-se que, no levantamento executado por *laser scanner*, a cobertura da edificação apresentou baixa ou nenhuma representação na nuvem de pontos. Elementos como tipo de telha, número de águas, inclinação e demais aspectos da cobertura foram capturados apenas por meio da fotogrametria. A integração desses dois conjuntos de dados possibilitou a geração de um modelo tridimensional mais abrangente e fiel, oferecendo uma representação mais completa das características arquitetônicas do edifício histórico.



Figura 6 - Comparativo dos resultados de técnicas de digitalização 3D aplicadas ao Sobrado Dr. José Lourenço.



Fonte: Elaborado pelo autor.



### 2.2.1.2 *Scan-to-BIM*

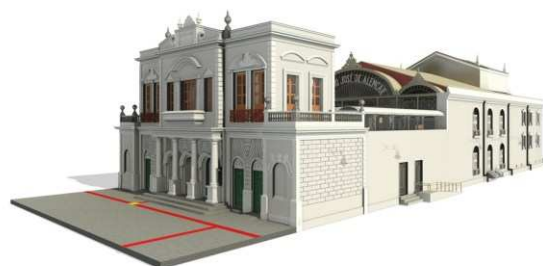
O *Scan-to-BIM* refere-se a modelagem BIM a partir de uma nuvem de pontos. Essa abordagem é amplamente reconhecida como uma das estratégias mais eficientes para a etapa inicial do desenvolvimento de modelos HBIM, permitindo a obtenção de informações detalhadas e confiáveis sobre a edificação (León, 2018). O processo envolve a conversão de dados de captura, geralmente na forma de nuvem de pontos, em um modelo digital paramétrico dentro do ambiente BIM. Isso resulta em modelos digitais mais completos que podem ser úteis para análises, atividades de manutenção, documentação, gestão, etc.

Atualmente, a literatura apresenta diversos exemplos que exploram a digitalização de edificações históricas e a geração de modelos HBIM por meio do processo *Scan-to-BIM*. A Figura 7 ilustra alguns exemplos, dentre os quais se destaca a Casa José de Alencar (Rubens, Ribeiro, Paulo, *et al.*, 2023), o renomado Teatro José de Alencar (Vieira, M. M. *et al.*, 2023) (Figura 6a), onde a técnica foi empregada com o propósito de atualizar a documentação existente, a Igreja Nossa Senhora do Rosário (Ribeiro *et al.*, 2024; Rubens, Ribeiro, Moreira, *et al.*, 2023), que aplicou a metodologia para documentar a estrutura existente, e criar uma proposta de museu de arte sacra e o Sobrado Dr. José Lourenço (Ribeiro *et al.*, 2025) que por meio do modelo 3D, demonstrou o processo de modelagem HBIM.

Figura 7 - Exemplos de edificações históricas que passaram pelo processo *Scan-to-BIM*: (a) Casa José de Alencar, (b) Teatro José de Alencar, (c) Igreja Nossa Senhora do Rosário e (d) Sobrado Dr. José Lourenço



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Elaborado pelo autor.

É evidente a relevância do *Scan-to-BIM* no âmbito de documentação de construções históricas, permitindo a mitigação da ausência de informações sobre tais estruturas. Essa metodologia viabiliza a criação de modelos digitais precisos em ambiente BIM, que podem ser utilizados para organizar dados existentes ou integrá-los ao longo do ciclo de vida do edifício. Além disso, as reconstruções digitais geradas a partir desse processo possuem o potencial significativo de preservar e divulgar a existência dessas edificações para o público global, ainda que de forma não tangível (Boeykens, Himpe e Martens, 2012)

### 2.2.1.3 Modelagem 3D HBIM

A evolução da modelagem 3D começou na década de 1970, a partir das primeiras aplicações em CAD, experimentado por inúmeras indústrias (Volk, Stengel e Schultmann,

2014). A criação de um modelo HBIM inicia-se com a etapa de coleta de dados, que envolve a captura da geometria da construção por meio da digitalização, complementada pela análise de desenhos arquitetônicos existentes e registros de eventos relevantes. O objetivo dessa etapa é reunir informações que serão agregadas ao modelo 3D em momento posterior, já que a metodologia BIM permite armazenar dados referentes ao passado histórico da construção, bem como monitorar seu estado de conservação ao longo dos anos. Por fim, na etapa seguinte, os dados oriundos da digitalização são importados em um *software* BIM, iniciando à etapa de modelagem. Esse passo, refere-se à transformação das informações coletadas em um modelo HBIM (Tolentino, 2018).

De acordo com o estudo de Groetelaars (2015), a fase de modelagem, que corresponde à conversão da nuvem de pontos em um modelo 3D em ambiente BIM, é a etapa mais extensa e interativa dentro do fluxo HBIM. A autora descreve o processo em quatro etapas principais: (i) a modelagem geométrica de cada componente, (ii) associação do objeto a uma determinada categoria (ou família), (iii) a atribuição de parâmetros e (iv) o estabelecimento de relações espaciais e funcionais entre os elementos da construção. A autora também enfatiza a importância de definir claramente a finalidade do modelo e seu nível de detalhe, uma vez que esses aspectos influenciam diretamente a forma como os elementos serão modelados.

A modelagem em um ambiente BIM viabiliza a associação de informações a cada elemento construtivo por meio da definição de parâmetros (Bacci *et al.*, 2019). No contexto do HBIM, é essencial a incorporação de informações não geométricas, quando disponíveis, tais como relatórios sobre os materiais empregados, registros de intervenções realizadas, classificações do estado de conservação e da condição atual do patrimônio, além de comentários e demais dados relevantes (Mota e Figueiredo, 2021). A inclusão dessas informações no modelo, além do registro geométrico, possibilita um acompanhamento visual mais preciso das transformações ocorridas ao longo do tempo, tornando o modelo 3D HBIM mais completo e preciso.

Dentre as principais plataformas BIM para modelagem geométrica disponíveis no mercado, o Revit® se destaca como uma das mais utilizadas (Groetelaars, 2015). Desenvolvido para aumentar a eficiência e a qualidade na elaboração de projetos arquitetônicos e de engenharia (Alves *et al.*, 2012), o *software* oferece recursos avançados que permitem criar um modelo semântico e extrair qualquer informação guardada nele. Possui também o recurso de

“fases temporais”, que permitem representar a criação e demolição de elementos ao longo do tempo (Bacci *et al.*, 2019). No âmbito do HBIM, esse artifício propicia um acompanhamento visual mais claro acerca das mudanças realizadas ao longo dos anos. O Revit® se destaca pela interface intuitiva, ampla biblioteca de objetos e gestão dinâmica de dados. No entanto, suas limitações na modelagem de superfícies curvas e geometrias complexas podem dificultar a representação de edificações históricas.

Diante do exposto no parágrafo anterior, apesar do Revit® apresentar limitações na criação de modelos tridimensionais de construções históricas, ele se firma como uma ferramenta padrão que simboliza as aplicações clássicas de um modelo BIM partindo de uma modelagem simplificada e ágil (Hamed e Antably, 2023). Embora não tenha sido originalmente desenvolvido para a modelagem de construções existentes, o Revit® é amplamente utilizado no contexto do HBIM. Apesar das dificuldades em reproduzir geometrias complexas, a integração com ferramentas de automação, como o Dynamo®, permite a otimização de diversos processos de modelagem. Por meio de rotinas paramétricas, o Dynamo® facilita a execução de tarefas repetitivas e a adaptação de geometrias mais complexas, ampliando assim a aplicação do Revit® no campo do HBIM.

O processo de criação de um modelo HBIM é formado por várias fases até a sua finalização (Sugiyama, 2022). Esse processo vai além da simples recriação dos elementos construtivos, como paredes, pisos e esquadrias. Além da representação geométrica, envolve a inserção de dados semânticos, a verificação da precisão do modelo em relação à nuvem de pontos e outras etapas específicas, conforme o uso pretendido. Portanto, definir uma metodologia prática e ordenada de modelagem, é fundamental para um produto final plausível, que possa fornecer proveitos e agregar atividades de conservação e restauração (Rocha *et al.*, 2020).

## **2.3 Protocolos HBIM**

Com os avanços tecnológicos, abriu-se um leque de novas possibilidades, oferecendo diferentes caminhos para alcançar os mesmos objetivos. Nesse cenário, métodos até então considerados tradicionais passaram a ser substituídos ou complementados por abordagens mais modernas, assim como novas técnicas surgiram em resposta às demandas de setores. No entanto, essas multi possibilidades abrem margem para um cenário fragmentado e muitas vezes

pouco sistematizado. Diante dessa diversidade de alternativas, torna-se essencial filtrar o que é realmente relevante e traçar um fluxo de trabalho claro, sobretudo para garantir que os objetivos estabelecidos sejam atingidos com eficiência e precisão. No contexto das construções históricas, a adoção de fluxos de trabalho baseados em HBIM apresenta elevado potencial para a gestão da informação, assegurando a preservação e acessibilidade dos dados, além de favorecer a integração das informações em constante evolução (Penjor *et al.*, 2024a). A organização desses fluxos torna-se indispensável principalmente devido a robustez de algumas edificações, que pode acabar elevando o nível de complexidade do processo.

Jordan-Palomar *et al.*, (2018) aponta que o processo de trabalho em projetos de arquitetura histórica enfrenta desafios relacionados à falta de percepção de processos, dispersão de dados e utilização de ferramentas obsoletas. Uma alternativa para superar tais dificuldades seria a implementação de protocolos, que delimitam de forma clara o percurso a ser seguido para alcançar um determinado objetivo. De acordo com Robles, (2018) protocolo consiste em uma sequência clara de um processo de ação, com o intuito de assegurar repetições bem-sucedidas de um mesmo estudo de caso ou em outras aplicações. Trata-se de um procedimento validado, que estabelece uma diretriz clara sobre o que e como deve ser feito, minimizando retrabalhos e otimizando o tempo.

Grande parte de protocolos de padronização foram desenvolvidos para atender aos usos mais comuns do BIM, cujos processos de modelagem diferem das metodologias aplicadas em construções históricas. Essas distinções evidenciam a necessidade de protocolos e padronizações específicas para a modelagem HBIM, capazes de contemplar as particularidades que esse segmento necessita (Santana e Groetelaars, 2023). A definição de um processo consistente, estruturado em etapas claras e bem delimitadas, corrobora para a redução do tempo investido em cada atividade, o que, por consequência, diminui os custos totais do projeto. Nesse sentido, a padronização assume um papel central, estabelecendo diretrizes que orientam não só o fluxo de modelagem, mas também a inserção de informações semânticas, a análise de precisão do modelo em relação aos dados de entrada, a criação de famílias paramétricas, entre outros aspectos que fazem parte do processo global.

A necessidade por organizar informações e estabelecer um processo de trabalho padronizado, resultou nos últimos anos no desenvolvimento de guias e protocolos de modelagem para a construção de modelos HBIM. Em 2017, no Reino Unido, a *Historic*

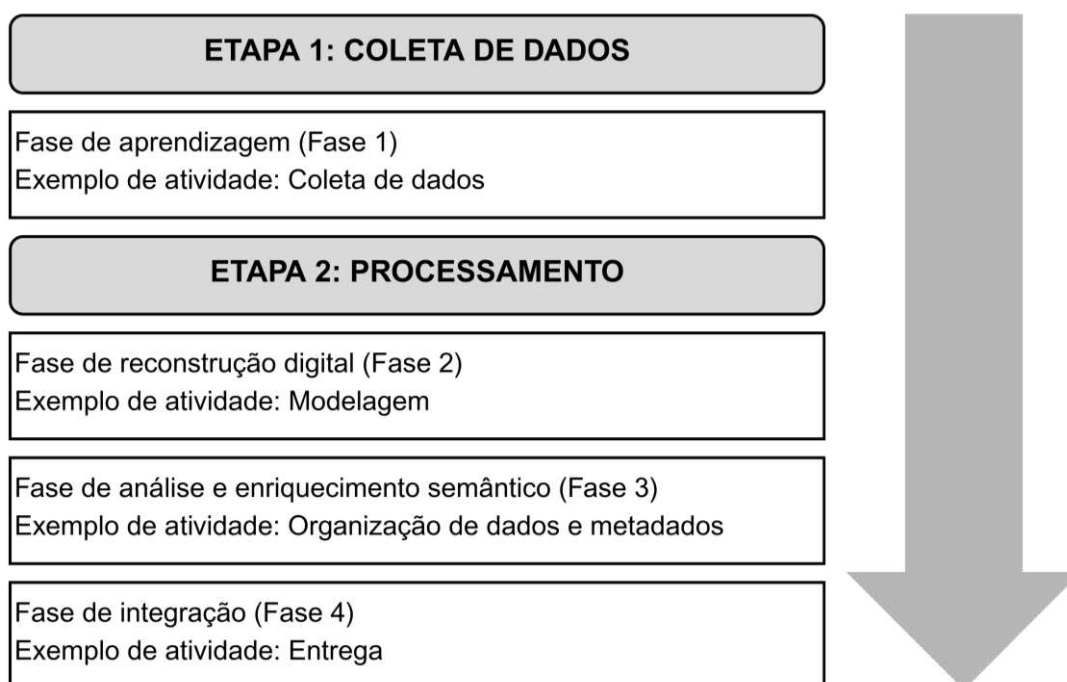
*Buildings and Monuments Commission for England (Historic England)* publicou o “BIM for Heritage: Developing an information model of historic buildings” (S Antonopoulou e P Bryan, 2017), um guia com o objetivo de orientar os usuários na aplicação da metodologia BIM ao patrimônio histórico. Nele, é possível encontrar definições sobre os conceitos de HBIM, o processo de aplicação, como ocorre o gerenciamento das informações, além de apresentar diversos estudos de caso, como museus, escolas, agências de correios, entre outros (García, 2020). Esse guia demonstra como a digitalização do patrimônio histórico pode gerar economia, precisão e melhor gestão do ciclo de vida da edificação. Além disso, fornece diretrizes orientadoras relacionadas a integração de dados do *laser scanner* em modelos 3D, organização das informações, definição do nível de detalhe para HBIM, que até então não havia sido abordado em protocolos anteriores (Jordan-Palomar *et al.*, 2018), e como organizar um *Asset Information Model* (AIM).

A *Building Smart* Espanha, uma organização internacional voltada para a melhoria da interoperabilidade entre aplicativos de *software* (Escudero, 2021), publicou em 2018 o guia intitulado “BIM aplicado ao patrimônio cultural” (García *et al.*, 2018). Esse documento foi essencial para a disseminação da metodologia HBIM na Espanha, abordando temas relacionados à aquisição de dados, modelagem 3D e seus respectivos níveis de desenvolvimento, além de boas práticas com BIM. O guia evidencia os principais objetivos da aplicação do BIM no contexto do patrimônio cultural, apresentando estudos de caso que ilustram a implementação da metodologia, os processos de desenvolvimento adotados e os benefícios alcançados em cada situação. O documento descreve diferentes usos do modelo BIM no âmbito do patrimônio, incluindo: atividades de investigação e diagnóstico, elaboração de propostas de intervenção, suporte à execução de obras, estratégias de conservação preventiva e ações de difusão cultural. Entre as vantagens da adoção do BIM destacam-se a interoperabilidade entre *softwares*, a otimização dos fluxos de trabalho, a maior precisão na obtenção de medidas, bem como o elevado potencial de visualização e comunicação dos resultados.

A fragmentação na padronização de processos, fez com que diversos pesquisadores explorassem nos últimos anos, em diferentes perspectivas, fluxos de trabalho aplicados ao HBIM. Diversas iniciativas de padronização podem ser encontradas na literatura científica, principalmente por conta da complexidade geométrica e das informações semânticas que

podem ser inseridas no modelo (Santana e Groetelaars, 2023). Ali et al. (2018) propuseram um modelo HBIM dividido em duas fases (Figura 8). A primeira etapa foi nomeada “fase de aprendizagem”, responsável por fazer o levantamento de informações, com foco principal nas dimensões de largura, altura e comprimento. A etapa dois, intitulado “processamento”, abrange mais três fases: modelagem, análise e enriquecimento semântico, e entrega do modelo. No entanto, os autores não demonstram a aplicação completa das duas etapas em um estudo de caso. A ausência dessa demonstração prática, acompanhada de evidências visuais, compromete a validação do fluxo metodológico e pode desestimular sua adoção, gerando dúvidas quanto à aplicabilidade e à viabilidade de sucesso do processo proposto.

Figura 8 - Etapas do processo HBIM

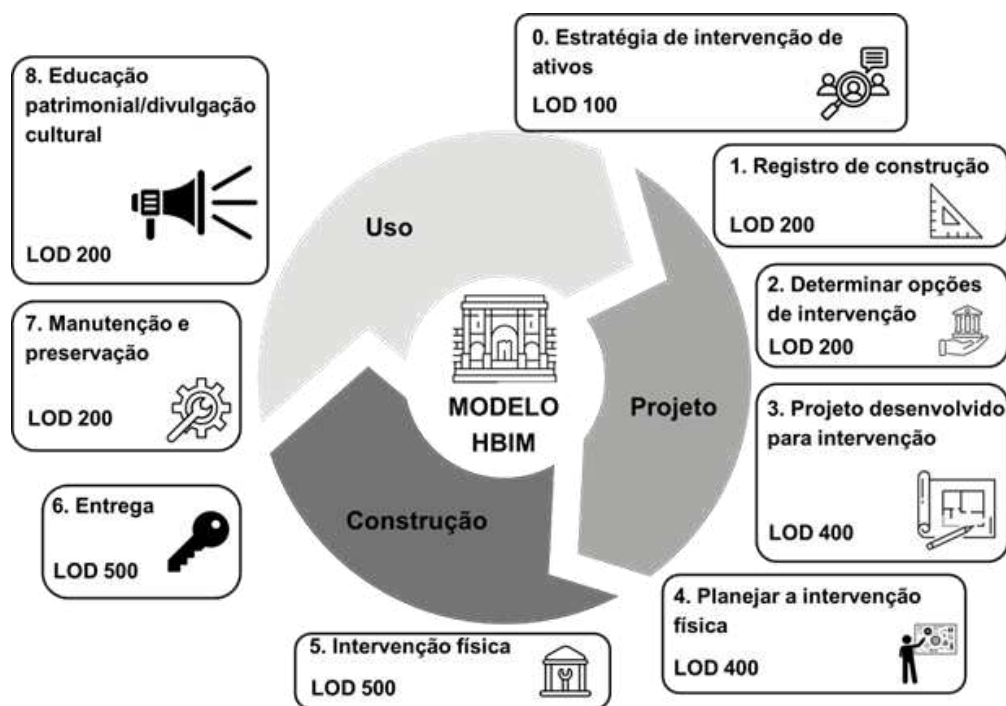


Fonte: Adaptado de ALI et al. (2018)

O protocolo BIMlegacy (Figura 9), desenvolvido por Jordan-Palomar et al. (2018), trouxe uma proposta de implementação da metodologia HBIM em todo o ciclo de vida da edificação, definindo três camadas de desenvolvimento e oito fases cronológicas que abordam desde o registro do edifício até sua conservação e divulgação. O protocolo foi concebido com o propósito de ser simples e intuitivo, diferentemente dos modelos anteriores, considerados

complexos. Seu desenvolvimento baseou-se na revisão da literatura disponível e em estudos de caso da época. Contudo, os autores não realizaram testes de aplicabilidade, o que constitui uma limitação relevante. A demonstração prática é fundamental como evidência empírica, permitindo observar o fluxo metodológico, identificar suas limitações, avaliar os resultados, bem como verificar o comportamento das plataformas envolvidas.

Figura 9 - Protocolo BIMlegacy



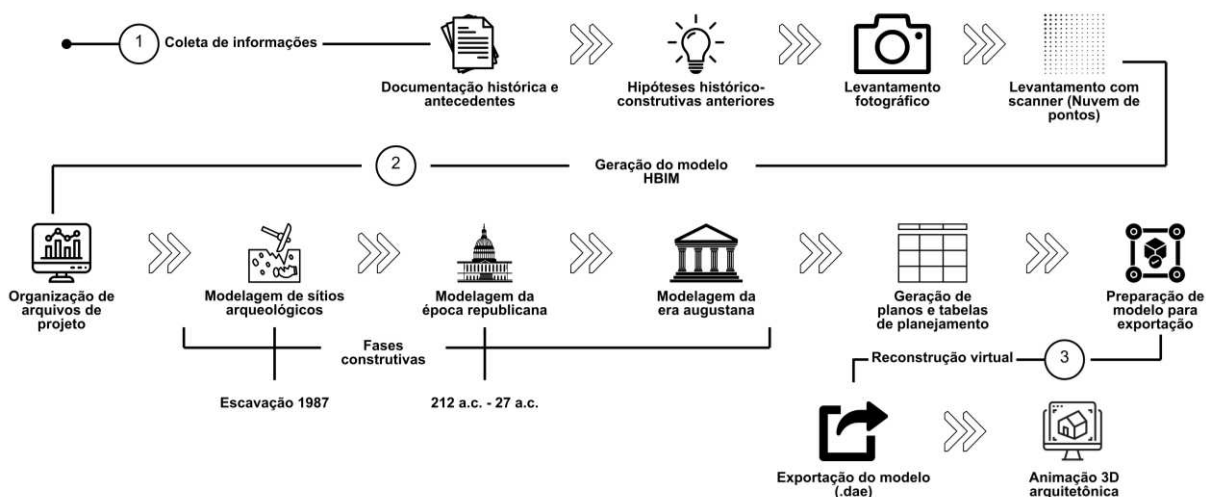
Fonte: Adaptado de Jordan-Palomar et al. (2018)

Jáquez (2019) criou um protocolo HBIM (Figura 10) com ênfase na reconstrução virtual do Foro Romano de Sagunto. O fluxo metodológico proposto foi estruturado em três etapas principais: levantamento das informações, englobando levantamento fotográfico, nuvem de pontos e documentação histórica do estudo de caso; modelagem 3D, abrangendo a elaboração do PEB, a organização do projeto no Revit® por fases construtivas, modelagem topográfica, criação de famílias paramétricas e extração de quantitativos; e criação de material de divulgação, que inclui a renderização e visualização do modelo 3D. Entretanto, o trabalho não contempla a aplicação de nenhuma metodologia para análise da precisão do modelo HBIM final em relação à nuvem de pontos coletada, limitando a avaliação da precisão geométrica do modelo. Certamente, isso pode ter ocorrido devido ao uso inicialmente estipulado para o



modelo, que estava voltado para fins de visualização. Como aspecto positivo, observa-se que a autora demonstra a aplicação prática de cada etapa do protocolo diretamente na edificação estudada, reforçando a credibilidade do processo metodológico proposto.

Figura 10 - Protocolo HBIM proposto por Yira Jáquez



Fonte: Adaptado de Jáquez (2019)

Diante do cenário apresentado, percebe-se uma certa evolução na tentativa de padronização de metodologias relacionadas à aplicação do BIM em edifícios históricos. Cada um desses protocolos trazem um ponto de vista específico aplicado a diferentes tipos de edificações, expondo rotas claras que visam otimizar futuras aplicações. No contexto brasileiro, essa linha ainda é pouco explorada. Até o momento, não existem registros de protocolos que contemplem o processo de forma completa, abrangendo etapas como a elaboração do PEB, a modelagem digital detalhada, a análise da precisão geométrica do modelo HBIM com nuvem de pontos, o enriquecimento semântico, a documentação e a reconstrução digital. É mais comum encontrar abordagens fragmentadas dessas etapas. Essa lacuna evidencia a necessidade de aprofundamento das pesquisas sobre HBIM, uma vez que a ausência de metodologias validadas pode resultar em processos com resultados rasos e dispersos.

## 2.4 Automação da modelagem HBIM

A evolução das técnicas e ferramentas de aquisição de dados 3D, viabiliza a coleta de uma grande quantidade de informações sobre a estrutura. No contexto de edificações existentes, as nuvens de pontos têm sido extensivamente empregadas como a principal fonte primária na criação de um modelo *as-built*, permitindo a reconstrução digital dessas edificações (Bonduel *et al.*, 2017). Entretanto, as nuvens de pontos nem sempre apresentam qualidade ideal, pois costumam ser afetadas por ruídos, *outliers* e dados ausentes (Liu *et al.*, 2025; Sulzer *et al.*, 2025), fatores que podem influenciar diretamente na qualidade final do modelo. Além disso, a geração de um modelo BIM *as-built* não é uma tarefa fácil (Roman *et al.*, 2023). Esse desafio torna-se mais evidente quando se trata de construções existente, especialmente as construções históricas, que devido à sua robustez, o processo torna-se mais exigente.

A criação de um modelo HBIM é tradicionalmente um processo manual, no qual a nuvem de pontos, após ser processada, é importada para um *software* de modelagem BIM, onde a construção do modelo 3D é iniciada (Bonduel *et al.*, 2017). Nesse processo, o operador extrai informações diretamente da nuvem de pontos e as utiliza para realizar a modelagem. Esse processo de engenharia reversa exige um investimento de tempo considerável (Croce *et al.*, 2021), no qual boa parte desse tempo está associado a etapa de modelagem. Além do mais, o processo pode estar sujeito a variações oriundas da interpretação subjetiva do operador (Cotella, 2023), o que pode abrir margem para erros, inconsistências ou variações dos resultados, comprometendo a precisão final do modelo.

No contexto da arquitetura histórica, é comum a presença de elementos característicos da época da construção, como arcos, abóbodas, esculturas, entre outros, o que limita a aplicabilidade tradicional do BIM (Andriasyan *et al.*, 2020). A maior parte dos *softwares* BIM apresentam limitações para reproduzir geometrias complexas devido à falta de flexibilidade das interfaces (Moyano, Carreño, *et al.*, 2022), uma vez que essas ferramentas de modelagem foram desenvolvidas com o foco em projetos de novas construções, e não para edificações existentes. Consequentemente, grandes esforços são e devem ser feitos para permitir que as singularidades geométricas do patrimônio sejam representadas digitalmente (Andriasyan *et al.*, 2020).

Essas limitações ressaltam a necessidade de acelerar o processo BIM *as-built* por meio do uso de técnicas semiautomáticas e automáticas (Tang *et al.*, 2010), além de integrar outros *softwares* que possam contribuir para aumentar a eficiência nos fluxos de modelagem. Isso visa acelerar a etapa de reconstrução com soluções mais rápidas (Croce *et al.*, 2021). Diante disso, a comunidade científica tem buscado otimizar o processo de modelagem por meio de soluções de automação (Antón *et al.*, 2018; Avena *et al.*, 2024) e semiautomação (Roman *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2024). Esses avanços se concentram principalmente no desenvolvimento de algoritmos destinados a construir superfícies e limites de construção a partir de nuvens de pontos, respeitando as regras e processos específicos para a extração de características de diferentes partes dos edifícios e a criação de objetos paramétricos (Antón *et al.*, 2018). Linguagens de programação visual como Dynamo® e Grasshopper® otimizam o processo de modelagem por meio da implementação de rotinas e algoritmos personalizados, contribuindo para a redução de tempo do processo, principalmente em projetos de grande porte (Carmona, 2024). Outras soluções bem recorrentes é o uso de *plugins* para auxiliar na modelagem BIM a partir da nuvem de pontos, bem como a utilização de *softwares* que oferecem ferramentas auxiliaadoras para a criação de formas mais complexas (Lopes *et al.*, 2023).

A criação de famílias parametrizadas, no contexto patrimonial, constitui um desafio significativo, uma vez que muitos desses elementos foram originalmente produzidos de forma artesanal, apresentando características singulares, enquanto outros possuem geometrias de elevada complexidade. Métodos como o emprego de algoritmos para criar essas famílias a partir de dados de aquisição proporcionam maior adaptação e exatidão, subtraindo a exigência de criação manual desses modelos. Entre as principais vantagens associados à adoção de abordagens semiautomáticas ou totalmente automáticas, destaca-se a otimização do tempo de execução. Diversos estudos apontam essa eficiência como um benefício significativo da aplicação dessas metodologias (Antón *et al.*, 2018; Roman *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2024). Estes desenvolvimentos contribuem substancialmente para a propagação do procedimento do *Scan-to-BIM* de maneira assertiva, uma vez que a precisão dos modelos HBIM deve ser garantida.

### 3 INTEGRAÇÃO DO *SCAN-TO-BIM* NO PROTOCOLO HBIM PARA DOCUMENTAÇÃO, GESTÃO E RECONSTRUÇÃO DIGITAL DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS

#### 3.1 Introdução

O patrimônio histórico desempenha um papel crucial na formação da identidade cultural e na preservação da memória coletiva de uma civilização, servindo como um meio fundamental de transmissão de conhecimento às gerações futuras. De acordo com a UNESCO (2024), o patrimônio cultural, assim como o patrimônio natural, compreende bens inestimáveis e insubstituíveis, não apenas para uma nação específica, mas para toda a humanidade. Esse significado está diretamente relacionado à sua contribuição para a identidade cultural de uma sociedade, possibilitando a continuidade e disseminação do conhecimento ao longo do tempo. Nesse contexto, as instituições de ensino desempenham um papel central nesse processo, pois são os principais agentes na disseminação do conhecimento e na promoção da valorização do patrimônio. Consequentemente, a preservação e conservação do patrimônio cultural construído continuam sendo uma preocupação constante para instituições educacionais e governamentais (Godinho *et al.*, 2020; Moyano, Gil-Arizón, *et al.*, 2022; Rubens, Ribeiro, Moreira, *et al.*, 2023). Esse processo de conservação das construções históricas, geralmente lida com a falta de documentação.

A documentação do patrimônio cultural é uma prática fundamental para a preservação de edifícios históricos, particularmente no que diz respeito às atividades de manutenção e restauro, pois fornece informações precisas que suportam essas intervenções (Gonçalves *et al.*, 2021; Vieira, M. *et al.*, 2023). Para garantir sua eficácia, os registros patrimoniais devem ser bem organizados e acessíveis, permitindo consultas rápidas sempre que necessário. Os avanços tecnológicos forneceram ferramentas valiosas que aprimoram a criação ou mesmo a atualização de registros de edifícios históricos. Como resultado desses avanços, a digitalização surgiu como um método fundamental, utilizando técnicas como *laser scanner* e fotogrametria para gerar nuvens de pontos precisas que capturam toda a geometria de uma estrutura. Tais tecnologias revolucionaram a documentação do patrimônio arquitetônico e cultural (Andriasyan *et al.*, 2020; Bastem e Cekmis, 2022).

A modelagem tridimensional através da metodologia BIM representa um mecanismo fundamental para a documentação da construção. Nas últimas décadas, o BIM

ganhou ampla adoção entre pesquisadores, formuladores de políticas e profissionais da indústria da construção, solidificando-se como uma ferramenta essencial no setor de AECO (Idrissi Gartoumi, Zaki e Aboussaleh, 2023; Lidelöw, Engström e Samuelson, 2023). De acordo com a ABNT NBR ISO 19650-1 (2022), o BIM é uma representação digital colaborativa que integra todas as partes interessadas envolvidas em um projeto. Este conceito reforça o entendimento de que o BIM não se limita a um *software* específico, mas constitui uma metodologia de trabalho que permite a criação de um modelo detalhado incorporando informações construtivas, especificações de materiais, custos e outros dados essenciais relacionados ao ciclo de vida do edifício.

O BIM foi inicialmente desenvolvido para atender às demandas de novos edifícios. No entanto, quando aplicada a estruturas históricas, a metodologia BIM apresenta desafios devido à falta de padronização entre os elementos e à presença de geometrias irregulares em muitos casos (Khan *et al.*, 2022). Nesse contexto, a HBIM surge como um ramo específico do BIM, oferecendo uma solução inovadora para preencher a lacuna de documentação de edifícios históricos (Contreras, 2024). O HBIM envolve o registro digital preciso de uma estrutura existente por meio de modelagem paramétrica. O modelo 3D resultante não apenas facilita uma visualização abrangente do edifício, mas também permite a geração de documentação detalhada (Murphy *et al.*, 2017).

A nuvem de pontos, gerada por meio do processo de digitalização, substitui os métodos tradicionais de levantamento arquitetônico e serve como base primária para o processo HBIM. A conversão de dados digitalizados a *laser* em um modelo 3D dentro do ambiente HBIM é conhecida como *Scan-to-BIM*, que é amplamente reconhecida como uma das estratégias mais eficientes para a fase inicial do desenvolvimento do modelo HBIM. Esta abordagem permite a aquisição de informação detalhada e precisa sobre o edifício, garantindo uma maior fidelidade ao patrimônio documentado (León, 2018). Atualmente, a literatura apresenta inúmeros estudos explorando a digitalização de edifícios históricos e a subsequente geração de modelos HBIM por meio do processo *Scan-to-BIM* (Martinelli, Calcerano e Gigliarelli, 2022; Rubens, Ribeiro, Moreira, *et al.*, 2023; Vieira, M. M. *et al.*, 2023). Estas reconstruções digitais não só compensam a falta de documentação histórica como desempenham um papel crucial na divulgação do patrimônio arquitetônico em escala global,

possibilitando a sua divulgação através de representações virtuais, mesmo que de forma intangível (Boeykens, Himpe e Martens, 2012).

O processo de documentação de edifícios históricos por meio da modelagem HBIM provou ser significativamente mais eficaz do que os métodos tradicionais baseados em CAD, pois a aplicação da metodologia BIM reduz substancialmente o tempo necessário para o desenvolvimento do projeto. No entanto, a aplicação dessa metodologia em projetos de arquitetura histórica enfrenta desafios, principalmente no que diz respeito à ausência de diretrizes bem definidas, fragmentação de dados e uso de ferramentas desatualizadas (Jordan-Palomar *et al.*, 2018). O desenvolvimento de um modelo HBIM requer a adoção de diretrizes claras e estruturadas para garantir que os objetivos da metodologia sejam adequadamente alcançados. Nesse contexto, a implementação de protocolos é essencial, pois estabelece uma sequência lógica e estruturada de ações, possibilitando a replicabilidade de estudos de caso e a padronização de aplicações semelhantes (Robles, 2018). A ausência de protocolos pode comprometer a eficiência do processo, levando a fluxos de trabalho desorganizados e modelos inconsistentes. Assim, definir diretrizes específicas para a modelagem HBIM é crucial para garantir a precisão e a qualidade do produto final (Bastem e Cekmis, 2022).

Além da documentação, o modelo HBIM também pode ser aplicado à divulgação do ativo histórico. A disseminação do patrimônio serve ao propósito de criar uma conexão emocional e intelectual entre o público e o patrimônio construído (Cos-Gayón, 2019). Um modelo HBIM com o objetivo de divulgar o valor cultural do patrimônio foi desenvolvido (Agustín e Quintilla, 2019; Canuto e Salgado, 2020; Tini *et al.*, 2024; Vizioli *et al.*, 2023). Para isso, o uso de estratégias adequadas é essencial para evocar sentimentos e fomentar reflexões sobre o valor desse patrimônio. Nesse contexto, a comunicação visual por meio da renderização se mostra um recurso valioso para fortalecer essa conexão, pois pode transformar elementos digitais em representações visuais com aparência mais realista.

O conceito de renderização refere-se à criação de imagens geradas por computador que reproduzem, com alto grau de realismo, a aparência de capturas do mundo real, como as obtidas por uma câmera fotográfica ou pela visão humana (Schneider, 2013). Por meio do processamento digital, é possível atribuir cores, texturas, profundidade, iluminação e sombras aos modelos, proporcionando ao observador a sensação de estar diante de algo tangível. Na arquitetura, o resultado desse processo é frequentemente apresentado na forma de imagens

estáticas ou vídeos. *Softwares* como o Lumion® permitem a reconstrução virtual 3D (Kleijn, De, Hond, De e Martinez-Rubi, 2016), pois incorpora mecanismos avançados de renderização e extensas bibliotecas de vegetação e elementos naturais, aumentando assim o realismo do modelo (Martínez-Carricondo *et al.*, 2021).

A divulgação é uma iniciativa fundamental para transmitir e reforçar o valor de qualquer bem cultural (Cos-Gayón, 2019). Assim, no contexto do HBIM, a reconstrução digital de edifícios históricos torna-se um importante canal de comunicação, pois serve como uma espécie de vitrine para o modelo técnico. Além disso, o uso de *softwares* de renderização para criação de imagens realistas, como já observado em alguns estudos (Martínez-Carricondo *et al.*, 2021; Younus, Al-Hinkawi e Lafta, 2023), pode representar uma alternativa para suprir a falta de conteúdo visual. Desta forma, a reconstrução digital abre as portas a um tipo de divulgação do património histórico que antes era desconhecido (Plata *et al.*, 2021).

A necessidade de informações organizadas e de estabelecer um fluxo de trabalho padronizado levou ao desenvolvimento de protocolos de modelagem para a criação de HBIM nos últimos anos. Trabalhos como o de Ali *et al.*, (2018) que estruturou uma metodologia dividida em duas fases: aprendizagem, que envolveu levantamento, processamento, modelagem, análise e entrega do modelo; o de Jordan-Palomar *et al.*, (2018) que desenvolveu a metodologia BIMlegacy englobando a documentação, conservação e divulgação da construção; o de Jáquez (2019) que desenvolveu um protocolo para a reconstrução virtual do Fórum Romano de Sagunto, composto por três etapas: levantamento, modelagem 3D e disseminação; o de Brusaporci, Maiezza e Tata (2018) que aplicou o HBIM no Palácio Camponeschi, enfatizando a modelagem de geometrias irregulares; e o de Martinelli, Calcerano e Gigliarelli (2022) que trouxe um fluxo de trabalho aplicado à gestão e manutenção, demonstrando seu uso no Museu Arqueológico Nacional de Nápoles. Cada um desses estudos destaca a diversidade de metodologias aplicadas ao HBIM, ressaltando a importância de definir fluxos de trabalho estruturados para a documentação e modelagem de edifícios históricos.

Este capítulo tem como objetivo apresentar um protocolo HBIM para apoiar o processo de modelagem de edifícios históricos. Os protocolos existentes relatados na literatura destacam as aplicações HBIM focadas em processos de documentação digital, estratégias de modelagem ou adaptações de fluxos de trabalho BIM concebidos principalmente para novas construções (S Antonopoulou e P Bryan, 2017). Em contraste, o protocolo HBIM proposto

avança o estado da arte estruturando o fluxo de trabalho em cinco estágios integrados: PEB, modelagem digital, precisão geométrica, enriquecimento semântico, documentação e reconstrução digital. Suas principais contribuições residem na inclusão explícita de quantificação de materiais, estimativa de custos e geração de resultados de disseminação, unindo assim a modelagem técnica com a gestão cultural e as necessidades práticas de conservação.

## **3.2 Metodologia**

### **3.2.1 Estudo de Caso: Sobrado Dr. José Lourenço**

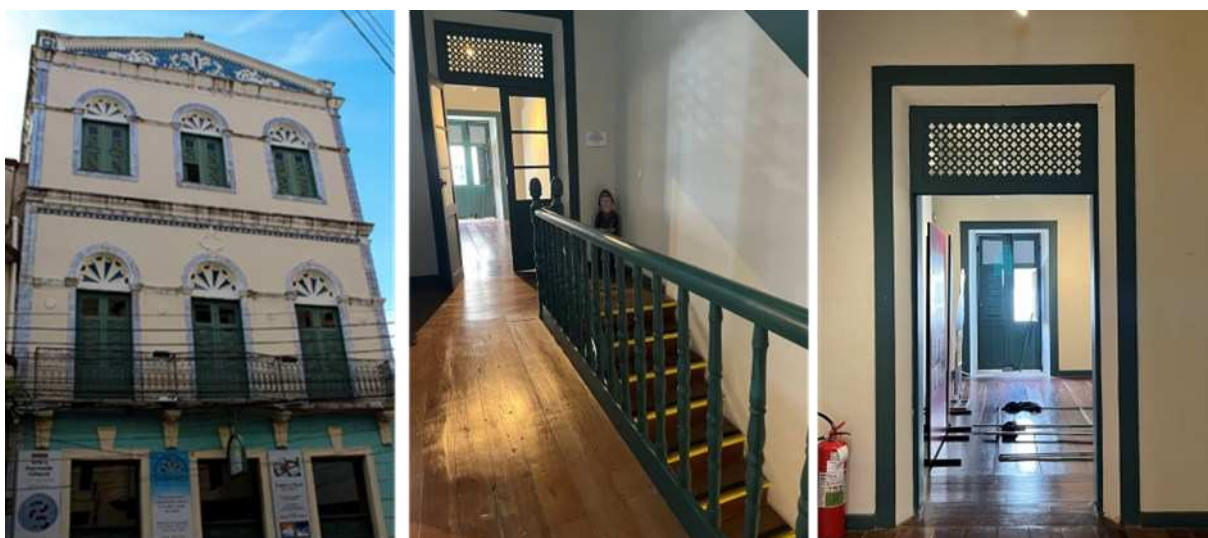
O Sobrado Dr. José Lourenço destaca-se como o primeiro edifício de três andares do Estado do Ceará, construído entre 1845 e 1854. A função primordial da construção era atender a residência e o escritório sanitário, considerado o primeiro físico do Ceará. A partir de 1875, o Sobrado assumiu outros usos, incluindo a sede do Tribunal de Justiça do Ceará, depois a Prefeitura de Fortaleza por um curto período. Em 2004, o prédio histórico foi tombado pelo estado do Ceará e pela Secretaria de Cultura do Ceará (SECULT), conforme a lei nº 9.109 de 30 de julho de 1968. Os critérios de avaliação incluíram relevância histórica, significado arquitetônico do edifício, a raridade de seu estilo arquitetônico dentro da cidade e sua necessidade de conservação.

A arquitetura do espaço destaca-se pelo seu aspecto luxuoso, decorado com florões, azulejos e rosáceas, com traços neoclássicos, as fachadas laterais têm janelas com vista para os telhados vizinhos e cornijas com frisos de azulejos, solução incomum para a tipologia de uma casa geminada próxima aos limites do terreno. A influência da arquitetura moderna da metade do século XIX manifesta-se na própria configuração da habitação geminada. Destacam-se a utilização de elementos como platibandas, lintéis em arco pleno, acabamentos decorativos em madeira, guarda-corpos em ferro aplicados em varandas e vãos, além da incorporação do vidro como recurso arquitetônico. As intervenções promovidas pela gestão municipal, no sentido de aprimorar as condições de higiene das residências, conferiram às moradias um aspeto mais leve, aberto, luminoso e elegante. O aumento do número e da dimensão das aberturas nas fachadas, ao reduzir a proporção dos panos murários, marcou uma mudança significativa na configuração das construções a partir da segunda metade do século XIX.



A área útil da moradia é de 591,73 m<sup>2</sup> e a área total é de 793,58 m<sup>2</sup>. A Figura 11 apresenta detalhes dos elementos arquitetônicos da casa geminada, como fachada principal, escada e corrimão de ferro. A fachada principal da construção traz o estilo neoclássico brasileiro com detalhes arquitetônicos como: o canto da fachada com frontão triangular, janelas salientes no segundo pavimento e janelas baixas no terceiro pavimento, todas dispostas em prumos e rematadas por lintéis horizontais envolvidos em arco pleno; as aberturas das janelas são delineadas em azulejos portugueses azuis e brancos empilhados; os caixilhos das janelas se beneficiam de persianas, com almofadas de vidro na parte superior e almofadas de madeira na parte inferior; o rés-do-chão com três portas, abertas sobre uma parede tratada com eletrodomésticos de imitação de pedra.

Figura 11 – Elementos arquitetônicos do Sobrado Dr. José Lourenço



Fonte: Elaborado pelo autor.

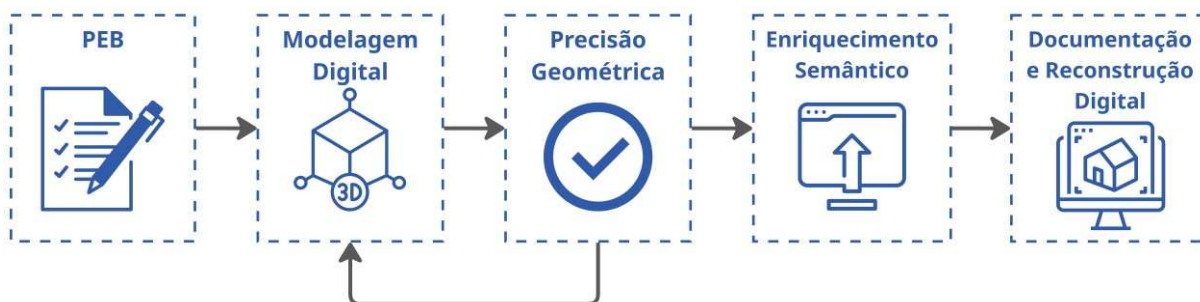
No térreo, há uma escada que permite o acesso aos demais pavimentos, com uma largura significativa para os padrões da época. O segundo andar é composto basicamente por três grandes compartimentos, sendo que um deles está voltado para a rua e possui varanda e grade de ferro. O terceiro andar se sobrepõe aos compartimentos do segundo andar, diferindo apenas pelas janelas baixas. Em 31 de dezembro de 2007, o sobrado foi reinaugurado oficialmente, tornando-se um espaço de divulgação das Artes Visuais do Estado, oferecendo programas compostos por exposições, cursos, oficinas, palestras, pesquisas e outras ações de promoção da arte cearense.

### 3.2.2 Protocolo HBIM

Como evolução dos estudos anteriores desenvolvidos dentro do projeto “Inovação e Tecnologia para o Patrimônio Cultural do Ceará” (Ribeiro *et al.*, 2024; Rubens, Ribeiro, Moreira, *et al.*, 2023; Vieira, M. *et al.*, 2023; Vieira, M. M. *et al.*, 2023), foi desenvolvido e validado um protocolo HBIM focado na documentação digital e no apoio à gestão através da aplicação no Sobrado Dr. José Lourenço. O desenvolvimento do protocolo HBIM compreende o *benchmark* sobre a metodologia HBIM, incluindo padronização metodológica e garantindo a reprodutibilidade consistente do processo. As experiências práticas derivadas dos estudos preliminares dos autores foram fundamentais para a concepção do presente protocolo HBIM, fornecendo informações sobre materiais, construção e aspectos fundamentais para o enriquecimento semântico, bem como um levantamento digital baseado em nuvens de pontos a partir de varredura a *laser* e fotogrametria. Assim, cada estágio do protocolo HBIM foi mapeado e estruturado com base no conceito de modelagem BPMN (Business Process Model and Notation) e adotando uma lógica de fluxo de trabalho (INOJOSA *et al.*, 2024).

O protocolo HBIM engloba as etapas de definição do PEB (ABNT NBR ISO 19650-1, 2022; ABNT NBR ISO 19650-2, 2022), que foi desenvolvido seguindo os requisitos definidos neste documento. Essas etapas incluem modelagem digital, precisão geométrica, enriquecimento semântico com base em relatórios documentais, seguido de documentação e reconstrução digital. O fluxo de trabalho do protocolo HBIM (Figura 12) apresenta cinco etapas que facilitam a aplicação da metodologia a outros edifícios históricos para gerar documentação precisa para apoiar a gestão.

Figura 12 - Proposta de protocolo HBIM para gerenciamento, documentação e reconstrução digital



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a concepção do protocolo HBIM, foram realizadas todas as etapas delineadas pela Figura 13, incluindo a definição do BEP, desenvolvimento do HBIM, validação da precisão geométrica, enriquecimento semântico, documentação e reconstrução digital aplicada à nuvem de pontos existente do Sobrado Dr. José Lourenço, coletada através dos trabalhos de digitalização do projeto “Inovação e Tecnologia para o Patrimônio Cultural do Ceará”. Cada uma dessas etapas será apresentada em detalhes nas subseções a seguir.

### 3.2.2.1 Definição do PEB

A primeira etapa do protocolo HBIM é a definição de um PEB. As principais estratégias, processos, recursos, técnicas e requisitos aplicados para garantir a realização do modelo HBIM devem ser previamente definidos de acordo com as necessidades de uso do modelo. O PEB deve ser estabelecido antes de iniciar as próximas etapas da modelagem digital (Saiz, Oliver-Faubel e Palomar, 2021), caso contrário, algumas particularidades do uso podem não ser cobertas pelo modelo HBIM final. Na ausência de padrões HBIM específicos, o uso de regulamentos BIM é uma fase essencial para garantir a consistência e o controle de qualidade das informações (S Antonopoulou e P Bryan, 2017). Assim, o BEP foi desenvolvido com base na norma brasileira ABNT NBR ISO 19650-2, (2022) e adaptado às especificidades do processo de modelagem HBIM. No caso de um ativo histórico, a tarefa é desenvolver um AIM (*Asset Information Model* ou Modelo de Informação de Ativos) no âmbito do HBIM. Em termos práticos, o PEB incorpora a identificação do objeto (informação construtiva e instituição gestora); os Requisitos de Informação da Organização (OIR), que engloba os objetivos estratégicos; os Requisitos de Informação de Ativos (AIR), tais como: usos pretendidos de HBIM, critérios de Nível de Informação Necessária (LOIN), cronograma de modelagem, equipe HBIM, ferramentas, convenções de nomenclatura e especificações de modelagem; e Requisitos de Troca de Informações (EIR) que contempla o repositório e troca de dados, frequência de atualização de arquivos e comunicação. Embora o termo “modelo HBIM” possa ser redundante, sua adoção se alinha com a tendência da literatura do campo, referindo-se ao modelo digital desenvolvido sob a metodologia de modelagem de informações de edifícios históricos.

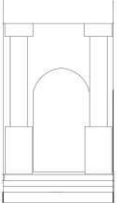
O LOIN baseado na BS EN ISO 7817-1 (2024) fornece uma estrutura para as informações necessárias em termos de informações geométricas, alfanuméricas e

documentação para BIM. Neste trabalho, um critério para LOD (*Level of Detail*) e LOI (*Level of Information*) foi adotado com base no Caderno Técnico de Especificações de Escopo de Projetos BIM de Edificações de Belo Horizonte (SEINFRA/MG e DER-MG, 2024), no qual:

- a) LOD1: modelo bidimensional com representação por meio de símbolos ou ilustrações dimensionais genéricas;
- b) LOD2: geometria genérica com dimensões não específicas;
- c) LOD3: inclui o detalhamento da geometria com dimensões específicas, como altura, largura e comprimento;
- d) LOD4: geometria com dimensões específicas e detalhes de elementos que estão relacionados a outros aspectos da mesma disciplina ou de diferentes disciplinas;
- e) LOI1 inclui informações para a identificação e localização do objeto;
- f) LOI2: informações que apresentam a identificação do objeto, a localização do objeto e a geometria básica;
- g) LOI3: informações que apresentam identificação de objetos, localização de objetos e geometria definida para extração de quantidades;
- h) LOI4: informações necessárias para planejamento, operação e manutenção.

O critério estabelecido de LOD e LOI pode evoluir independentemente, e um elemento pode ter um alto nível de detalhes geométricos, mas um nível relativamente baixo de informação (Figura 13).

Figura 13 - LOIN para um modelo HBIM para apoio à gestão, documentação e reconstrução digital.

| NÍVEL DE INFORMAÇÃO NECESSÁRIA (LOIN): PORTA |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |      |                                                                                     |      |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|
| NÍVEL DE DETALHE                             | LOD1                                                                              | LOD2                                                                              | LOD3                                                                               |      | LOD4                                                                                |      |
|                                              |  |  |  |      |  |      |
| NÍVEL DE INFORMAÇÃO                          | INFORMAÇÃO                                                                        | TIPO DA INFORMAÇÃO                                                                | LOI1                                                                               | LOI2 | LOI3                                                                                | LOI4 |
|                                              | IDENTIFICAÇÃO                                                                     |                                                                                   |                                                                                    |      |                                                                                     |      |
|                                              | Código/ID                                                                         | Alfanumérica                                                                      | X                                                                                  | X    | X                                                                                   | X    |
|                                              | Localização                                                                       | Alfanumérica                                                                      |                                                                                    |      |                                                                                     |      |
|                                              | ANÁLISE E SIMULAÇÃO                                                               |                                                                                   |                                                                                    |      |                                                                                     |      |
|                                              | Material                                                                          | Alfanumérica                                                                      |                                                                                    |      |                                                                                     |      |
|                                              | Acabamento                                                                        | Alfanumérica                                                                      | -                                                                                  | X    | X                                                                                   | X    |
|                                              | Espessura                                                                         | Alfanumérica                                                                      |                                                                                    |      |                                                                                     |      |
|                                              | ORÇAMENTO                                                                         |                                                                                   |                                                                                    |      |                                                                                     |      |
|                                              | Dimensões                                                                         | Alfanumérica                                                                      | -                                                                                  | -    | X                                                                                   | X    |
|                                              | Custo unitário                                                                    | Alfanumérica                                                                      |                                                                                    |      |                                                                                     |      |
|                                              | PLANEJAMENTO/ OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO                                               |                                                                                   |                                                                                    |      |                                                                                     |      |
|                                              | Fabricante                                                                        | Alfanumérica                                                                      |                                                                                    |      |                                                                                     |      |
|                                              | Periodicidade de manutenção                                                       | Alfanumérica                                                                      | -                                                                                  | -    | -                                                                                   | X    |
|                                              | Instruções de limpeza                                                             | Alfanumérica/Documental                                                           |                                                                                    |      |                                                                                     |      |

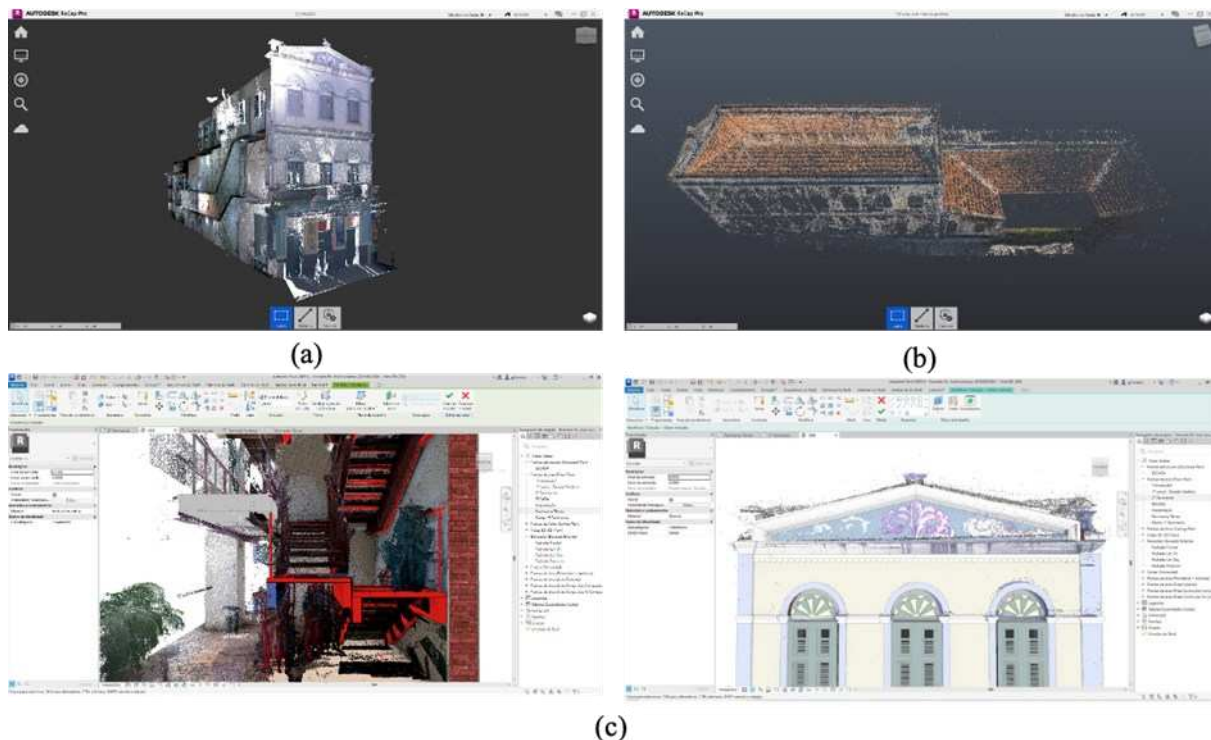
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.2.2 Modelagem Digital

O modelo HBIM foi baseado nas nuvens de pontos 3D existentes a partir de escaneamento a *laser* (Figura 14a) e fotogrametria (Figura 14b) com o uso do *software* Autodesk® Revit®. De acordo com o PEB e os requisitos de informação do ativo, os usos do modelo e o LOIN, foi desenvolvido um modelo 3D da construção histórica.

As nuvens de pontos tridimensionais oriundas das duas técnicas foram importadas para o Revit® individualmente, permitindo a criação dos níveis do edifício como uma etapa inicial. Posteriormente, foi realizada a modelagem dos elementos construtivos primários, incluindo paredes, pisos, forros, coberturas e platibandas. Em seguida, foram modelados elementos construtivos menores, como janelas, portas, escadas, corrimãos, rodapés e acabamentos. Por fim, aspectos específicos da edificação histórica, como elementos ornamentais, foram desenvolvidos por meio da criação de famílias utilizando as ferramentas nativas do *software* Revit®, como extrusão, varredura, revolução e extrusão de vazios. A modelagem utilizou as informações geométricas das nuvens de pontos como apoio para o desenvolvimento do modelo.

Figura 14 - Modelagem HBIM: (a) nuvem de pontos do *laser scanner*, (b) nuvem de pontos da fotogrametria e (c) modelagem da escada e da fachada principal no *software Revit®*



Fonte: Elaborado pelo autor.

O desenvolvimento de famílias com elementos altamente parametrizados, além de complexos, também pode ser demorado. Portanto, é essencial primeiro entender a função da família para determinar como a modelagem deve ser realizada, evitando assim trabalhos desnecessários (Rocha *et al.*, 2020). Com base neste princípio, as famílias incluídas no modelo foram desenvolvidas com um nível de parametrização limitado ao estritamente essencial, para simplificar o fluxo de trabalho. No caso de janelas e portas, por exemplo, a parametrização foi restrita aos materiais e às dimensões principais (altura, largura e espessura das folhas), uma abordagem mais direta e alinhada com a finalidade do modelo. Os detalhes decorativos, por serem específicos e não influenciarem diretamente no uso pretendido do modelo, não foram parametrizados, o que contribuiu para simplificar o processo de modelagem.

Além de janelas e portas, outros elementos foram desenvolvidos como famílias específicas. Alguns deles foram criados usando as ferramentas nativas do *software*, enquanto elementos mais exclusivos foram modelados como famílias no local. Dentre estas, destacam-se as escadas, pois seguiram lógicas de desenvolvimento distintas. A escada frontal, localizada

após a recepção do térreo, é composta por degraus feitos de madeira escura e um corrimão do mesmo material, em tom mais claro, com balaústres torneados. Para sua modelagem, foi adotada uma abordagem de discretização de componentes, permitindo a aplicação de diferentes metodologias. Os degraus, com espelhos e pisos de dimensões uniformes, foram gerados utilizando a ferramenta nativa de escada, enquanto o corrimão, em busca de maior precisão geométrica, foi desenvolvido por meio de modelagem no local, utilizando recursos de extrusão, revolução e varredura. Da mesma forma, detalhes ornamentais presentes na fachada foram criados com essa técnica, garantindo maior liberdade e eficiência no processo de modelagem.

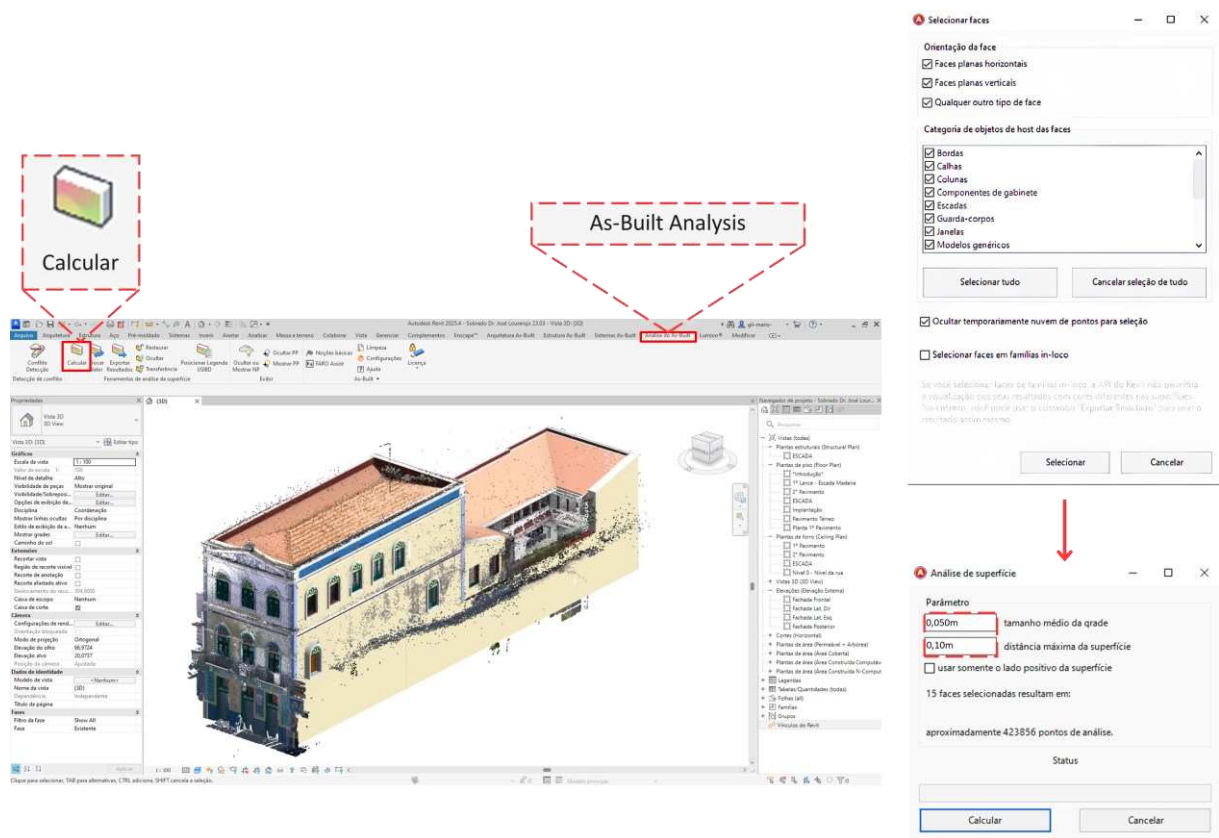
A Figura 14c ilustra a modelagem detalhada da escada metálica, localizada na parte posterior do edifício, para a qual também foi criada uma família no local usando as ferramentas de extrusão e varredura. A Figura 14c também mostra detalhes da modelagem dos elementos da fachada. O contorno do ornamento foi desenvolvido utilizando a ferramenta *spline*, que proporciona maior flexibilidade para modelagem de formas curvas. A complexidade geométrica e a singularidade dos elementos históricos do edifício são desafios da modelagem HBIM (Martinelli, Calcerano e Gigliarelli, 2022) necessitando da modelagem de cada um dos objetos, sem repetição.

### 3.2.2.3 Precisão Geométrica

A verificação da precisão geométrica do modelo HBIM foi realizada comparando as distâncias entre os pontos da superfície do modelo completo e a nuvem de pontos, conforme adotado em estudos anteriores (Antón *et al.*, 2018; Martínez-Carricondo *et al.*, 2020). O plug-in FARO® As Built for Autodesk® Revit® (Figura 15) foi empregado, permitindo o cálculo do desvio entre a superfície modelada e as nuvens de pontos. Após a conclusão da modelagem, a ferramenta de plug-in FARO® foi ativada usando a guia *As-Built Analysis*. Em seguida, as superfícies do modelo a serem analisadas foram selecionadas para a validação da precisão geométrica.



Figura 15 – Análise da precisão do modelo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A definição de um parâmetro de distância máxima da superfície, que estabelece um limite dentro da nuvem de pontos, é considerada no cálculo para a análise. Na literatura científica, não há registro de um valor limite definido estabelecido para a avaliação da precisão dos modelos HBIM em comparação com a nuvem de pontos (Martínez-Carricondo *et al.*, 2021). Para tanto, adotou-se um indicador previamente empregado em outras pesquisas (Martínez-Carricondo *et al.*, 2020, 2021), que apresentou resultados satisfatórios. Foi aplicado um valor de 0,1 m para a distância máxima da superfície no plug-in FARO®. Uma vez definidos os parâmetros, o processo de validação foi realizado, resultando em valores de desvio entre o modelo e as nuvens de pontos. Se o valor do desvio exceder o parâmetro estabelecido, as superfícies do modelo são ajustadas e o processo é repetido até que a validação completa seja alcançada.



#### 3.2.2.4 Enriquecimento Semântico

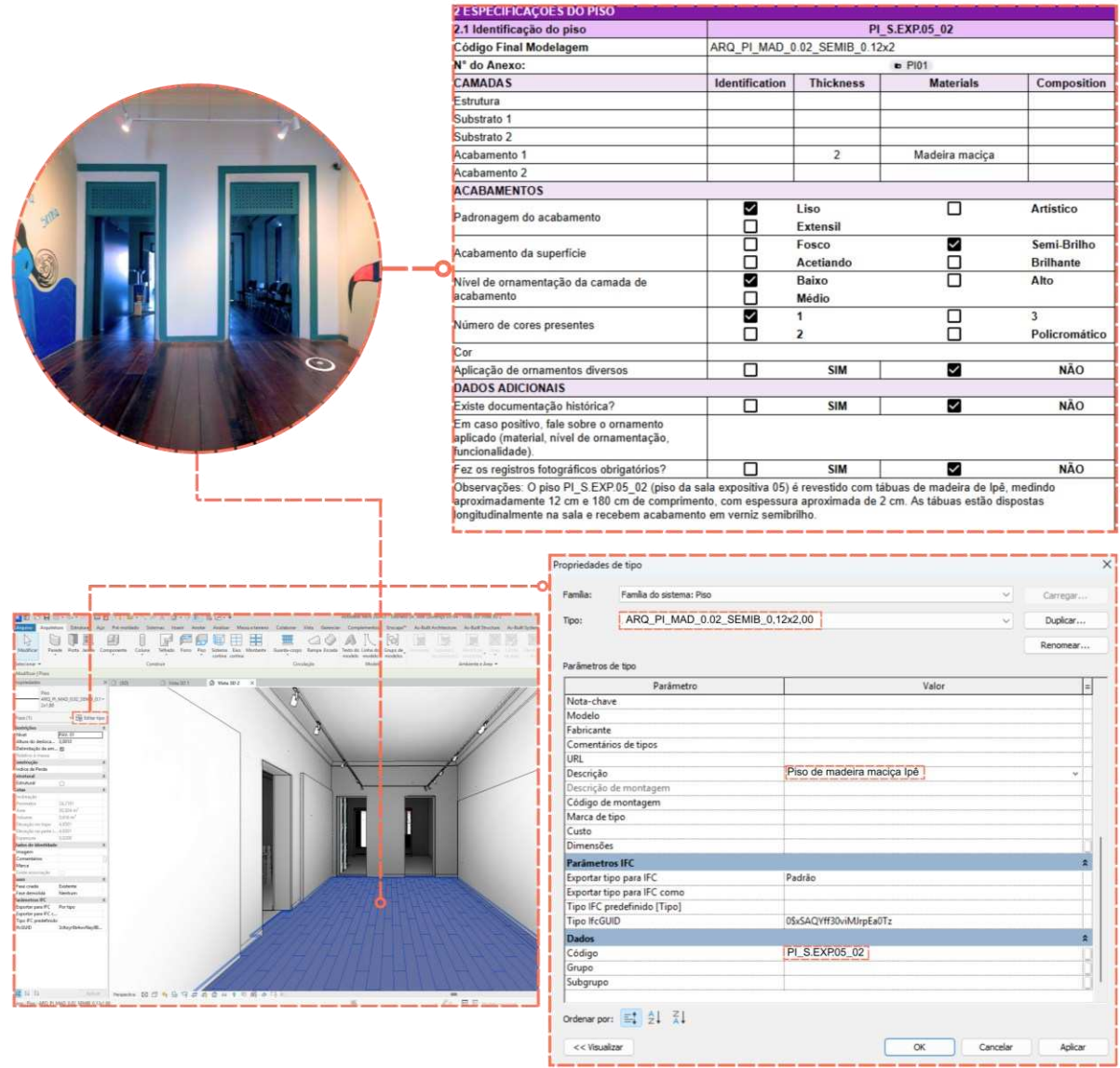
O levantamento documental é uma etapa prévia necessária para o enriquecimento semântico. Informações sobre os materiais e sua disposição, como camadas de pintura e detalhes dos sistemas funcionais (elétricos, hidráulicos, por exemplo), são necessárias para o gerenciamento diário. Indicar claramente o tipo de informação necessária para o modelo digital de acordo com o PEB é obrigatório para um enriquecimento semântico bem-sucedido.

O enriquecimento semântico é o processo de conversão de texto alfanumérico e outras fontes de documentação em dados semânticos ou paramétricos que podem ser integrados ao modelo digital. Isso envolve adicionar informações detalhadas sobre materiais, métodos de construção e sistemas funcionais ao modelo HBIM, garantindo que ele reflita com precisão as características do mundo real e o contexto histórico do edifício. Esses dados enriquecidos apoiam uma melhor gestão, manutenção e conservação do edifício, fornecendo informações abrangentes e atualizadas. A documentação do ativo histórico está em constante evolução devido às medidas de manutenção ou outros tipos de intervenções que devem ser trazidas de volta ao modelo para uma atualização consistente. Para a coleta de detalhes dos materiais de construção, ornamentos de superfície e informações não coletadas por procedimentos de varredura a *laser*, foi adotado o protocolo HBIMPath (Magalhães *et al.*, 2025), que se trata de uma ficha de documentação de dados para a parametrização de modelos HBIM.

A Figura 16 ilustra o processo de enriquecimento semântico aplicado ao piso de madeira da Sala de Exposições 05, localizada no primeiro andar do edifício. Na parte superior, é apresentada uma seção do registro HBIMPath (Magalhães *et al.*, 2025), elaborada a partir do levantamento *in loco*, contendo informações técnicas relacionadas ao elemento, como identificação, composição, acabamentos e observações gerais. Esses dados constituem a base documental a ser integrada ao modelo HBIM. O registro fotográfico, exibido dentro do elemento circular, serve para verificar visualmente as características do elemento descrito no registro, garantindo precisão entre a documentação e a realidade. Considerando que a geometria do piso já havia sido desenvolvida em uma etapa anterior do protocolo proposto, esta fase se concentrou exclusivamente na atribuição de informações semânticas ao elemento. No *software* Revit®, a integração de dados alfanuméricos, documentais e geométricos é realizada por meio da edição das propriedades do objeto. Por meio da “Paleta de Propriedades”, foi possível

atribuir metadados ao piso da sala de exposição 05, como nomenclatura, descrição e código de referência, tudo com base nas informações extraídas do registro do HBIMPath (Magalhães *et al.*, 2025).

Figura 16 - Fluxo de enriquecimento semântico no modelo HBIM aplicado ao piso da sala de exposição 05

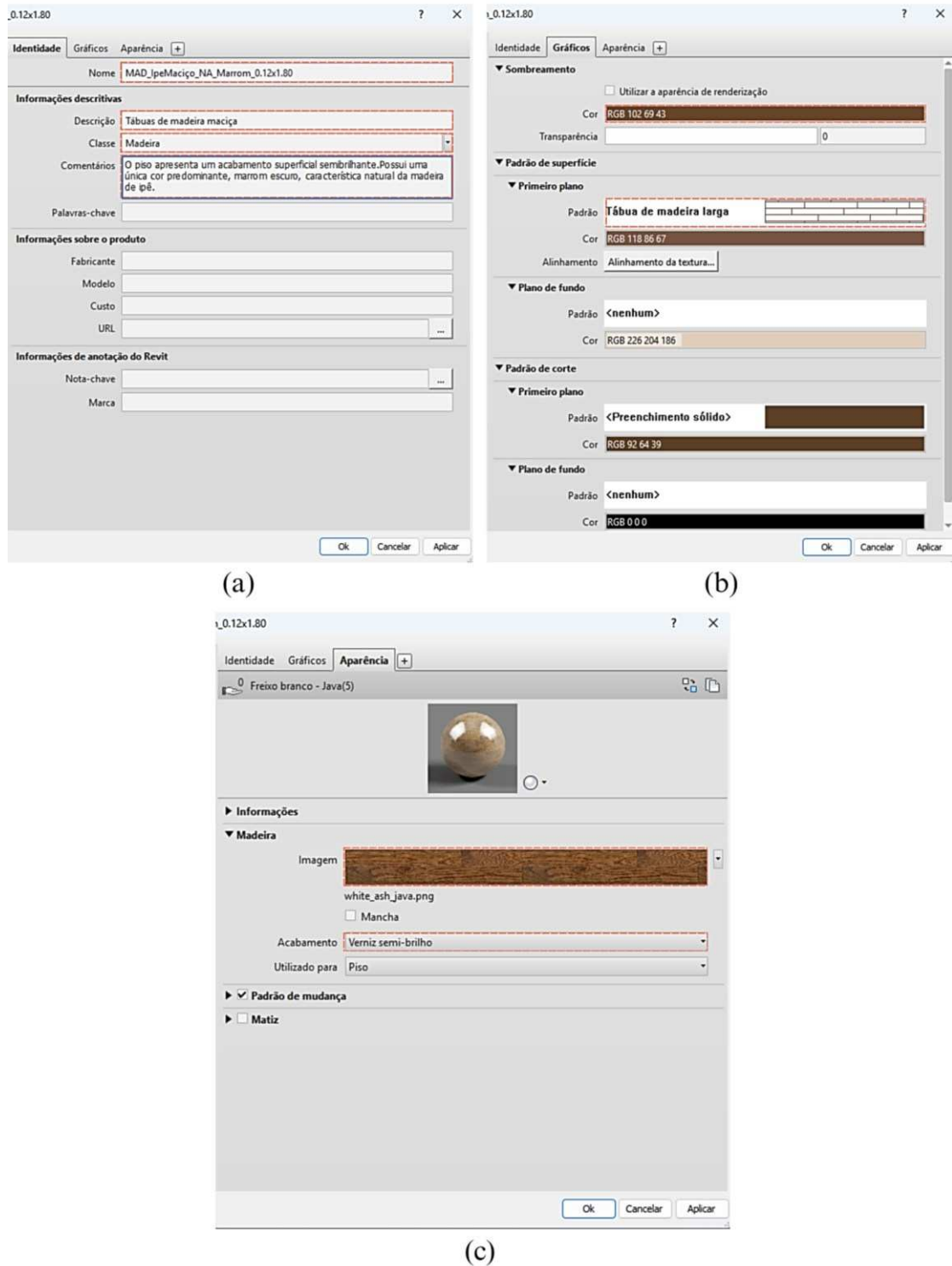


Fonte: Elaborado pelo autor.

O processo de configuração do material (Figura 17) foi realizado em três dimensões: técnica, gráfica e visual. Esses parâmetros foram fundamentados nas informações

descritas na folha de especificações. A Figura 17a apresenta a inserção de metadados de identidade, incluindo nome do material, descrição, classificação e comentários relacionados às características do piso de madeira. A atribuição desses dados alfanuméricos fornece ao elemento um nível de informação que transcende a mera representação geométrica. Na Figura 17b, observa-se a definição dos parâmetros gráficos do material, com a aplicação de cor e padrão de hachura que alinha a representação gráfica com a aparência real do elemento. Por fim, a Figura 17c destaca as configurações de aparência do material, que refinam a visualização do elemento. Neste caso, foi aplicada uma textura de madeira similar ao real, associada a um acabamento em verniz semibrilhante. Esse fluxo de trabalho demonstra que a modelagem HBIM vai além dos limites da geometria, permitindo a integração de informações documentais, técnicas e visuais dentro de um mesmo ambiente digital.

Figura 17 - Configuração de materiais no ambiente BIM: (a) inserção de metadados de identidade, (b) definição de parâmetros gráficos e (c) ajustes de aparência.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.2.5 *Reconstrução digital e Documentação*

A divulgação é uma tarefa essencial para comunicar e valorizar qualquer edifício histórico (Jáquez, 2019). Através da reconstrução digital, o modelo 3D avança para uma nova esfera de comunicação visual, permitindo uma representação mais atrativa. No contexto da preservação, a renderização permite a compressão de detalhes com maior precisão, ao mesmo tempo em que promove uma compreensão mais profunda do sistema construtivo (Miao, 2021). A reconstrução de superfícies, por exemplo, facilita o entendimento de informações acerca das características de materiais que são muito complexos de descrever em formato alfanumérico.

A etapa final do protocolo corresponde à reconstrução digital do modelo e da documentação. Essa etapa foi realizada utilizando o *software* Lumion® (versão 10.3.2). Para isso, o modelo HBIM foi exportado do Revit® por meio do plug-in LiveSync®, que permite a transferência direta do conteúdo para o Lumion® no formato “.dae”. No Lumion®, várias cenas foram criadas e posteriormente aprimoradas com efeitos visuais para uma melhor visualização. Além disso, as camadas foram organizadas de acordo com a lógica do projeto. Por exemplo, elementos de vegetação, iluminação, pessoas e blocos de construção foram inseridos para representar o ambiente circundante. Assim, foram criadas camadas específicas para essas categorias, garantindo uma melhor organização. A aparência visual dos materiais foi ajustada através da aplicação de texturas e da modificação de suas propriedades gráficas. No Lumion®, é possível ajustar manualmente parâmetros como cor, brilho, reflexo, relevo e escala do mapa de textura, garantindo maior precisão na representação do modelo. Esses ajustes foram feitos até que um resultado visualmente satisfatório fosse alcançado.

A documentação de um edifício, além de representar um processo, também pode ser entendida como um produto final composto por um conjunto de documentos resultantes desse processo. Dentre esses documentos, destacam-se os desenhos técnicos, responsáveis por representar com precisão a geometria da edificação (Amorim, 2017). Nesta etapa, o protocolo de modelagem HBIM refere-se à geração de documentação técnica para o edifício histórico. Para isso, inicialmente foram criadas tabelas de quantidade de materiais no arquivo “.rvt”, abrangendo as categorias de paredes, pisos, forros e telhados, além de tabelas específicas para portas e janelas. Posteriormente, foram produzidos desenhos técnicos arquitetônicos, incluindo planta de situação, planta de locação, planta de cobertura, plantas técnicas para todos os

pavimentos, elevações transversais e longitudinais, vistas de fachada e representações isométricas 3D. Por fim, todo o material gráfico foi organizado em pranchas padronizadas. A documentação gerada do modelo seguiu os requisitos estabelecidos no AIR e PEB.

### **3.3 Resultados e discussões**

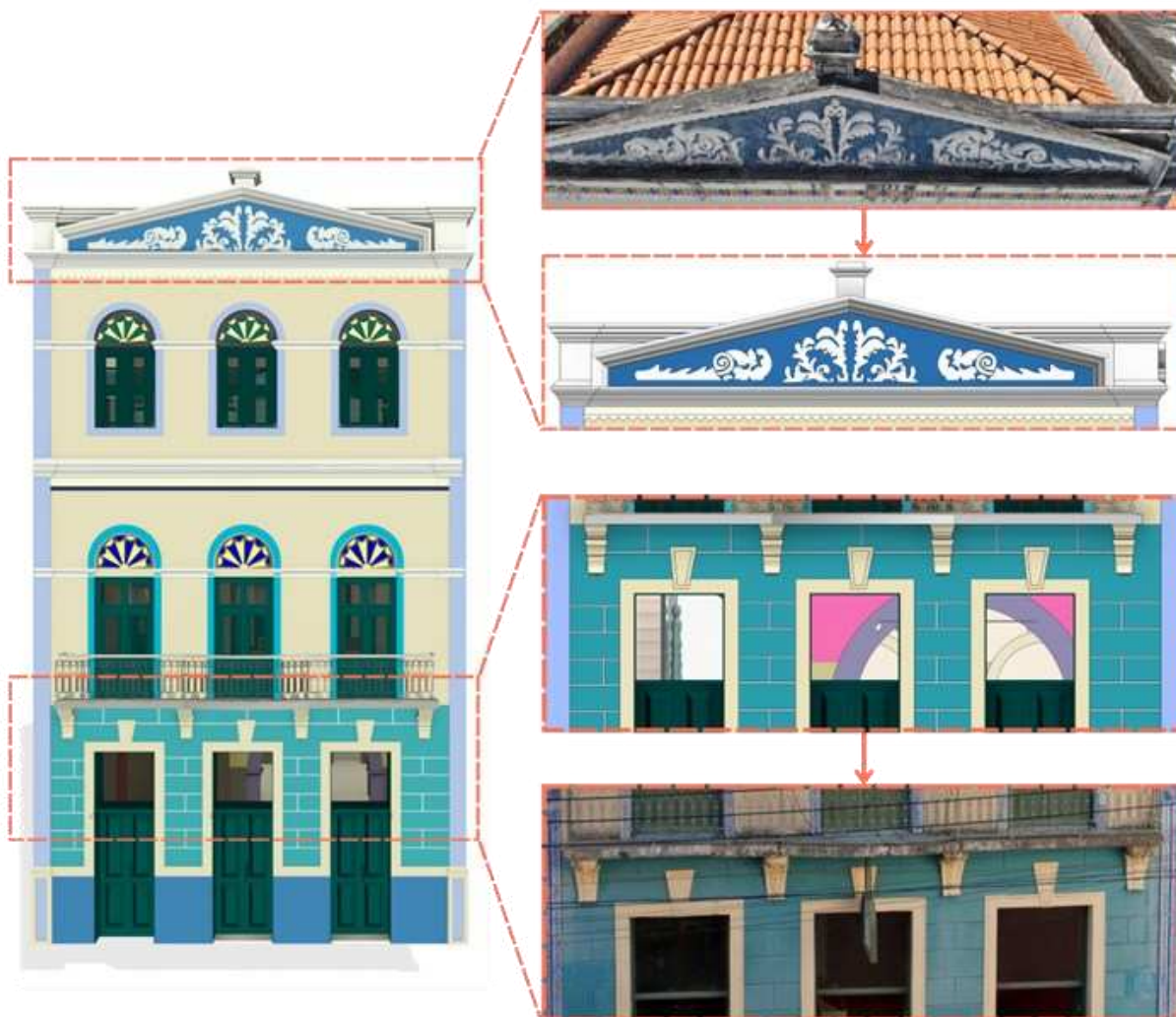
#### **3.3.1 PEB**

Os Requisitos de Informação da Organização (OIR), os Requisitos de Informação do Ativo (AIR) e os Requisitos de Troca de Informações (EIR) foram incluídos no PEB. O PEB serviu como uma estrutura crítica para orientar os profissionais da construção na implementação do BIM, não sendo uma simples formalidade no início de um projeto (Raduan *et al.*, 2025). O documento PEB completo é apresentado no Apêndice A.

O PEB estabelecido determinou, dentro do OIR, os objetivos e usos do modelo HBIM. No caso do Sobrado Dr. José Lourenço, o objetivo principal descrito no OIR foi a criação de um modelo HBIM da própria edificação. Associado a esse objetivo, o AIR definiu os usos pretendidos do modelo como: documentação geométrica, extração de quantitativos, reconstrução digital e disseminação. O AIR também estabeleceu o LOIN para os elementos construtivos que compõem o modelo HBIM. Para paredes, pisos e janelas, foram definidos LOD 3 e LOI 1, enquanto para forros e coberturas foram atribuídos LOD 2 e LOI 1.

A Figura 18 mostra a fachada frontal do Sobrado, destacando o nível de detalhamento adotado no desenvolvimento dos elementos decorativos. Nele, os componentes possuem um LOD que gira em torno de 2. A ornamentação do frontão foi modelada com geometria genérica, sem dimensões precisas, representando simplesmente sua forma original devido à alta complexidade geométrica do elemento. Por outro lado, as janelas do segundo andar e as portas do térreo, emolduradas por arcos, foram modeladas com dimensões específicas. As portas de acesso principais e seus adornos receberam LOD 3, pois sua geometria foi representada com dimensões exatas.

Figura 18 - LOD dos elementos da fachada frontal do Sobrado



Fonte: Elaborado pelo autor.

O AIR também incluiu o cronograma de modelagem, a composição da equipe (coordenador, gerente e modelador), bem como as ferramentas utilizadas: Autodesk Revit® 2024 para modelagem digital, enriquecimento semântico e documentação; Plugin Faro As-Built® para análise de precisão geométrica; Lumion® 10.3.2 para reconstrução digital. Também foram definidos padrões de nomenclatura para arquivos digitais e elementos construtivos para organizar o ambiente de trabalho e permitir a rápida identificação de documentos e componentes do modelo. Por fim, o AIR estabeleceu as especificações de modelagem. No Revit®, o mesmo elemento pode ser desenvolvido de diferentes maneiras, e a

escolha da técnica apropriada está diretamente ligada à finalidade e aos usos pretendidos do modelo. Diante disso, foram definidas diretrizes específicas para a modelagem dos elementos construtivos. O EIR, por sua vez, definiu o repositório para o modelo HBIM, a frequência de atualizações de arquivos e os procedimentos de comunicação. O método BIM apresenta vantagens, enquanto as informações organizadas do PEB evitam a omissão de etapas informativas geralmente resultando em erros, atrasos e aumento de custos em comparação com o processo tradicional (Lucarelli *et al.*, 2019).

### **3.3.2 Modelo HBIM**

A aplicação do Protocolo possibilitou o desenvolvimento do modelo HBIM com foco em toda a estrutura existente do edifício histórico, com ênfase nos elementos construtivos captados na nuvem de pontos. A Figura 19a apresenta uma seção isométrica do edifício modelado, revelando a disposição dos pisos (térreo, mezanino, primeiro pavimento, segundo pavimento e cobertura). A transparência de uma representação esquemática BIM permite uma compreensão abrangente da volumetria e organização espacial do edifício modelado, reafirmando o potencial do HBIM como ferramenta de documentação. As Figuras 19a e 19b mostram detalhes do modelo HBIM e extração de dados quantitativos, respectivamente.



Figura 19 - Detalhe do modelo HBIM: (a) corte perspectivado e (b) tabela de quantitativos de materiais



(a)

| QUADRO DE PISOS - QUANTITATIVO DE MATERIAIS (CONCRETO) |          |                       | QUADRO DE PAREDES - QUANTITATIVO DE MATERIAIS (TIJOLOS) |          |                       |
|--------------------------------------------------------|----------|-----------------------|---------------------------------------------------------|----------|-----------------------|
| FAMÍLIA E TIPO                                         | MATERIAL | ÁREA                  | FAMÍLIA E TIPO                                          | MATERIAL | ÁREA                  |
| PISO: ARQ_PI_LAJE_0.13                                 | CONCRETO | 4,58 m <sup>2</sup>   | PAREDE BÁSICA: ARQ_PA_BC_0.01                           | TIJOLO   | 0,08 m <sup>2</sup>   |
| PISO: ARQ_PI_LAJE_0.18                                 | CONCRETO | 17,25 m <sup>2</sup>  | PAREDE BÁSICA: ARQ_PA_BC_0.02                           | TIJOLO   | 11,71 m <sup>2</sup>  |
| PISO: ARQ_PI_LAJE_0.20                                 | CONCRETO | 200,61 m <sup>2</sup> | PAREDE BÁSICA: ARQ_PA_BC_0.04                           | TIJOLO   | 0,39 m <sup>2</sup>   |
| PISO: ARQ_PI_LAJE_0.22                                 | CONCRETO | 158,89 m <sup>2</sup> | PAREDE BÁSICA: ARQ_PA_BC_0.37                           | TIJOLO   | 115,66 m <sup>2</sup> |
| PISO: ARQ_PI_LAJE_0.28                                 | CONCRETO | 8,96 m <sup>2</sup>   | PAREDE BÁSICA: ARQ_PA_BC_0.46                           | TIJOLO   | 36,52 m <sup>2</sup>  |
| PISO: ARQ_PI_LAJE_0.45                                 | CONCRETO | 136,03 m <sup>2</sup> | PAREDE BÁSICA: ARQ_PA_BC_0.52                           | TIJOLO   | 21,88 m <sup>2</sup>  |
| PISO: ARQ_PI_LAJE_0.55                                 | CONCRETO | 49,43 m <sup>2</sup>  | PAREDE BÁSICA: ARQ_PA_BC_0.65                           | TIJOLO   | 26,22 m <sup>2</sup>  |

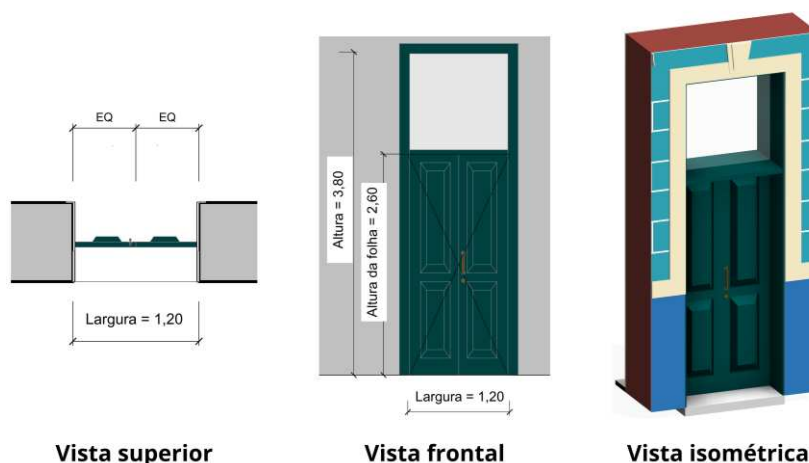
(b)

Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo HBIM do Sobrado Dr. José Lourenço foi desenvolvido no *software* Revit®, contemplando a criação dos principais elementos construtivos e detalhes arquitetônicos específicos do edifício. As paredes foram modeladas com diferentes espessuras (80 cm, 70 cm, 45 cm, 40 cm, entre outras), com base no levantamento de nuvens de pontos. Foram desenvolvidos pisos de madeira, forros de PVC e uma estrutura de telhado composta por terças, ripas, caibros e telhas coloniais. As esquadrias (Figura 20), incluindo portas e janelas de giro de uma e duas folhas, foram parametrizadas em termos de altura, largura e material, permitindo o ajuste e a flexibilidade desses elementos. Componentes complementares, como escadas, sancas, rodapés, painéis de vidro, calhas e rufos, foram criados usando as ferramentas nativas do Revit®. Os corrimãos e a ornamentação da fachada, no entanto, exigiram modelagem

manual no local e foram classificados em suas respectivas categorias. A organização do modelo seguiu o sistema de classificação nativo do Revit®, possibilitando a filtragem e extração de informações de acordo com cada tipo de elemento.

Figura 20 - Detalhe da parametrização dos caixilhos das portas

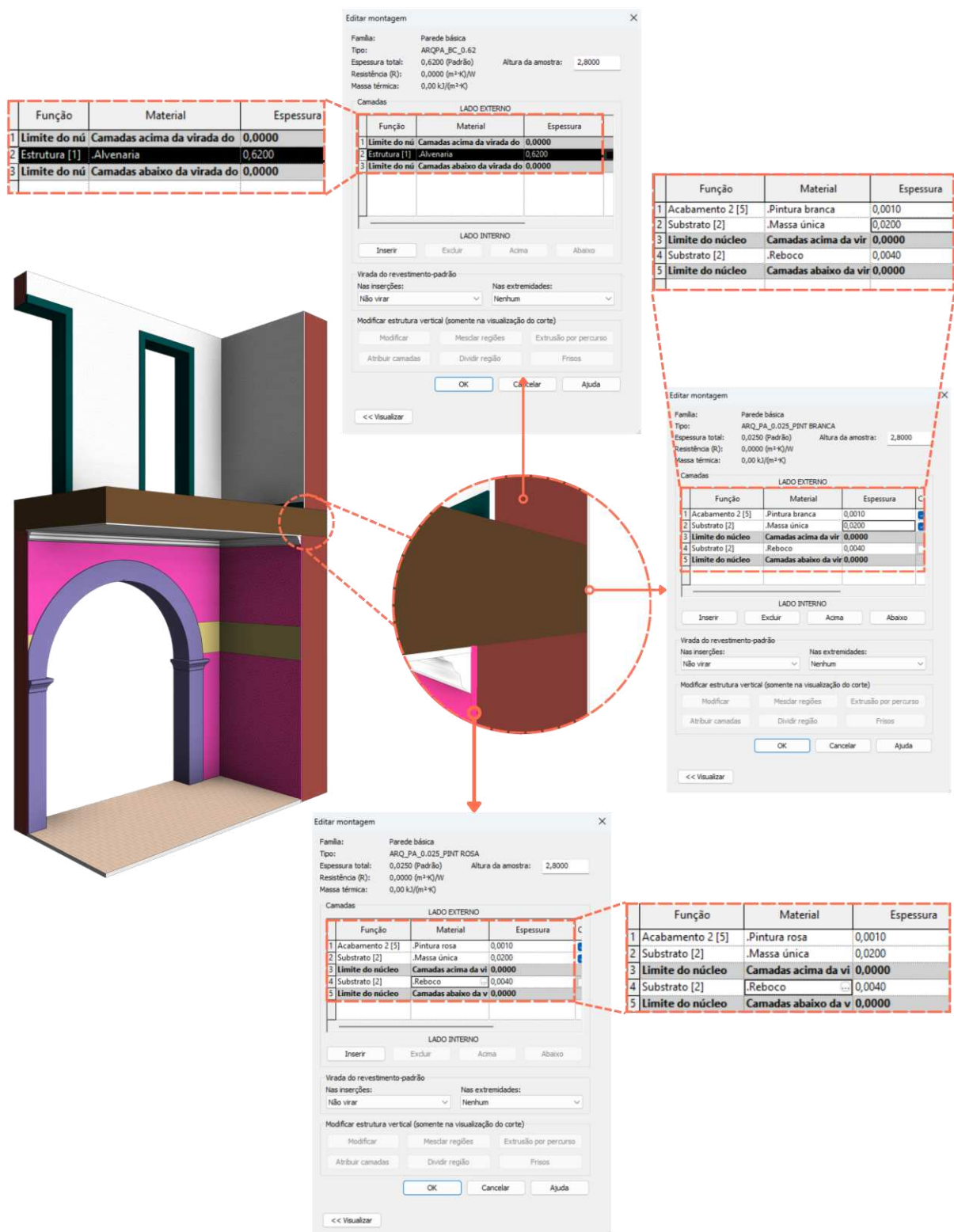


Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 21 apresenta as configurações de informações construtivas das paredes da sala de exposição 1 (térreo) e da sala de exposição 4 (primeiro andar), destacando suas funções, materiais e respectivas espessuras. Através da vista isométrica com um detalhe ampliado, é possível identificar os diferentes tipos de paredes, representadas por uma variação de cores que indicam os materiais utilizados. Nos painéis do editor de materiais, pode-se observar a composição das camadas constituintes de cada parede, com especificações de espessura, material e função.

A camada estrutural das paredes, foi modelada separadamente das camadas de acabamento, corresponde à alvenaria, já que foi adotado o sistema de parede cebola. A parede designada para o acabamento é composta por camadas de reboco, camada única e tinta, associadas respectivamente às funções de substrato (2), substrato (2) e acabamento (5). Esta definição de funções garante que, na junção com os pisos, as camadas são dispostas na ordem correta, garantindo precisão e coerência com o processo construtivo real.

Figura 21 - Configurações de informações incorporadas no modelo HBIM

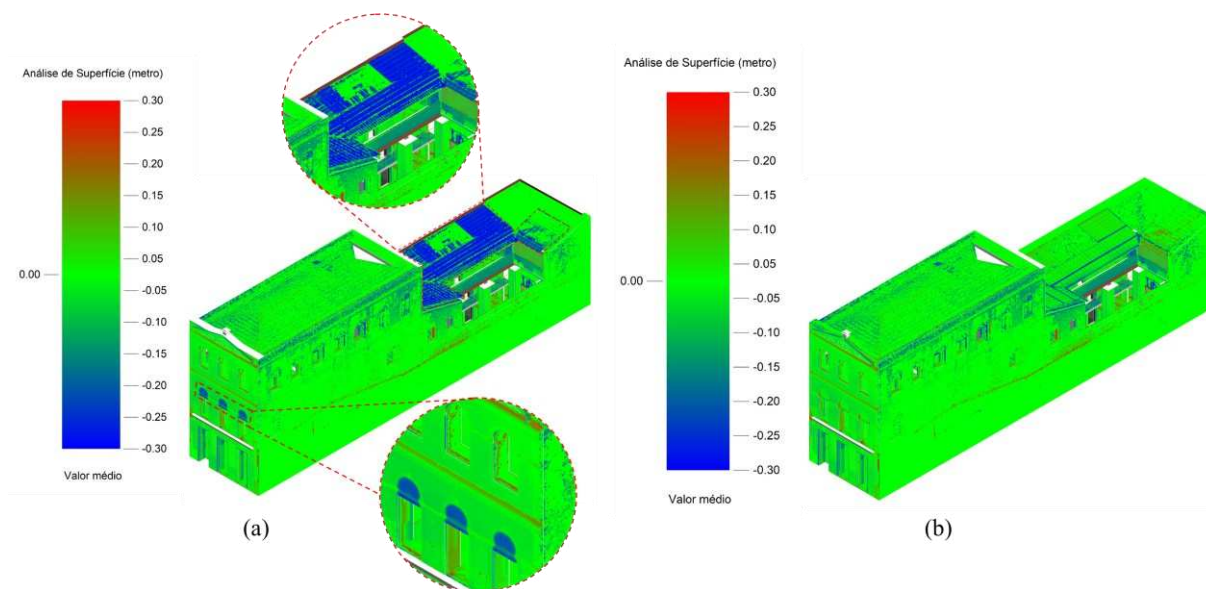


Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.3.3 Precisão geométrica do modelo HBIM

O processo de validação do modelo mostrou ser um método eficiente para obtenção de informações acerca do nível de precisão do modelo HBIM. O uso do plug-in FARO® permite validar um modelo HBIM por meio de visualização gráfica, que mostra as discrepâncias entre o modelo 3D e a nuvem de pontos. Além disso, o plugin permitiu um ajuste fácil e rápido das superfícies do modelo que apresentavam algum nível de desvio em relação às nuvens de pontos. A Figura 22a apresenta os resultados da primeira etapa de validação do modelo, enquanto a Figura 22b apresenta a etapa final do processo. Os resultados da análise realizada usando o plug-in FARO® são representados por um padrão de cores em vermelho, verde e azul. A cor verde indica que o modelo está dentro da faixa de tolerância estabelecida e as cores vermelho e azul sinalizam que o modelo está posicionado acima da nuvem de pontos e abaixo da nuvem de pontos, respectivamente.

Figura 22 – Precisão geométrica do modelo HBIM: (a) verificação inicial e (b) verificação final



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a segunda etapa de validação (Figura 22b), observou-se que a maior parte do modelo apareceu em verde, indicando alta precisão geométrica. De acordo com a escala gráfica, esta faixa verde corresponde a variações de precisão entre  $-0,10$  m e  $+0,10$  m. Pequenas áreas

em azul ou vermelho (com discrepâncias que variam respectivamente de  $-0,20$  m a  $-0,30$  m e  $+0,20$  m a  $+0,30$  m) ainda estão presentes, o que pode estar relacionado a imperfeições geométricas inerentes ao edifício existente. Essas discrepâncias ocorrem porque o Revit® gera elementos construtivos com superfícies planas, enquanto o edifício real apresenta variações e irregularidades típicas dos efeitos do tempo. Outro fator que pode explicar essas divergências é o fato de que às simplificações adotadas na representação geométrica de determinados elementos, particularmente as características ornamentais da fachada, cujas formas complexas foram modeladas manualmente e de forma simplificada, levando a pequenos desvios.

Definir uma tolerância de erro é bastante desafiador, pois depende diretamente das características arquitetônicas do objeto em estudo, da qualidade dos dados de referência empregados e, acima de tudo, da finalidade pretendida do modelo. Assim, é responsabilidade do profissional responsável avaliar se o nível de precisão alcançado é suficiente ou se são necessários mais refinamentos (Adami, Scala e Spezzoni, 2017). Considerando esses aspectos, pode-se concluir que o modelo HBIM do Sobrado Dr. José Lourenço alcançou um nível satisfatório de precisão geométrica alinhado com os usos pretendidos.

#### ***3.3.4 Documentação e Reconstrução digital***

Por meio da aplicação de técnicas de engenharia reversa, foi desenvolvido o modelo HBIM do Sobrado Dr. José Lourenço, possibilitando a criação de documentação técnica abrangente do edifício. A Figura 23 ilustra uma das pranchas desenvolvidas para a documentação técnica da edificação, que inclui seções arquitetônicas e uma representação isométrica 3D. A documentação técnica completa pode ser vista no Apêndice B.

Esta documentação consiste em um conjunto de plantas, seções e elevações que representam com precisão e padronização a configuração arquitetônica da construção. Especificamente, para o Sobrado Dr. José Lourenço, o material produzido incluiu planta de situação, mapa de localização, planta de locação e cobertura, planta baixa técnica de todos os pavimentos (térreo, mezanino, primeiro e segundo andar), fachadas (frontal, lateral e posterior), cortes longitudinais e transversais, bem como representações isométricas 3D. Este conjunto de documentos técnicos proporciona uma leitura atualizada das condições arquitetônicas do edifício histórico, constituindo um suporte significativo para iniciativas de conservação e gestão.

Figura 23 - Documentação técnica do modelo HBIM



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma das principais vantagens da utilização de um *software* de metodologia BIM reside na otimização do tempo alocado à produção de material técnico. Naturalmente, o tempo e o esforço necessários variam de acordo com o nível de detalhe exigido pelo edifício (Rocha *et al.*, 2020). No entanto, quando comparado aos métodos tradicionais (CAD), a diferença é significativa. Isso porque, uma vez desenvolvido o modelo digital, a extração de desenhos técnicos se torna mais eficiente, uma vez que todos os elementos estão interligados. Consequentemente, plantas, cortes, elevações e vistas isométricas são geradas automaticamente a partir do modelo, deixando o projetista responsável apenas pelo refinamento visual e pela inserção de símbolos gráficos. No caso específico da documentação técnica do Sobrado Dr. José Lourenço, o tempo médio de preparo foi de aproximadamente seis horas.

Após a etapa de modelagem geométrica, é possível adicionar materiais, iluminação, fundo e outros elementos que contribuem para obter uma representação mais realista



(Groetelaars, 2015). A renderização de imagens é o recurso mais direto e rápido para entender a aparência atual ou histórica de um edifício. A Figura 24 mostra a reconstrução digital das fachadas desenvolvida com base no modelo HBIM.

Figura 24 - Reconstrução digital da fachada do Sobrado Dr. José Lourenço



Fonte: Elaborado pelo autor.

O contraste de luz e sombra nas texturas pode ser observado, bem como o contexto imediato em que o edifício está situado, incluindo a rua pavimentada, a fiação elétrica em frente ao edifício e as construções vizinhas. Atualmente, o edifício está localizado em uma rua com alto fluxo de pedestres e veículos, o que dificulta a obtenção de imagens fotográficas limpas da fachada. Nesse sentido, a reconstrução digital constitui uma solução eficaz para suprir a escassez de registros fotográficos reais da fachada histórica, evitando interferências visuais como pessoas e veículos. Assim, fica evidente que a integração do processo HBIM com as técnicas de renderização representa uma abordagem eficiente no âmbito da visualização. Imagens com alta qualidade e precisão podem ser usadas para divulgação do valor do bem patrimonial.

A Figura 25 apresenta a reconstrução digital de diferentes espaços dentro da casa geminada, destacando sua funcionalidade e organização espacial, bem como a paleta de cores que caracteriza sua arquitetura. O contraste entre luz e sombra contribui para transmitir a atmosfera interna dos espaços, enquanto a inclusão de figuras humanas nas cenas auxilia na percepção da escala real do edifício. A modelagem digital fornece um nível aprimorado de visualização, indo além da abordagem técnica do modelo HBIM e permitindo que o observador compreenda a verdadeira intensão espacial. Na primeira cena, correspondente às Salas de Exposição 01 e 02, é possível observar os visitantes interagindo com os painéis expostos, o que reforça a identidade cultural do espaço. A segunda cena, referente à Sala de Exposições 06, além da presença dos visitantes, enfatiza elementos artísticos.



Figura 25 - Reconstrução digital do interior do edifício



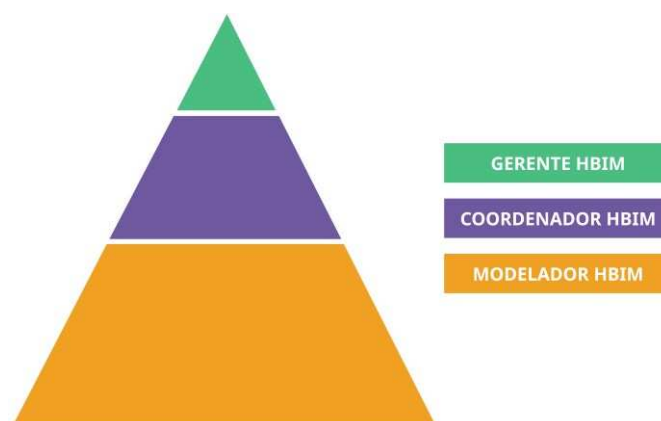
Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, a terceira cena, correspondente ao espaço comum, ressalta características naturais como vegetação e iluminação natural, juntamente com um painel fotográfico composto por retratos históricos. Embora nenhuma representação digital possa substituir totalmente a experiência sensorial do espaço físico, a reconstrução digital mostra-se uma ferramenta eficaz de apreciação e divulgação, permitindo que a atmosfera artística e cultural do edifício seja vivenciada em formato digital.

### 3.3.5 *Protocolo HBIM*

Inicialmente, foi definida uma pirâmide hierárquica (Figura 26), estabelecendo funções e responsabilidades da equipe. O gerente HBIM apresenta como principais tarefas o desenvolvimento e monitoramento do PEB; enquanto o coordenador do HBIM gerencia e garante os requisitos de qualidade do projeto. A equipe de modeladores HBIM é responsável pelo desenvolvimento do modelo digital de acordo com os requisitos AIR e OIR. Cada gerente HBIM (cor verde), coordenador HBIM (cor roxo) e modelador HBIM (cor laranja) é representado no protocolo proposto seguindo as respectivas tarefas. Resultados do mapeamento de todas as etapas do processo, o protocolo foi estruturado em cinco etapas principais: definição do PEB, desenvolvimento do modelo digital, análise de precisão geométrica, enriquecimento semântico e documentação e reconstrução digital.

Figura 26 - Pirâmide de hierarquias



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 27 apresenta uma versão resumida do protocolo HBIM proposto, enquanto a versão completa é apresentado no Apêndice C. A etapa 01 inicia-se com o preenchimento do PEB pelo coordenador HBIM, estruturado em quatro seções principais: Identificação de Objetos, Requisitos de Informações da Organização (OIR), Requisitos de Informação do Ativo (AIR) e Requisitos de Troca de Informações (EIR). Para apoiar essa etapa, são utilizadas as normas técnicas (ABNT NBR 19650 e ISO 7817-1:2024), o caderno de modelagem HBIM desenvolvido para apoiar as atividades do projeto “Inovação e Tecnologia para o Patrimônio Cultural do Ceará” e relatórios de reuniões técnicas. Quando finalizado, o documento é submetido para validação pelo gerente HBIM e, uma vez aprovado, constitui o Marco de Entrega 01, consistindo no PEB nos formatos .pdf e .xlsx.

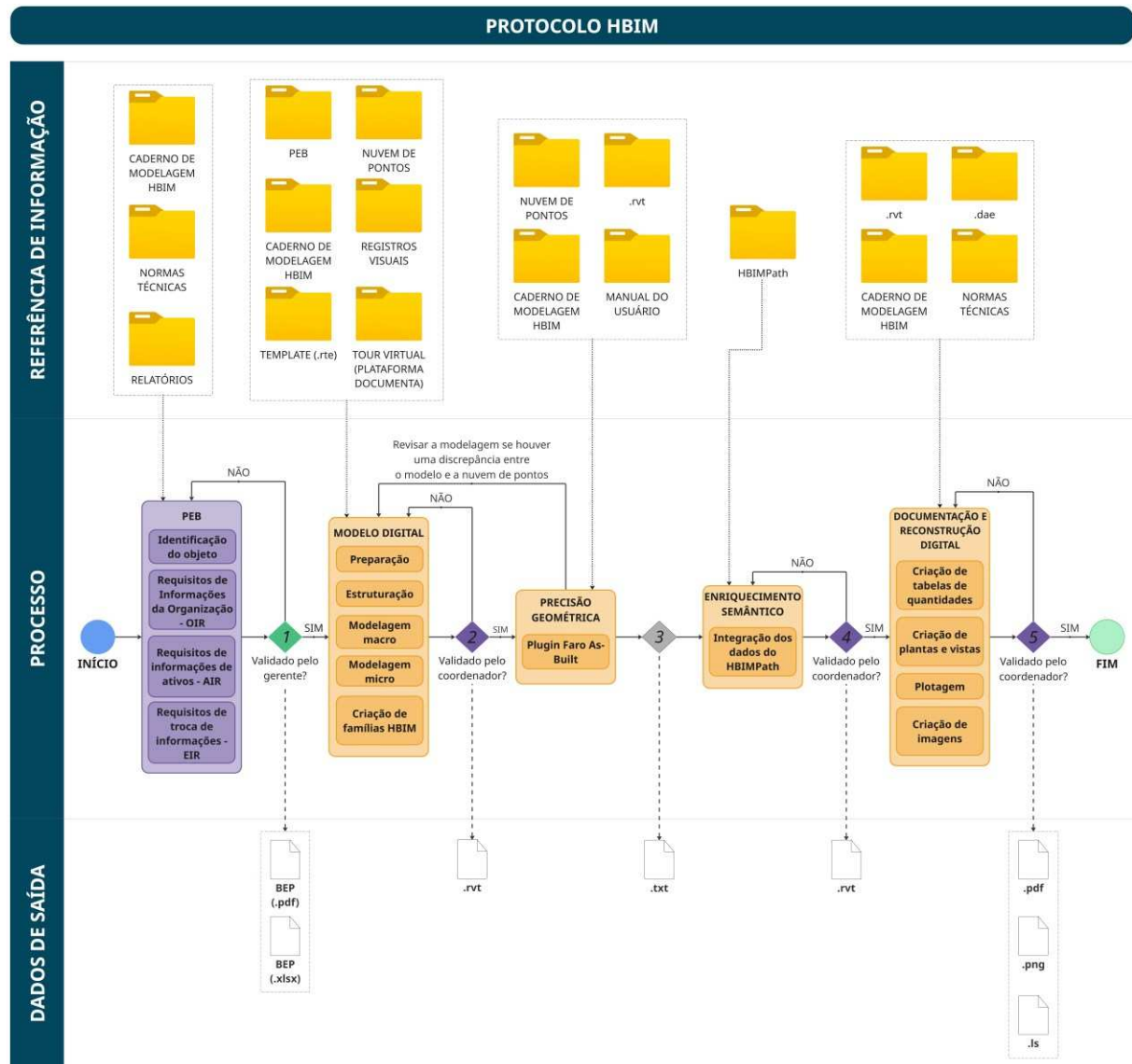
Na etapa 02, o modelador HBIM desenvolve o modelo digital por meio de cinco subprocessos: preparação, estruturação, modelagem macro, modelagem micro e criação da família HBIM. As referências incluem o PEB, o caderno de modelagem HBIM, a nuvem de pontos, além de registros visuais e o *tour* virtual da plataforma documenta. Uma vez validado pelo coordenador HBIM, o modelo final gera o Marco de Entrega 02, representado pelo arquivo no formato .rvt.

A etapa 03 corresponde à verificação da precisão geométrica comparando o modelo digital com a nuvem de pontos, utilizando o *plugin* Faro® As-Built no Revit®. O procedimento é realizado pelo modelador HBIM com base no caderno de modelagem HBIM e no Manual do Usuário do *plugin*. O resultado da análise, arquivado no formato .txt, constitui o Marco de Entrega 03.

Na Etapa 04, o enriquecimento semântico do modelo digital ocorre por meio da integração das informações coletadas no formulário HBIMPath (Magalhães *et al.*, 2025), transformando o modelo geométrico em um repositório de dados geométricos, alfanuméricos e documentais. Esta versão atualizada do modelo, no formato .rvt, é validada pelo coordenador HBIM e representa o Marco de Entrega 04.

Por fim, a etapa 05 aborda a documentação técnica e a reconstrução digital, abrangendo a criação de tabelas de quantitativos, a criação de plantas baixas e vistas em pranchas padronizadas e a renderização de imagens realistas. Após a validação final pelo coordenador do HBIM, o Marco de Entrega 05 é consolidado, composto por arquivos em .pdf, imagens em .png e o arquivo de renderização no formato .ls.

Figura 27 - Fluxograma do protocolo HBIM integrando *scan-to-BIM* para documentação e reconstrução digital.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A proposta de um protocolo HBIM visa organizar de forma lógica e sequencial todas as fases do processo. Cada fase corresponde a um conjunto de ações que englobam a criação de um PEB, desenvolvimento de modelo digital, verificação da precisão geométrica do modelo, enriquecimento semântico, documentação e reconstrução digital. As fases e os marcos de entrega são representados no protocolo. A definição de um PEB no início do processo compreende as principais estratégias e requisitos para o desenvolvimento do HBIM. As etapas a seguir são executadas guiadas pelas instruções do PEB e garantindo o cumprimento dos

requisitos AIR e OIR. Um protocolo geral a ser usado pelas partes interessadas do HBIM que organizam cada fase do processo orientará os profissionais do patrimônio a executar melhor os modelos do HBIM (Jordan-Palomar *et al.*, 2018).

### 3.4 Comentários Finais

O estudo aplicado ao Sobrado Dr. José Lourenço, um bem patrimonial culturalmente significativo, propôs e validou um protocolo HBIM integrando a metodologia *Scan-to-BIM* para a documentação e reconstrução digital. O protocolo foi projetado para enfrentar os desafios específicos da modelagem patrimonial, integrando tecnologias avançadas de levantamento com fluxos de trabalho BIM estruturados para garantir precisão geométrica e riqueza semântica. As principais conclusões tiradas do procedimento, aplicação e validação desta abordagem são descritas abaixo.

O desenvolvimento de um PEB como etapa inicial provou ser essencial para organizar o processo de modelagem HBIM. Com base em nuvens de pontos obtidas por meio de varredura a *laser* e fotogrametria, o PEB definiu efetivamente os requisitos de modelagem, orientou a verificação da precisão geométrica e apoiou a geração de documentação e reconstrução digital. Sua implementação demonstrou alta eficiência na coordenação de tarefas e na garantia de consistência em todo o fluxo de trabalho de modelagem. A utilização do *software* Autodesk Revit® ofereceu vantagens significativas, principalmente devido a sua capacidade de parametrização e integração. As etapas de modelagem estruturadas em preparação, estruturação, modelagem macro, modelagem micro e criação de famílias HBIM, provaram ser altamente eficazes na construção de um modelo HBIM detalhado e preciso. Essa abordagem estruturada facilitou a representação de características arquitetônicas complexas e elementos históricos com precisão. A precisão geométrica surgiu como um requisito crítico para a conservação e gestão dos bens patrimoniais. O processo de validação confirmou a confiabilidade do modelo na captura de dados espaciais precisos, reforçando sua aplicabilidade para planejamento de preservação e análise histórica. O modelo HBIM também demonstrou sua utilidade na produção de documentação precisa e na viabilização da reconstrução digital para divulgação pública e valorização cultural.

Finalmente, o protocolo HBIM desenvolvido neste estudo oferece uma estrutura replicável e escalável para documentação patrimonial. Ao organizar sistematicamente o

processo de modelagem, ele apoia os objetivos mais amplos da conservação do patrimônio, incluindo documentação, gerenciamento e disseminação. A sua aplicação ao Sobrado Dr. José Lourenço indica o seu potencial como ferramenta valiosa no campo do patrimônio digital, abrindo caminho para futuras pesquisas e implementação em contextos históricos semelhantes.

## 4 MELHORIA DA GEOMETRIA E TEXTURA DA REPRESENTAÇÃO DIGITAL DE ARTEFATOS INTEGRANDO NUVENS DE PONTOS, SCRIPT E IA

### 4.1 Introdução

Apesar de grande atenção dedicada à aquisição de dados e modelagem digital de monumentos históricos, as ferramentas tecnológicas para a preservação de artefatos menores têm sido menos priorizadas. Esses artefatos, que podem ser objetos minúsculos ou até mesmo detalhes na fachada, frequentemente apresentam geometrias muito complexas. Para que esses detalhes sejam capturados com o máximo de precisão é necessário utilizar o máximo de resolução, aumentando o tamanho dos arquivos digitais drasticamente.

Nos últimos anos, com a explosão do desenvolvimento de ferramentas digitais, a representação digital tem contribuído para superar essa situação (Bouzas *et al.*, 2022; Bruno, Fino, De e Fatiguso, 2018; Chelaru *et al.*, 2024; José López *et al.*, 2017) e as novas tecnologias oferecem uma oportunidade para abordar a complexidade dos elementos do patrimônio em termos de planejamento de renovação, restauração, conservação, entre outras demandas (Chelaru *et al.*, 2024). Foi proposta uma metodologia integrada (Tucci *et al.*, 2019), baseada no BIM, para as coleções da Galeria da Academia de Florença (Florença, Itália). O objetivo era explorar a relação entre o próprio edifício e a conservação das obras de arte contidas nele. A restauração da Madona do Pietrônico, estátua de terracota, severamente danificada no terremoto de 2009 e fragmentada em muitas partes, foi abordada com a contribuição das tecnologias digitais originando o desenho de procedimentos inovadores para gerenciar o processo de remontagem e restauração (Arbace *et al.*, 2013).

A representação digital, no contexto da preservação do patrimônio, destaca-se como uma ferramenta de grande relevância por possibilitar a documentação precisa da forma original dos elementos históricos. Essa representação serve como referência essencial para consultas técnicas, análises diagnósticas e como base para a tomada de decisão em potenciais processos de intervenção. Além disso, essa visualização desempenha um papel crucial na divulgação do patrimônio cultural, constituindo um passo fundamental na comunicação e valorização de qualquer bem cultural (Jáquez, 2019). A representação digital vai além da mera visualização, resultando potencialmente na criação de um arquivo digital que permite o acesso virtual e a ampla divulgação do patrimônio, pois implica o registro de sua forma. No entanto, quando se

trata de patrimônio cultural histórico, sejam edifícios ou objetos, sua representação digital ainda enfrenta vários desafios. Esses desafios estão em grande parte relacionados às formas irregulares e geometrias complexas que muitos desses ativos possuem (Andriasyan *et al.*, 2020; Rocha *et al.*, 2020), bem como ao fato de alguns estarem em avançado estado de deterioração, o que dificulta sua documentação usando métodos convencionais. Nos últimos anos, tecnologias como varredura a *laser* e fotogrametria ganharam popularidade por serem métodos não invasivos e altamente precisos para capturar tais estruturas (Rocha e Mateus, 2024). No entanto, a etapa de representação por meio da metodologia BIM continua sendo um desafio. Isso ocorre porque a maioria das ferramentas BIM apresenta limitações ao lidar com geometrias complexas, devido à rigidez de suas interfaces (Moyano, Carreño, *et al.*, 2022).

Como alternativa para permitir a representação digital de elementos como famílias HBIM, a automação por meio de *scripts* do Dynamo® baseados em dados de nuvem de pontos tem sido cada vez mais explorada em pesquisas (Moyano, Carreño, *et al.*, 2022; Rocha e Mateus, 2024; Roman *et al.*, 2023; Vieira *et al.*, 2024). O Dynamo® permite a modelagem paramétrica por meio de rotinas visuais, permitindo que os usuários reconstruam digitalmente geometrias complexas com maior precisão e eficiência (Sena, 2019). Em cenários que envolvem o registro de nuvem de pontos, Yang, Koehl e Grussenmeyer (2018) também apontam para a possibilidade de utilização de malhas convertidas em famílias Revit®, o que contribui para reduzir o esforço manual necessário no processo de modelagem.

Um caminho alternativo para permitir a representação de geometrias complexas no ambiente HBIM é a integração com outros *softwares* de modelagem 3D. O SketchUp®, por exemplo, oferece um ambiente de modelagem fluido e intuitivo, além de fornecer uma ampla biblioteca de elementos tridimensionais. Esses elementos podem ser usados como famílias HBIM para fins de representação ou, alternativamente, o usuário pode modelar do zero no SketchUp®, aproveitando sua flexibilidade e agilidade. Posteriormente, os modelos no formato .skp podem ser convertidos em famílias no formato .rfa, compatível com o Revit®. Vários estudos já investigaram essa interoperabilidade entre o Revit® e o SketchUp® (Jáquez, 2019; Kardinal Jusuf *et al.*, 2017; Porsani *et al.*, 2021; Yabuki, Aruga e Furuya, 2013).

Nesse sentido, a aplicação da Inteligência Artificial (IA) à geração de obras de arte, *design* e arquitetura tem se mostrado um campo de pesquisa promissor nas últimas décadas (Horvath e Pouliou, 2024). A capacidade da IA está progredindo rapidamente e agora está sendo



usada como uma ferramenta para auxiliar nas atividades do mundo real. No setor da arquitetura, esta ferramenta já tem sido utilizada em projetos de arquitetura de várias formas, como a transformação automática de elementos bidimensionais em tridimensionais (Jang e Kim, 2024) ou para a melhoria da visualização arquitetônica (Muslu e Koçyiğit, 2025), revelando-se uma ferramenta poderosa para a resolução de questões complicadas (Nabizadeh Rafsanjani e Nabizadeh, 2023).

Trabalhos como os de Liu, Liu e Duan (2007), introduziram uma abordagem baseada em um algoritmo padrão para melhoria por meio de Otimização por Enxame de Partículas (PSO) combinado com tecnologia de nicho dinâmico, com aplicação em projetos arquitetônicos de casas ecologicamente corretas. Ran e Dong (2022) abordaram um processo de melhoria multiobjetivo aplicado à elaboração de projetos de interiores e à organização ambiental de edifícios. Hanafy (2023) apresentou uma perspectiva sobre o uso da IA no processo criativo, com foco na criação de imagens por meio do AI *Text-to-image*. O trabalho de Gao e Zhang (2025) propôs o uso da tecnologia DL para a criação inteligente de *layouts* de espaços interiores no estilo chinês.

A visualização arquitetônica, possibilitada por métodos de renderização de alto desempenho que geram representações visuais realistas, como a fotografia, continua sendo um importante elemento de comunicação no campo do *design*. Através da visualização de imagens, os interessados podem compreender as particularidades, o cenário idealizado e a sua correlação com a envolvente, fornecendo uma base para os processos de tomada de decisão (Jo *et al.*, 2024). A integração de ferramentas de *design* baseadas em IA pode modificar as etapas do processo de criação dentro do campo arquitetônico, agilizando o processo e tornando-o mais eficaz (Almaz *et al.*, 2024). A aplicação de IA para aprimoramento da representação digital pode ser uma ferramenta útil para o melhoramento dos detalhes geométricos do acervo histórico, garantindo-lhes maior realismo. Tal aprimoramento deve permitir a representação digital de peças, sendo úteis para necessidades futuras de obras de restauração e conservação.

A organização e modelagem de informações da coleção de artefatos pode ser útil para futuros projetos de museus, conservação e preservação das peças. A falta de informação e documentação é comum no caso de elementos patrimoniais (Tang *et al.*, 2010). Assim, este capítulo apresenta como objetivo principal desenvolver uma nova abordagem de modelagem para melhorar a geometria e a textura da representação digital de artefatos, integrando nuvens

de pontos e IA como forma de apoio a documentação histórica. A metodologia engloba o levantamento digital baseado em digitalização a *laser*, a representação digital por criação de uma família de peças HBIM com o uso de dois procedimentos distintos: a integração de *scripts* baseada em nuvens de pontos existentes e a transformação de bloco SketchUp® em arquivo .rfa. Por fim, a renderização e aprimoramento dos elementos com IA.

## 4.2 Metodologia

A criação de famílias HBIM com alto nível de detalhe geométrico, especialmente para elementos como esculturas ou formas complexas, é um processo que requer tempo e poder de processamento significativos. Nesse contexto, a presente abordagem metodológica propõe o desenvolvimento de um método que visa reduzir o tempo de modelagem e as demandas de processamento sem comprometer a qualidade da representação geométrica.

O objeto de estudo (Igreja Matriz de Nossa Senhora do Rosário dos Brancos) faz parte do complexo histórico arquitetônico e paisagístico composto por 2500 edificações da cidade de Aracati, no Estado do Ceará - Brasil, que foram tombadas pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em 2001. O trabalho é baseado na documentação existente (Ribeiro *et al.*, 2024; Rubens, Ribeiro, Moreira, *et al.*, 2023): nuvem de pontos (Figura 28a) e modelo HBIM (Figura 28b) do edifício.

Figura 28 - Documentação existente: (a) nuvem de pontos, (b) modelo HBIM e (c) nuvem de pontos e foto da sala com o acervo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A organização espacial da Igreja apresenta um formato retangular, em que o piso térreo é constituído por uma nave central, onde se encontra o altar. Ao longo de sua extensão, existem duas naves laterais com acesso direto à sacristia e consistório. Abaixo da projeção do coro encontra-se uma capela em ambos os lados, com uma escada à direita que permite o acesso ao andar de cima, levando ao coro e ao sino da Igreja. Na parte posterior da Igreja, existe uma

escadaria que permite o acesso ao piso superior e à sala onde se encontra guardada a histórica coleção sacra da Igreja. Na nuvem de pontos, destacado em vermelho, está a localização da sala e a imagem da sala com a coleção (Figura 28c).

A abordagem da metodologia HBIM engloba três etapas principais (Figura 29): o levantamento do acervo histórico da Igreja, a representação dos elementos da coleção histórica e a renderização e aprimoramento com IA. Cada uma dessas etapas será descrita nesta seção.

Figura 29 - Etapas da Metodologia HBIM



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.1 Levantamento da coleção sacra

Foi realizado um levantamento da coleção de Arte Sacra da Igreja, no qual foi realizada a identificação e registro fotográfico de cada uma das peças do acervo. Para identificar cada item, foram utilizados adesivos com código de identificação. Cada etiqueta foi nomeada com o código “CA000”, que significa Igreja de Aracati seguido do respectivo número correspondente à contagem. Após listadas todas as peças do acervo, foram definidos critérios simplificados para seleção em categorias, no qual foram considerados o tipo, o material e o uso. Os detalhes das peças sacras listadas são apresentados na Figura 30.

Figura 30 - Detalhes da coleção sacra: (a) crucifixos (b) tabernáculo (c) relógio antigo (d) confessionário (e) molduras e (f) esculturas



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.2 Representação digital de elementos do acervo histórico

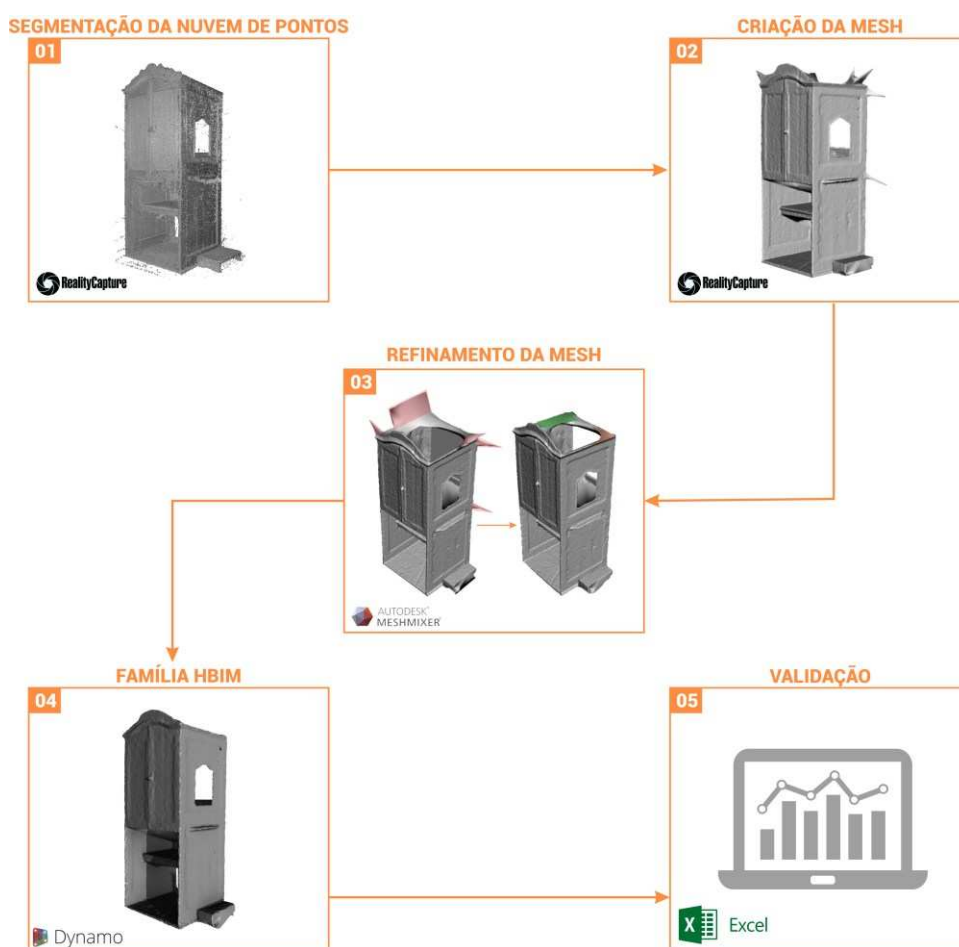
O Revit® é uma ferramenta poderosa para modelagem BIM, amplamente utilizada em projetos de arquitetura e engenharia. No entanto, em relação à criação de famílias, pode-se observar uma limitação na fluidez do processo, principalmente quando comparado a *softwares* de modelagem convencionais como o SketchUp®. Nesse contexto, para possibilitar a criação de famílias HBIM com geometrias complexas e detalhadas, torna-se essencial a adoção de estratégias alternativas que facilitem o processo de modelagem. A representação de elementos da coleção sagrada foi realizada usando dois procedimentos distintos: (a) integração de *scripts*

na criação da família HBIM (Figura 31) e (b) transformação do componente SketchUp® em família HBIM (Figura 32).

#### 4.2.2.1 Integração de scripts na criação da família HBIM

A Figura 31 apresenta as cinco etapas que constitui o processo de integração do *script* na criação de famílias HBIM. Cada uma delas serão descritas a seguir.

Figura 31 - Integração de *script* nas etapas de criação da família HBIM



Fonte: Elaborado pelo autor.

##### 4.2.2.1.1 Segmentação da nuvem de pontos

Cada elemento presente nessas salas foi registrado na nuvem de pontos do edifício, obtida durante a etapa de aquisição (Rubens, Ribeiro, Moreira, *et al.*, 2023). O processo inicial

envolve a segmentação dos elementos desejados, na qual foram selecionados quatro objetos: púlpito, esculturas e confessionário. A segmentação foi realizada por meio do *software* Reality Capture®, que permite a interação com nuvens de pontos. Para isso, 682 varreduras no formato .E57 foram importados para o *software*, possibilitando a visualização da nuvem de pontos. Posteriormente, o elemento a ser segmentado foi delimitado individualmente usando a ferramenta caixa de recorte.

#### 4.2.2.1.2 Geração de *mesh*

Após segmentar os elementos, uma *mesh* foi criada a partir da nuvem de pontos. É basicamente uma casca criada a partir da conexão entre pontos, formando triângulos e resultando em uma superfície contínua do objeto. Para isso, foi utilizado o *software* Reality Capture®, que inclui a ferramenta de “*high detail*” localizada no grupo de “*mesh model*”. Por fim, a *mesh* foi exportada no formato .obj.

#### 4.2.2.1.3 Refinamento da *mesh*

Devido à remoção incompleta de *outliers* durante a etapa de processamento da nuvem de pontos, juntamente com pontos que não foram bem capturados pelo *scanner* devido à baixa visibilidade, a etapa descrita anteriormente resultou na geração de uma *mesh* com pontos distorcidos, caracterizada por recuos e espaços vazios. Essas distorções comprometem as características geométricas do objeto, tornando necessário o tratamento superficial. Esse refinamento consiste em remover pontos indesejados e fechar os vazios, garantindo maior correlação entre a geometria e o elemento real. Para esta etapa de refinamento da *mesh*, foi utilizado o *software* Meshmix®, que edita e manipula modelos 3D, incluindo a remoção de peças indesejadas e reparos em modelos com problemas de geometria. A *mesh* foi importada no formato .obj e, posteriormente, os recuos foram removidos usando a ferramenta de seleção. Posteriormente, os espaços vazios, possivelmente devido à limitação do alcance do *laser scanner*, foram preenchidos através da ferramenta de auto reparo.

#### 4.2.2.1.4 Família HBIM

Para a modelagem orgânica, é bastante comum o uso do Dynamo®, uma poderosa ferramenta de programação visual nativa do Revit®, que oferece aos usuários a capacidade de automatizar determinados processos e gerar geometrias automaticamente, abrindo uma ampla gama de possibilidades de projeto. Vários estudos na literatura têm empregado essa ferramenta para acelerar etapas do processo de trabalho (Bortoluzzi *et al.*, 2019; Falco, De *et al.*, 2024; Moyano, Carreño, *et al.*, 2022; Rocha e Mateus, 2024; Sanseverino *et al.*, 2022; Wang e Huang, 2024). Com base nisso, os elementos HBIM foram gerados usando uma rotina de programação visual no Dynamo® (Figura 32).

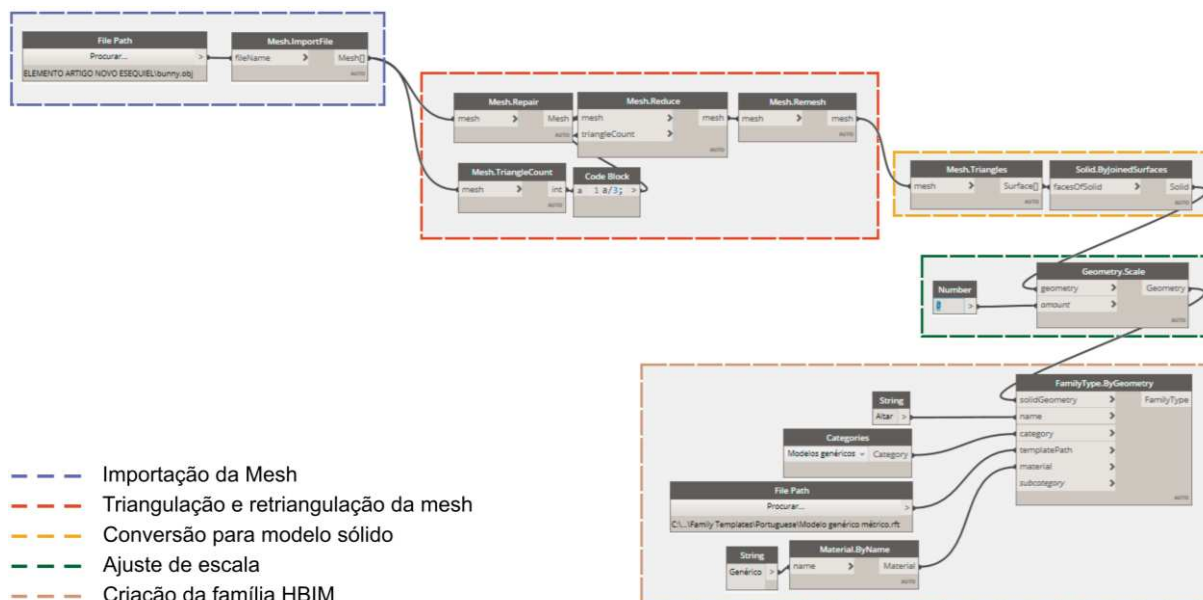
No Dynamo®, o processo envolve cinco etapas: importação da *mesh*, triangulação e retriangulação da *mesh*, convenção em modelo sólido, ajuste de escala e criação de um modelo HBIM. Antes de iniciar as etapas, é necessário realizar o *download* e instalação do pacote *Mesh Toolkit*, disponível na aba de interface do usuário, seção de menus e pacotes, que permitirá a criação do código, conforme descrito na figura 32. O processo tem início com a importação da *mesh* refinada, criada na etapa anterior, em formato .obj. Logo após, na etapa de triangulação e retriangulação, o número de triângulos da *mesh* são reduzidos e uma nova redistribuição acontece de maneira uniforme. Para este estudo, foi aplicado a correlação 1/3. Na etapa seguinte, os nós *Mesh.Triangles* e *Solid.Byjoined.Surfaces* são utilizados para identificar a superfície geométrica e gerar uma geometria sólida, respectivamente. Esta etapa só é possível devido ao refinamento da *mesh*, que elimina as irregularidades da geometria. Caso contrário, o algoritmo apresentaria um erro de geração. Dessa forma, a etapa de refinamento torna-se indispensável.

A etapa seguinte consiste no escalonamento do objeto através do nó *Geometry.Scale*, que realiza o dimensionamento do objeto de maneira uniforme em torno da origem. Inicialmente, o nó foi configurado com parâmetro zero. A última etapa do processo abrange a criação de uma família HBIM, no qual o sólido geométrico é transformado em elemento paramétrico. Esse procedimento resulta em um objeto geométrico HBIM do elemento, ainda que em escala incorreta. No entanto, considerando que é possível determinar o volume da *mesh* do objeto e do elemento HBIM, o fator de escala do elemento pode ser facilmente



calculado. Assim, o processo é repetido, desta vez inserindo o fator de escala como parâmetro no nó *Geometry.Scale*, resultando em um objeto paramétrico em escala correta.

Figura 32 - Código do Dynamo® para criar o elemento HBIM



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.2.1.5 Validação

Para validar o procedimento usando o código do Dynamo®, foi realizada uma análise comparativa da precisão volumétrica entre a malha refinada e o objeto BIM. O volume da malha foi obtido usando o *software* Blender® 4.0, que inclui a ferramenta “*Analyse*” no grupo *3D-Print*, permitindo a visualização do volume do objeto. O volume do elemento BIM foi extraído diretamente do Revit®, uma vez que fornece esta informação através do menu de propriedades quando o objeto é selecionado. Todos os dados foram organizados em uma planilha Excel® para análise.

#### 4.2.2.2 Transformação do componente SketchUp® em família HBIM

Esta seção apresenta o processo de integração do Revit® com os *softwares* de modelagem Sketchup®, 3ds max® e Autocad®, onde o objetivo foi acelerar e tornar mais

produtivo o processo de criação de famílias HBIM. A combinação dessas ferramentas permite a importação de modelos originados no Sketchup® para o *software* BIM. O processo é constituído por quatro etapas (Figura 33) que incluem desde a seleção do bloco na biblioteca 3D Warehouse, a otimização da geometria no 3ds Max®, a separação de camadas no Autocad®, até a criação da família HBIM.

Figura 33 – Etapas para transformação do componente do SketchUp® em família HBIM



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2.2.2.1 Levantamento do elemento no 3D Warehouse

Os blocos originais do Sketchup® foram coletados da plataforma 3D Warehouse, que oferece uma grande variedade de elementos 3D. O ambiente da família Revit® permite a inserção de arquivos nos formatos .skp, que é a extensão de bloco do Sketchup®. No entanto,

quando essa inserção direta ocorre, os blocos são importados com um número elevado de polígonos, que são linhas que delineiam a forma do objeto e comprometem sua estética.

#### 4.2.2.2.2 Otimização no 3ds Max:

Para resolver esse problema, o elemento .skp foi importado para o *software* 3ds Max® 2021 para ocultar as linhas indesejadas. O processo seguiu estas etapas: seleção do objeto, ativação das opções “*Convert To*” e “*Convert to Editable Mesh*” através do menu de contexto, o que levou a um navegador onde a opção “*Edge*” foi habilitada. Em seguida, o objeto foi selecionado novamente e, no grupo “*Surface Properties*”, clicando na opção “*Invisible*”, todas as arestas foram removidas. É importante ressaltar que para elementos geometricamente complexos, é necessário simplificar a geometria, o que pode ser feito usando a ferramenta “*ProOptimiser*”, responsável por reduzir o número de polígonos. Esta etapa de otimização, se necessário, deve ser realizada antes de tornar as linhas invisíveis.

#### 4.2.2.2.3 Separação de camadas no AutoCAD

Após o processo anterior, o bloco foi exportado do 3ds Max® no formato .dxf, permitindo sua inserção no AutoCAD® 2023 para separação de camadas, que é uma etapa importante para a aplicação de materiais no Revit®. A separação do material foi realizada usando a ferramenta “*Layer Properties*” do AutoCAD®, onde uma camada distinta foi atribuída a cada tipo.

#### 4.2.2.2.4 Criação da família HBIM

A última etapa consiste em exportar o objeto em formato .dxf e importar para o *template* de famílias do Revit®. Neste caso foi escolhido o *template* de “modelo genérico”. Lá, o elemento foi inserido e os respectivos materiais foram atribuídos.

### 4.2.3 Renderização e melhoria com IA

Após a criação das famílias HBIM, a visualização também pode ser melhorada com o processo de renderização. Além disso, o significado das visualizações está também diretamente ligado à promoção do patrimônio cultural, uma vez que este é um passo fundamental para facilitar a comunicação e aumentar o valor percebido de qualquer bem cultural (Jáquez, 2019). Para gerar as imagens, foi utilizado o *software* Lumion® 10.3.2 (Figura 34), que permite a importação de modelos criados no Revit® através do plugin Lumion LiveSync. Estudos anteriores exploraram essa integração (Muhammad *et al.*, 2020; Staritcyna *et al.*, 2016; Younus, Al-Hinkawi e Lafta, 2023), com o objetivo de melhorar a qualidade e o realismo das visualizações. Todos os elementos foram importados em formato .dae para o *software* de renderização, onde todas as texturas foram aplicadas dentro das configurações do material. Depois de configurar toda a cena, o foco mudou para aprimorar os aspectos fotorrealistas das imagens. Para isso, foi utilizado o modo foto, onde todos os tipos de estilos e efeitos foram aplicados. Posteriormente, a proporção de 3840x2160 foi selecionada para a imagem final. Esta resolução proporciona um excelente resultado, superior ao HD, em um tempo consideravelmente bom, ao contrário da resolução 8K. Vale a pena destacar que o *hardware* do *desktop* usado possui um processador Ryzen 5 3600, uma placa de vídeo GTX 1650 de 4 GB e 16 GB de RAM.

Figura 34 - Renderização com o software Lumion®

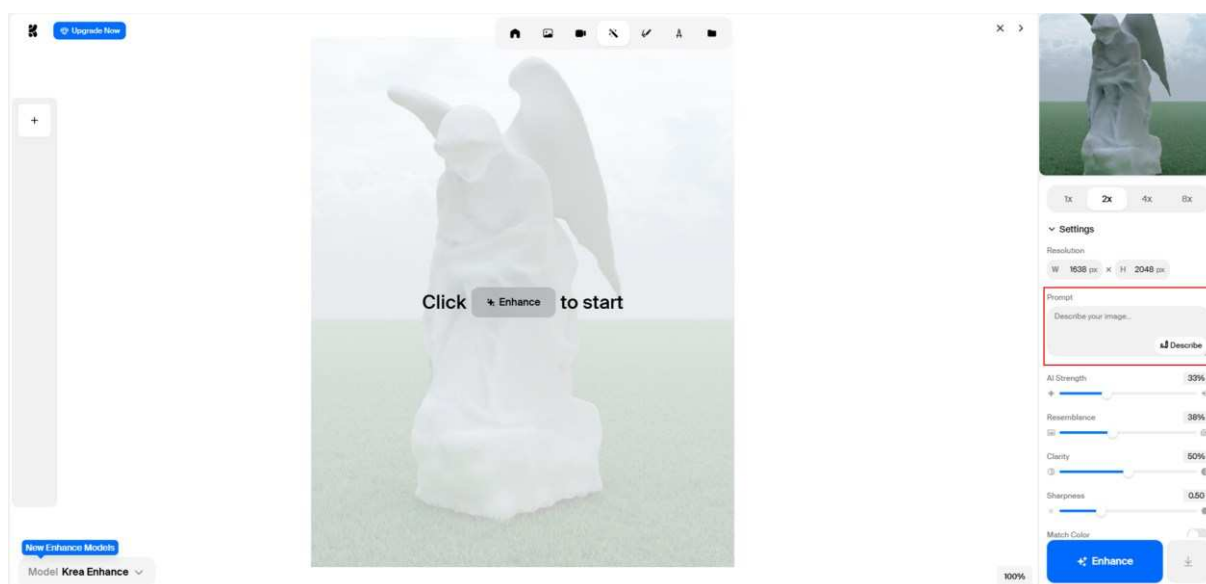


Fonte: Elaborado pelo autor.

A edição digital de imagens se consolidou, entre outras aplicações, como um artifício para modificar resultados visuais. Uma imagem gerada por meio de renderização, cujo objetivo principal era representar com precisão a realidade visual, agora pode ser modificada. Este meio de alterar a imagem resultante da renderização é chamado de pós-produção (Braga *et al.*, 2015). A IA tem sido cada vez mais implementada para otimizar processos em vários estágios de *design* na arquitetura, como geração de *layout* (Aalaei *et al.*, 2023) e representações 3D (Tono *et al.*, 2022), além de permitir a criação de imagens a partir de texto (Chen, Shao e Hu, 2023; Poole *et al.*, 2022). Assim, a etapa final da metodologia consiste, portanto, em usar IA para melhorar as imagens renderizadas.

O site da Krea foi usado para esse fim. Esta plataforma online, por meio de algoritmos avançados de linguagem natural, permite que os usuários criem e editem imagens em tempo hábil. O Krea oferece uma versão gratuita, que permite o uso diário por até 3 minutos, além de uma versão profissional. A versão gratuita foi usada para este estudo. Inicialmente, as imagens foram carregadas na plataforma (Figura 35). No painel lateral direito, a interface oferece várias funcionalidades, tais como: controle de escala (*zoom in* ou *out* da imagem), um campo de *prompt* (que pode ser gerado automaticamente ou inserido manualmente pelo usuário) e a seleção de estilos de refinamento, permitindo ajustes de acordo com a finalidade pretendida da imagem. A primeira renderização foi executada usando o estilo padrão fornecido pelo Krea.

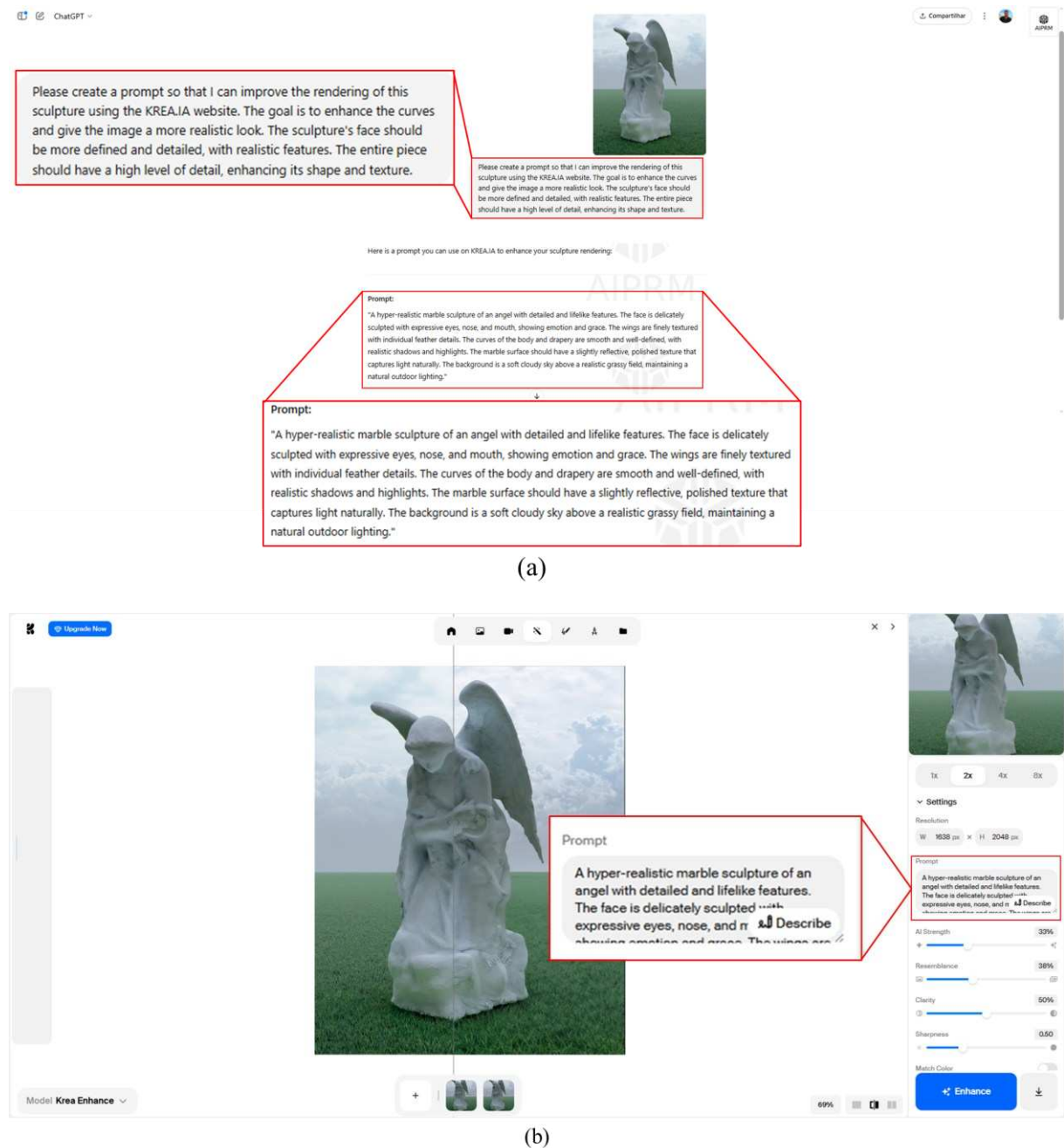
Figura 35 - Imagens carregadas na plataforma Krea



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para melhorar o resultado visual das imagens, a ferramenta ChatGPT foi empregada para gerar prompts mais precisos e descritivos (Figura 36a). As imagens inicialmente renderizadas foram usadas como referências para gerar prompts personalizados com o objetivo de obter maior fidelidade visual, com ênfase em texturas e detalhes realistas. No caso específico das esculturas, foi dada especial atenção à ênfase nas características faciais e ao realce de elementos morfológicos.

Figura 36 – Aplicação de IA: (a) Prompt do ChatGPT e (b) Imagem aprimorada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os *prompts* gerados pelo ChatGPT (destacados na linha vermelha) foram então inseridos no Krea e uma nova renderização foi executada (Figura 36b). Cada imagem, portanto, passou por duas etapas de processamento: a primeira sem o uso de um *prompt* personalizado, e a segunda com o *prompt* gerado por IA. Esse processo permitiu uma comparação dos resultados e uma análise da eficácia do aprimoramento visual.

### 4.3 Resultados e discussões

A Tabela 1 apresenta as categorias e a quantidade total de peças sacras listadas na pesquisa. Molduras, castiçais, esculturas e imagens, móveis e objetos de madeira, objetos metálicos e outros, com códigos adotados, descrição, material, quantidade e imagens das peças podem ser observadas detalhadamente em estudo anterior (Ribeiro, 2023). O processo de listagem foi realizado para identificar as peças da Igreja e organizá-las como categorias. A composição da coleção contém uma diversidade de objetos que carregam traços de uma época, especificamente a conexão entre o presente e o passado.

Tabela 1 - Lista de peças sacras da Igreja

| <i>Categorias</i>                  | <i>Imagem</i>                                                                        | <i>Quantidade total</i> |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>Quadros</b>                     |    | 65                      |
| <b>Castiçais</b>                   |  | 50                      |
| <b>Esculturas e imagens</b>        |   | 47                      |
| <b>Móveis e objetos de madeira</b> |   | 59                      |
| <b>Objetos de metal</b>            |  | 39                      |
| <b>Outros</b>                      |   | 96                      |

Fonte: Elaborado pelo autor.

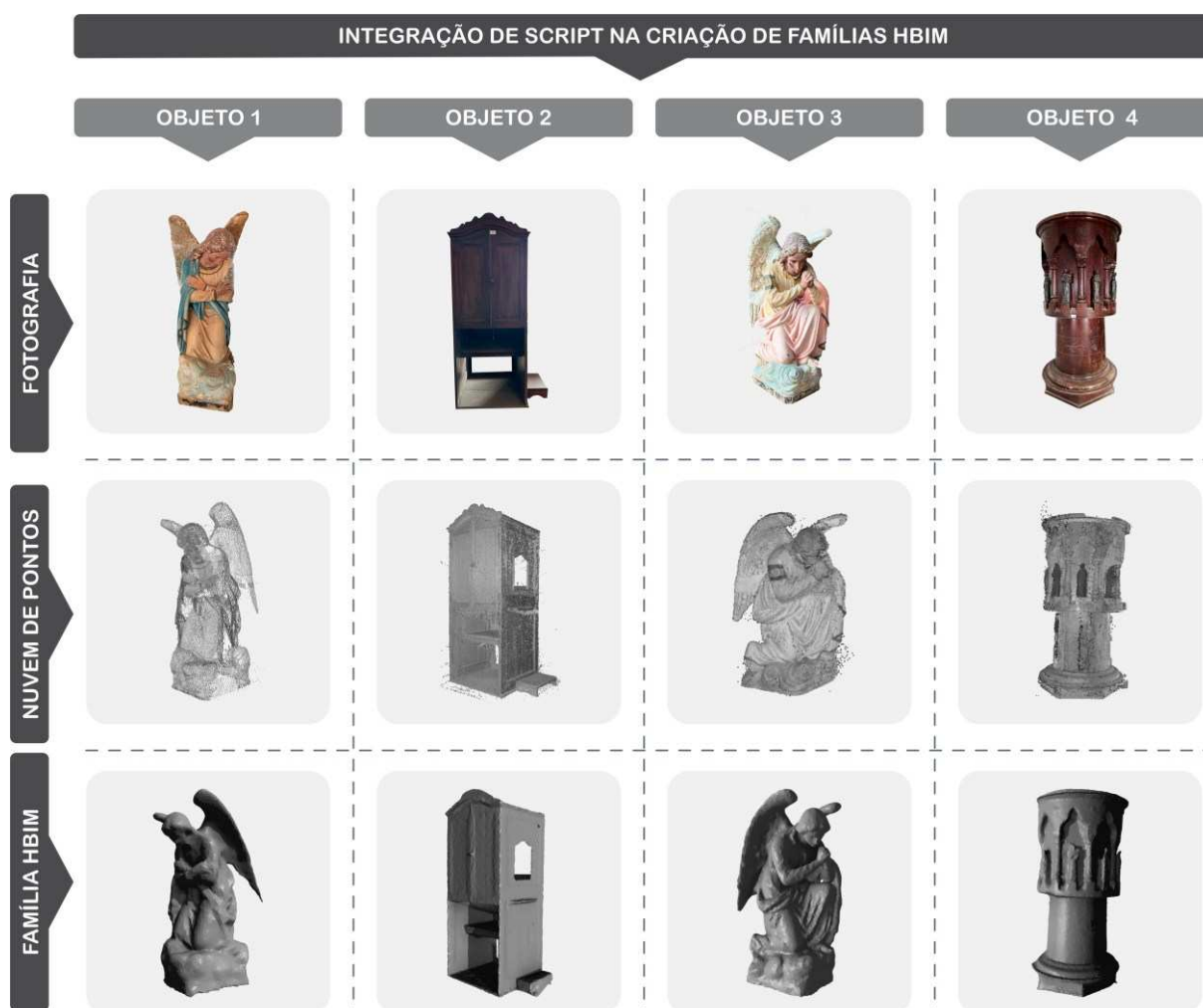


Estatuetas de gesso e madeira foram listadas, simbolizando santos e figuras divinas. Esculturas de promessas fazem parte do acervo e representam a fé da sociedade da época. Pinturas que representam cenas importantes da história da fé da Igreja. Também foram listadas peças litúrgicas como naves, caldeirão de água benta, sinos, turíbulos, cálices, bandejas, castiçais, crucifixos de madeira e metal, usados nas celebrações. A Tabela 01 apresenta as categorias e a quantidade total de peças sacras listadas na pesquisa. Fotos de sacerdotes que passaram pela Igreja ao longo dos anos fazem parte das peças que registram a memória daqueles que são parte importante da história da Igreja.

Além disso, documentos importantes que descrevem ritos religiosos, como livros litúrgicos e tabelas de pagamento, foram incluídos na coleção. Móveis como baú de madeira, púlpito, ambão, bancos, genuflexório, mesas, oratórios, relógios e grau de comunhão também foram listados. Outros objetos como varandas, cúpula, ornamentos de madeira e tabernáculo, ostensório de metal, ânforas de metal e jarros de porcelana, lápide antiga, instrumento musical de órgão do século XIX, esplendor de metal, urnas, foram pesquisados.

O levantamento do acervo também identificou objetos como pedras Dara, portabíblias de bronze e madeira, réplica da Igreja, selo de 300 anos, andaimes, cruzeiros de madeira, castiçais, canteiros e guarda-roupas. No total, 356 peças sacras foram listadas e organizadas em categorias do acervo completo. A Figura 37 apresenta uma comparação entre a fotografia do objeto sagrado real, a nuvem de pontos, e a família HBIM criada pelo procedimento de integração de *scripts* de quatro objetos: duas esculturas, um confessionário e um púlpito.

Figura 37 - Comparação de peças da coleção sacra: fotos reais, nuvem de pontos e famílias HBIM criadas pelo processo de integração de *script*



Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar as semelhanças geométricas entre os objetos reais e a família HBIM gerada pelo procedimento. Tais resultados indicam que a integração de scripts pode facilmente gerar famílias HBIM a partir de dados de nuvem de pontos. A precisão dos resultados depende da densidade da nuvem de pontos e a baixa densidade pode comprometer os resultados.

No contexto de edifícios históricos, é comum encontrar geometrias ornamentadas, o que requer a criação manual desses elementos. Na maioria das vezes, isso resulta em objetos imprecisos e requer uma quantidade significativa de tempo. A eficiência da técnica otimiza a criação de elementos HBIM, sejam eles geometricamente complexos ou não. A velocidade com

que os quatro elementos estudados foram criados variou entre 53 segundos (objeto 1) e 145 segundos (objeto 4). Assim, essa abordagem abre novas possibilidades para a criação de objetos mais precisos, que não são facilmente encontrados em bibliotecas padrão.

Foi realizada uma análise descritiva dos volumes da malha e dos elementos HBIM, considerando os 4 objetos utilizados no procedimento de integração do script. O objetivo desta análise é validar a técnica aplicada através da acurácia entre o volume da malha e o elemento HBIM. A Tabela 2 apresenta os dados volumétricos para cada malha e elemento HBIM, bem como a diferença entre eles. Todos os objetos apresentaram uma diferença inferior a 0,05 m<sup>3</sup>.

Tabela 2 - Validação com análise volumétrica dos dados (m<sup>3</sup>)

|                 | <i>Volume da Mesh (m<sup>3</sup>)</i> | <i>Volume da família HBIM(m<sup>3</sup>)</i> | <i>Diferença entre os volumes (m<sup>3</sup>)</i> |
|-----------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>Objeto 1</b> | 0,1961                                | 0,16                                         | 0,0361                                            |
| <b>Objeto 2</b> | 0,1592                                | 0,13                                         | 0,0292                                            |
| <b>Objeto 3</b> | 0,2103                                | 0,17                                         | 0,0403                                            |
| <b>Objeto 4</b> | 0,8479                                | 0,824                                        | 0,0239                                            |

Fonte: Elaborado pelo autor.

As análises volumétricas revelaram discordância muito pequena entre os modelos, comprovando a alta precisão do procedimento semiautomático. Este método sugere ser satisfatório, alinhando-se com os resultados indicados em estudo anterior (Vieira *et al.*, 2024). Tais resultados indicam a possibilidade de criação de famílias HBIM, eliminando a necessidade de modelagem manual.

A Tabela 3 reúne os dados relativos a uma análise baseada em estatística descritiva, englobando o volume da malha e o volume do elemento HBIM, na qual foram calculados a média, o erro padrão, a mediana, o desvio padrão, a variância amostral e o nível de confiança. Os valores indicam que não há grande discrepância entre os volumes. Assim, a proximidade entre os valores confirma a concordância entre os dois modelos, reforçando a precisão do elemento HBIM em relação à malha.

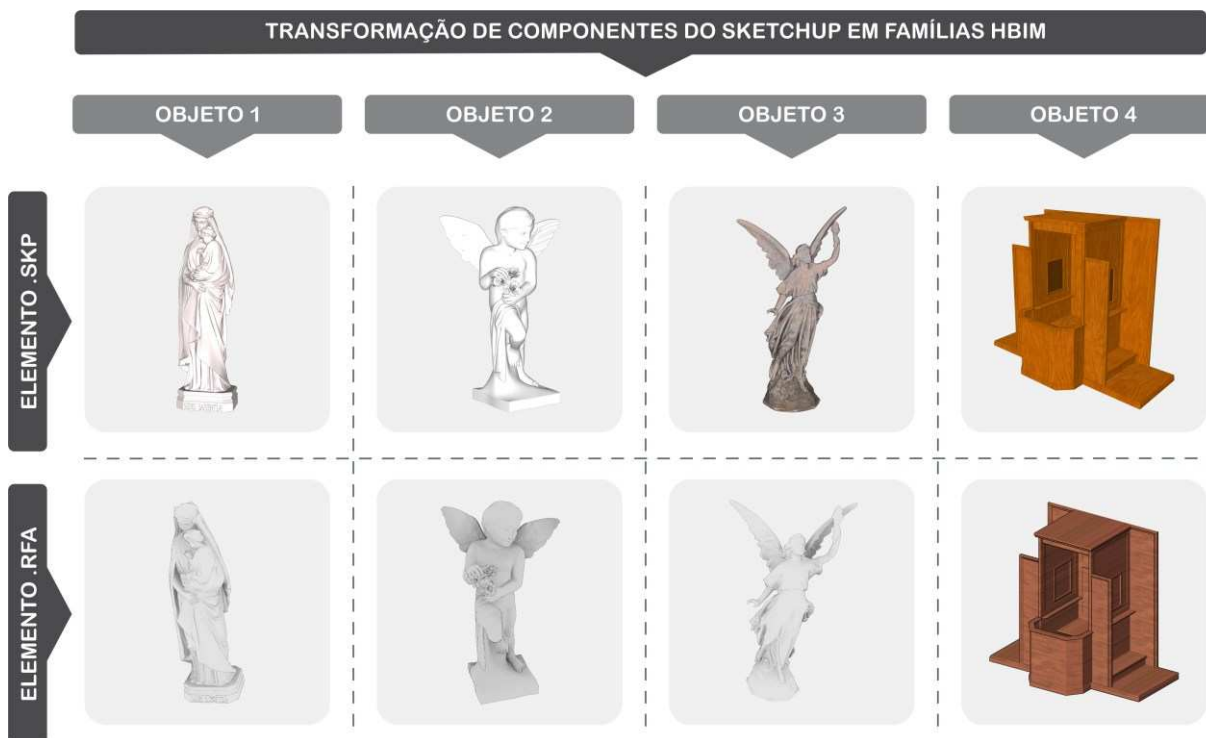
Tabela 3 - Validação com análise de estatística descritiva

|                                 | <i>Mesh (m³)</i> | <i>Família HBIM(m³)</i> |
|---------------------------------|------------------|-------------------------|
| <b>Média</b>                    | 0,3534           | 0,3210                  |
| <b>Erro padrão</b>              | 0,1652           | 0,1679                  |
| <b>Mediana</b>                  | 0,2032           | 0,1650                  |
| <b>Desvio padrão</b>            | 0,3304           | 0,3358                  |
| <b>Variância da amostra</b>     | 0,1092           | 0,1127                  |
| <b>Nível de confiança (95%)</b> | 0,5257           | 0,5342                  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 38 apresenta os elementos HBIM com o uso do procedimento de transformação do SketchUp®. Os elementos existentes da plataforma 3D Warehouse podem representar as categorias de peças sacras, como esculturas e confessionários, entre outros.

Figura 38 - Famílias HBIM criadas pelo procedimento de transformação do SketchUp®



Fonte: Elaborado pelo autor.

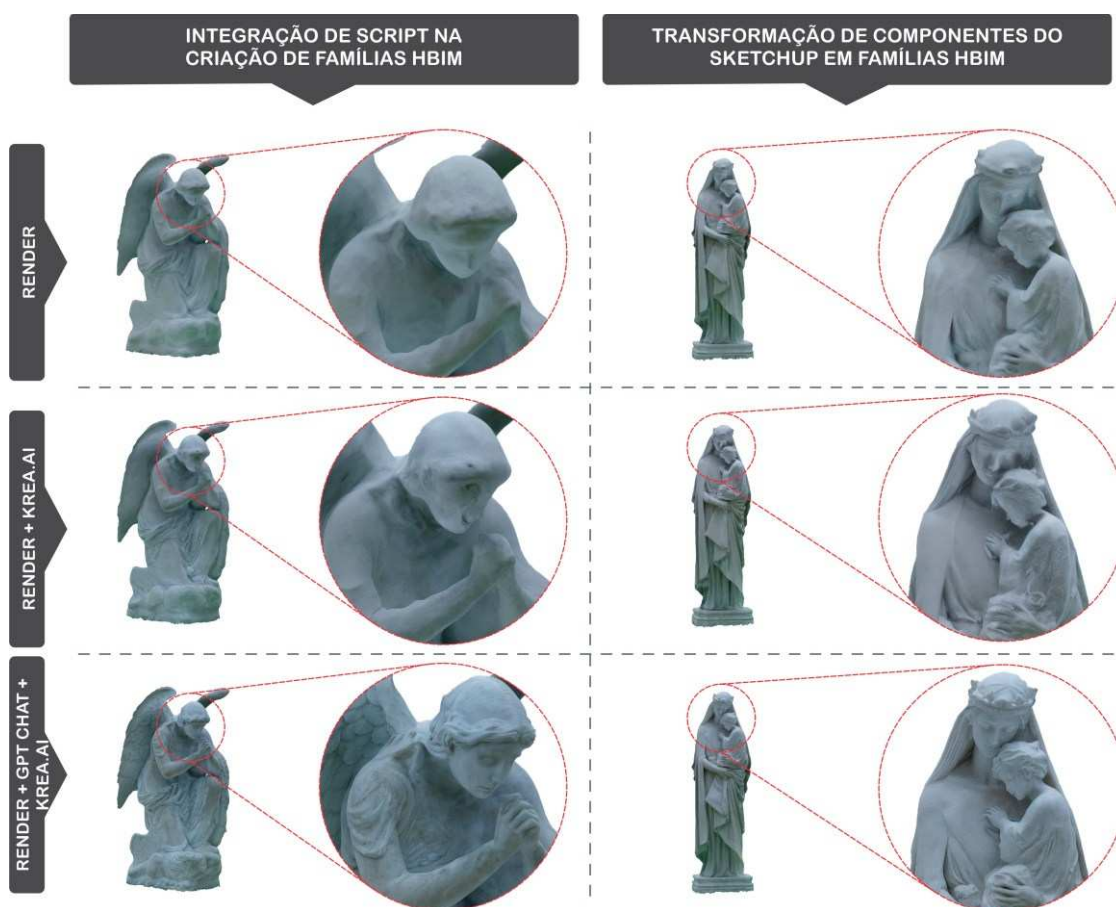
A partir dos resultados, indica-se que o método é vantajoso pelo fato de utilizar elementos existentes, exigindo apenas conversões de formato. Assim, é uma ferramenta fácil de aplicar à representação de coleção sagrada. Outra vantagem é o tamanho da família HBIM. No caso do objeto 01, 02 e 03, antes do processo completo os tamanhos eram 13.196 kB, 58.424

kB e 12.656 kB, respectivamente, enquanto após o processo os tamanhos eram menores: 824 kB, 612 kB e 6.648 kB, respectivamente.

O uso de renderização e aprimoramento de IA nas famílias HBIM criadas por ambos os procedimentos: integração de *script* e transformação do SketchUp® são descritos na Figura 39. Os resultados sugerem a vantagem da aplicação da IA nos elementos para gerar maior precisão. As renderizações fotorrealistas correspondem ao desenvolvimento de imagens de computador que parecem ser registros do mundo real tiradas por uma câmera ou pelo próprio olho humano (Schneider, 2013).

Os resultados destacam como a aplicação da IA pode melhorar a qualidade do material de apresentação, tornando-o ainda mais atrativo. O aprimoramento das texturas destaca os elementos de forma que eles ganhem mais profundidade.

Figura 39 - Detalhe de famílias HBIM com renderização e aprimoramento de IA com ambas as metodologias: integração de *scripts* e transformação do SketchUp®



Fonte: Elaborado pelo autor.

As peças da metodologia de integração de *scripts* foram significativamente melhoradas, minimizando algumas das nuances resultantes da qualidade da nuvem de pontos. Assim, esta abordagem destaca-se pela sua capacidade de potenciar a comunicação visual, proporcionando um resultado estético primoroso. O uso de IA no processo alcançou uma definição mais perfeita da face da escultura. No caso de peças criadas pelo procedimento de transformação do SketchUp®, a renderização com IA aplicada à imagem destacou as texturas, as nuances do elemento, mas também preservou as características originais.

#### 4.4 Comentários Finais

Foi proposta a abordagem da metodologia HBIM aplicada ao acervo histórico sacro da Igreja de Nossa Senhora do Rosário. As principais realizações do estudo estão resumidas a seguir.

O levantamento de peças sacras históricas foi desenvolvido para este estudo listando 356 objetos do acervo completo. Imagens sacras, castiçais, objetos litúrgicos, móveis antigos foram organizados em categorias que revelam o valor histórico dos objetos da Igreja.

O método de integração de *script* para geração de famílias HBIM foi aplicado em peças sacras com base na nuvem de pontos existente. Os resultados obtidos demonstraram a possibilidade de criação de tais elementos com alto nível de precisão. Observou-se que a qualidade final da família HBIM está diretamente ligada à qualidade da nuvem de pontos. Para garantir a precisão geométrica, é ideal que o *scanner* seja posicionado próximo ao elemento e capture todas as suas faces, pois a ausência de dados ou sua baixa qualidade pode resultar em um elemento HBIM geometricamente distante do original.

O procedimento de transformação de blocos do SketchUp® em blocos .rfa foi aplicado para criar a família HBIM a partir de elementos existentes da plataforma 3D Warehouse. Os elementos gerados pelo processo demonstraram representar categorias de coleções sagradas com boa precisão. A principal vantagem deste método é a utilização de elementos pré-existentes, eliminando a necessidade de modelagem manual, exigindo apenas a otimização e conversão de blocos de formato .skp para .rfa.

A IA foi adotada para melhorar os resultados visuais da família das peças HBIM. Uma maior quantidade de detalhes nos rostos das esculturas e o destaque de nuances e texturas de outros elementos trouxeram maior realismo na geométrico de imagens e peças.

## 5 CONCLUSÃO

Esta dissertação teve como objetivo o desenvolvimento de um protocolo operacional HBIM com foco na etapa de modelagem 3D, bem como o desenvolvimento de um método semiautomático e integrado para a criação de elementos com geometria complexa. Para a elaboração desse protocolo, as etapas do processo foram mapeadas com base nas experiências acumuladas ao longo dos quatro anos do projeto “Inovação e Tecnologia para o Patrimônio Cultural do Ceará”. A partir desse mapeamento, foi estruturado um protocolo em linguagem BPMN que conta com cinco etapas principais: PEB, modelo digital, precisão geométrica, enriquecimento semântico e documentação e reconstrução digital. O protocolo proposto foi validado por meio de um estudo de caso aplicado ao Sobrado Dr. José Lourenço (Capítulo 3). Na etapa de modelo digital, destaca-se a atividade de criação de famílias HBIM, no qual o protocolo oferece dois fluxos alternativos: (i) método manual, que conta com o apoio de ferramentas tradicionais do *software* utilizado para a modelagem, e (ii) método semiautomático, que permite a criação de modelos geométricos com base em nuvens de pontos, por meio de *script* via Dynamo®. Essa metodologia semiautomática foi aplicada em um segundo estudo de caso, que utilizou como base à nuvem de pontos da Igreja Matriz de Nossa Senhora do Rosário dos Brancos (Capítulo 4).

O Protocolo operacional mostrou ser útil para a criação de modelos HBIM, atendendo a função de organizar e orientar os passos metodológicos envolvidos no processo. Ele reúne uma sequência de passos, evidenciando as atividades correspondentes a cada etapa, bem como as referências de informação e os dados de saída associados a elas. Essa estruturação serve para potencializar a padronização e consistência do processo de modelagem, favorecendo a replicabilidade em estudos semelhantes. Além de atuar como um guia metodológico, o protocolo também se consolida como uma ferramenta para a transmissão de conhecimentos, algo que é fundamental no âmbito do projeto do Cientista Chefe, já que é comum a renovação anual da equipe de pesquisadores. Desta maneira, o documento assegura que os novos integrantes compreendam de forma abrangente o ecossistema por trás da criação dos modelos HBIM. Outro ponto de destaque, é que o protocolo também assume o papel de suporte para outros pesquisadores interessados na metodologia adotado pelo grupo, visto que a comunidade científica poderá ter acesso à uma metodologia válida e replicável. Da mesma forma, a

equipe de gestores responsáveis pelas edificações históricas vinculadas ao projeto, podem se beneficiar do uso do protocolo, uma vez que ele fornece clareza acerca do desenvolvimento dos modelos e da organização dos elementos, facilitando a compreensão.

As bibliotecas BIM possuem uma variedade de elementos a serem utilizados em novas edificações. No caso de edifícios históricos, essas bibliotecas, quase sempre, não suprem as demandas, o que exige a criação manual dessas famílias. No entanto, criar elementos geometricamente detalhados nem sempre é uma tarefa fácil de se fazer em um *software* BIM. Nesse cenário, uma extensa biblioteca de elementos existentes do Sketchup® surge como uma alternativa eficiente para ser aplicada em projetos no Revit®, evitando a necessidade de criação manual desses elementos, simplificando um processo que seria demorado. O procedimento semiautomático também se mostrou eficiente na criação de famílias HBIM. Dessa forma, este estudo contribui para minimizar um dos principais desafios observados nos processos *scan-to-BIM*, que é o elevado tempo e mão de obra manual em processo de modelagem, proporcionando uma otimização do fluxo de trabalho e elevando o nível de qualidade.

O protocolo desenvolvido nesta pesquisa teve foco principal na documentação e reconstrução digital de edificações históricas. No entanto, pesquisas futuras poderão explorar a ampliação do protocolo em diferentes contextos, como por exemplo, em processos de manutenção. Explorar o desenvolvimento de modelos HBIM que reúnem não só os aspectos arquitetônicos, mas também sistemas complementares como estrutura, hidrossanitário, elétrica, combate a incêndio, entre outros, representa uma oportunidade de contribuição para o avanço do estado da arte em estudos referentes à elaboração de protocolos. Outra possibilidade seria a aplicação do protocolo proposto em diferentes estudos de caso, externos ao projeto “Inovação e Tecnologia para o Patrimônio Cultural do Ceará”, a fim de avaliar o potencial da metodologia. Tal iniciativa pode contribuir para que a metodologia HBIM torne-se cada vez mais consolidada e abrangente.

Em relação à criação de famílias HBIM, estudos futuros poderiam aprofundar a possibilidade de discretização dos diferentes materiais que constituem um mesmo elemento. Essa abordagem permitiria a atribuição individual de diferentes materiais dentro do *software* Revit®, avançando o método explorado neste estudo que gera um único elemento no qual só é possível aplicar um único material. Em casos em que o elemento apresenta diferentes tipos de materiais, sua representação é necessária para assegurar maior fidelidade com o mundo real.



## REFERÊNCIAS

- AALAEI, M. *et al.* Architectural layout generation using a graph-constrained conditional Generative Adversarial Network (GAN). **Automation in Construction**, v. 155, 1 nov. 2023.
- ABNT NBR ISO 19650-1. **Organização da informação acerca de trabalhos da construção — Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção Parte 1: Conceitos e princípios**. [s.l: s.n.].
- ABNT NBR ISO 19650-2. **Organização da informação acerca de trabalhos da construção — Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção Parte 2: Fase de entrega de ativos**. [s.l: s.n.].
- ADAMI, A.; SCALA, B.; SPEZZONI, A. **Modelling and accuracy in a bim environment for planned conservation: The apartment of troia of Giulio Romano**International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. **Anais...**International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 23 fev. 2017.
- AGUSTÍN, L.; QUINTILLA, M. **Virtual reconstruction in BIM technology and digital inventories of heritage**International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. **Anais...**International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 19 ago. 2019.
- ALI, M. *et al.* Historic building information modelling (HBIM) for Malaysian construction industry. **Planning Malaysia**, v. 16, n. 3, p. 332–343, 2018.
- ALMAZ, A. F. *et al.* The Future Role of Artificial Intelligence (AI) Design's Integration into Architectural and Interior Design Education is to Improve Efficiency, Sustainability, and Creativity. **Civil Engineering and Architecture**, v. 12, n. 3, p. 1749–1772, 1 maio 2024.
- ALSHAWABKEH, Y. *et al.* Heritage documentation using laser scanner and photogrammetry. The case study of Qasr Al-Abidit, Jordan. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 16, 1 mar. 2020.
- ALSHAWABKEH, Y.; BAIK, A.; MIKY, Y. Integration of laser scanner and photogrammetry for heritage BIM enhancement. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 5, 1 maio 2021.
- ALVES, C. M. F. *et al.* **O que são os BIM?** [s.l: s.n.].
- AMORIM, A. L. A documentação arquitetônica como uma atividade multi, inter e transdisciplinar. **PontodeAcesso**, v. 11, n. 1, p. 61, 20 jul. 2017.
- ANDRIASYAN, M. *et al.* From point cloud data to Building Information Modelling: An automatic parametric workflow for heritage. **Remote Sensing**, v. 12, n. 7, 1 abr. 2020.

ANTÓN, D. *et al.* Accuracy evaluation of the semi-automatic 3D modeling for historical building information models. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 12, n. 5, p. 790–805, 4 jul. 2018.

ARBACE, L. *et al.* Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue. **Journal of Cultural Heritage**, v. 14, n. 4, p. 332–345, 2013.

AUTODESK. **Building Information Modeling**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://www.laiserin.com/features/bim/autodesk\\_bim.pdf](https://www.laiserin.com/features/bim/autodesk_bim.pdf)>. Acesso em: 2 set. 2024.

AVENA, M. *et al.* **A scalable approach for automating scan-To-bim processes in the heritage field** International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. **Anais...**International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 14 fev. 2024.

BACCI, G. *et al.* **Hbim methodologies for the architectural restoration. The case of the ex-church of san quirico all’olivo in lucca, tuscany** ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. **Anais...**Copernicus GmbH, 4 maio 2019.

BARBOSA, J. **As-built building information modeling (BIM) workflows: from point cloud data to BIM**. [s.l.] Universidade de Lisboa, 2018.

BASTEM, S. S.; CEKMIS, A. Development of historic building information modelling: a systematic literature review. **Building Research and Information**, v. 50, n. 5, p. 527–558, 2022.

BOEYKENS, S.; HIMPE, C.; MARTENS, B. **A Case Study of Using BIM in Historical Reconstruction**, 2012.

BONDUEL, M. *et al.* **Scan-to-bim output validation: Towards a standardized geometric quality assessment of building information models based on point clouds**, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. **Anais...**International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 13 nov. 2017.

BORTOLUZZI, B. *et al.* Automating the creation of building information models for existing buildings. **Automation in Construction**, v. 105, 1 set. 2019.

BOUZAS, Ó. *et al.* Structural health control of historical steel structures using HBIM. **Automation in Construction**, v. 140, 1 ago. 2022.

BRAGA, G. P. *et al.* **Imagens digitais de perspectiva na apresentação de projetos de arquitetura: Estudo de caso escritório MAPA**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/301552188>>.

BRUNO, S.; FINO, M. DE; FATIGUSO, F. **Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management**Automation in ConstructionElsevier B.V., 1 fev. 2018.

BRUSAPORCI, S.; MAIEZZA, P.; TATA, A. **A framework for architectural heritage hbim semantization and development**International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. **Anais...**International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 30 maio 2018.

BS EN ISO 7817-1. **Building Information Modelling — Level of Information Need: Part 1- Concepts and principles**. [s.l: s.n.].

CALCERANO, F. *et al.* Energy and environmental improvement of built heritage: HBIM simulation-based approach applied to nine Mediterranean case-studies. **Building Research and Information**, v. 52, n. 1–2, p. 225–247, 2024.

CANUTO, C. L.; SALGADO, M. S. Modelo BIM do Palácio Gustavo Capanema 1937-1945: pela preservação digital do patrimônio moderno. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 15, n. 1, p. 101–116, 17 jan. 2020.

CARMONA, M. A. R. **Semi-Automatic Approach for the Scan-toBIM of Built Heritage: The Case Study of Sacro Monte di Varallo**. [s.l.] Politecnico di Torino, 2024.

CBIC. **Coletânea Implementação do BIM Para Construtoras e Incorporadoras - Fundamentos BIM**. Brasília: [s.n.].

CHELARU, B. *et al.* Integration of point cloud, historical records, and condition assessment data in HBIM. **Automation in Construction**, v. 161, 1 maio 2024.

CHEN, J.; SHAO, Z.; HU, B. Generating Interior Design from Text: A New Diffusion Model-Based Method for Efficient Creative Design. **Buildings**, v. 13, n. 7, 1 jul. 2023.

CHENG, J. C. P. *et al.* Thermal performance improvement for residential heritage building preservation based on digital twins. **Journal of Building Engineering**, v. 82, 1 abr. 2024.

CONTRERAS, J. G. V. **Historic Building Information Modelling (HBIM) na Preservação do Patrimônio Arquitetônico Moderno**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2024.

COS-GAYÓN, F. **Protocolo HBIM: Para la restitución histórica del patrimonio cultural y arquitectónico: Reconstrucción virtual del Foro Romano de Sagunto**. [s.l.] Universitat Politècnica de València, 2019.

COSTA, A. *et al.* **Aplicação da digitalização 3D na preservação de patrimônio histórico**. [s.l: s.n.].

COSTA, E. *et al.* **Digital survey techniques for the documentation of wooden shipwrecks**International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial

Information Sciences - ISPRS Archives. **Anais...International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, 2016.

COTELLA, V. A. **From 3D point clouds to HBIM: Application of Artificial Intelligence in Cultural HeritageAutomation in Construction**Elsevier B.V., , 1 ago. 2023.

CROCE, V. *et al.* From the Semantic Point Cloud to Heritage-Building Information Modeling: A Semiautomatic Approach Exploiting Machine Learning. **Remote Sens**, 2021.

DIMITRIOU, S.; KONTOVOURKIS, O. A computational design workflow towards a comprehensive digitization of historic buildings. **Journal of Archaeological Science: Reports**, v. 53, 1 fev. 2024.

EASTMAN, C. **General purpose building description systems**. [s.l: s.n.].

EASTMAN, C. M. A Data Model for Design Knowledge. **Automation in Construction**, 1994.

ESCUDERO, P. A. **La gestión eficiente de los bienes patrimoniales mediante la aplicación de la metodología HBIM - El caso de la iglesia de San Lorenzo en Valencia**. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2021.

FALCO, A. DE *et al.* An HBIM Approach for Structural Diagnosis and Intervention Design in Heritage Constructions: The Case of the Certosa di Pisa. **Heritage**, v. 7, n. 4, p. 1850–1869, 1 abr. 2024.

FARIAS, J. C. **Quem foi Chuck M. Eastman?** Disponível em: <<https://spbim.com.br/quem-foi-chuck-m-eastman/>>. Acesso em: 27 ago. 2024.

GAO, H.; ZHANG, M. Intelligent Layout of New Chinese Style Interior Space Combining Deep Learning Technology. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 22, n. S1, p. 191–207, 2025.

GARCÍA, E. S. *et al.* **BIM aplicado al Patrimonio Cultural. Documento 14. Guía de usuarios BIM. Building SMART Spain Chapter**. [s.l: s.n.].

GARCÍA, E. S. **Protocolo HBIM para una gestión eficiente del uso público del patrimonio arquitectónico**. València: [s.n.]. Disponível em: <<https://riunet.upv.es/entities/publication/4f471229-4198-45a1-99cd-96a85cc307a7>>.

GARCIA-GAGO, J. *et al.* HBIM for supporting the diagnosis of historical buildings: case study of the Master Gate of San Francisco in Portugal. **Automation in Construction**, v. 141, 1 set. 2022.

GIULIANI, F. *et al.* A HBIM pipeline for the conservation of large-scale architectural heritage: the city Walls of Pisa. **Heritage Science**, v. 12, n. 1, 1 dez. 2024.

GODINHO, M. *et al.* BIM as a resource in heritage management: An application for the National Palace of Sintra, Portugal. **Journal of Cultural Heritage**, v. 43, p. 153–162, 1 maio 2020.

GONÇALVES, P. H. *et al.* Fotogrametria do patrimônio: da documentação à realidade aumentada. **Revista Jatobá**, n. 3, 2021.

GROETELAARS, N. J. **Criação de modelos BIM a partir de “Nuvens de pontos”: Estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2015.

GROETELAARS, N. J. **NORMATIZAÇÃO APLICADA AO HBIM**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/372103781>>.

HAMED, W.; ANTABLY, A. EL. Knowledge-based HBIM for conservation: The case of Yahya al-Shabih mausoleum. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 30, 1 set. 2023.

HANAFY, N. O. Artificial intelligence’s effects on design process creativity: “A study on used A.I. Text-to-Image in architecture”. **Journal of Building Engineering**, v. 80, 1 dez. 2023.

HISTORIC ENGLAND. **3D Laser Scanning for Heritage - Advice and Guidance on the Use of Laser Scanning in Archaeology and Architecture**. [s.l: s.n.].

HORVATH, A. S.; POULIOU, P. AI for conceptual architecture: Reflections on designing with text-to-text, text-to-image, and image-to-image generators. **Frontiers of Architectural Research**, 1 jun. 2024.

IDRISSI GARTOUMI, K.; ZAKI, S.; ABOUSSALEH, M. Building information modelling (BIM) interoperability for architecture and engineering (AE) of the structural project: A case study. **Materials Today: Proceedings**, maio 2023.

INOJOSA, L. DA S. P. *et al.* **Manual para projetos de Retrofit: Metodologia em BIM**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/388717422\\_MANUAL\\_PARA\\_PROJETOS\\_DE\\_RETROFIT\\_METODOLOGIA\\_EM\\_BIM](https://www.researchgate.net/publication/388717422_MANUAL_PARA_PROJETOS_DE_RETROFIT_METODOLOGIA_EM_BIM)>. Acesso em: 21 jul. 2025.

JANG, S. Y.; KIM, S. A. Automatic generation of virtual architecture using user activities in metaverse. **International Journal of Human Computer Studies**, v. 182, 1 fev. 2024.

JÁQUEZ, Y. L. **HBIM For the historical restitution of cultural and architectural heritage: Virtual reconstruction of the Roman Forum of Sagunto**. [s.l.] Universitat Politècnica de València, 2019.

JO, H. *et al.* Generative artificial intelligence and building design: early photorealistic render visualization of façades using local identity-trained models. **Journal of Computational Design and Engineering**, v. 11, n. 2, p. 85–105, 1 abr. 2024.

JORDAN-PALOMAR, I. *et al.* Protocol to Manage Heritage-Building Interventions Using Heritage Building Information Modelling (HBIM). 2018.

JOSÉ LÓPEZ, F. *et al.* Semi-automatic generation of bim models for cultural heritage. **International Journal of Heritage Architecture: Studies, Repairs and Maintenance**, v. 2, n. 2, p. 293–302, 15 jan. 2017.

KARDINAL JUSUF, S. *et al.* **Integrated modeling of CityGML and IFC for city/neighborhood development for urban microclimates analysis**Energy Procedia. **Anais...**Elsevier Ltd, 2017.

KHALIL, A.; STRAVORAVDIS, S. **H-BIM and the domains of data investigations of heritage buildings current state of the art**ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. **Anais...**Copernicus GmbH, 4 maio 2019.

KHAN, M. S. *et al.* An Integrated HBIM Framework for the Management of Heritage Buildings. **Buildings**, v. 12, n. 7, 1 jul. 2022.

KLEIJN, M. DE; HOND, R. DE; MARTINEZ-RUBI, O. A 3D spatial data infrastructure for Mapping the Via Appia. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 3, n. 2, p. 23–32, 2016.

KREIDEREJOHN, R. G.; MESSNER, J. I. **The Uses of BIM - Classifying and Selecting BIM Uses**. [s.l.: s.n.]. v. 0.9

LEÓN, D. F. **Mejora del modelo Historic Building Information Modeling (HBIM) para la gestión de fases histórico-constructivas. Aplicación al caso de la nave de la iglesia de San Juan del Hospital en Valencia**. [s.l.] Universidad Politécnica de Valencia, 2018.

LEON, I.; PÉREZ, J. J.; SENDEROS, M. Advanced techniques for fast and accurate heritage digitisation in multiple case studies. **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 15, 1 ago. 2020.

LIDELÖW, S.; ENGSTRÖM, S.; SAMUELSON, O. The promise of BIM? Searching for realized benefits in the Nordic architecture, engineering, construction, and operation industries. **Journal of Building Engineering**, v. 76, 1 out. 2023.

LIU, S. *et al.* Multiscale hierarchy denoising method for heritage building point cloud model noise removal. **npj Heritage Science**, v. 13, n. 1, 1 dez. 2025.

LIU, X.; LIU, H.; DUAN, H. Particle swarm optimization based on dynamic niche technology with applications to conceptual design. **Advances in Engineering Software**, v. 38, n. 10, p. 668–676, 2007.

LOPES, I. T. *et al.* Automação da modelagem BIM a partir de nuvens de pontos. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 14, p. e023010, 19 maio 2023.

LÓPEZ, F. J. *et al.* **A review of heritage building information modeling (H-BIM) Multimodal Technologies and Interaction**MDPI AG, 1 jun. 2018.

LOVELL, L. J.; DAVIES, R. J.; HUNT, D. V. L. A Systems Thinking Approach to the Development of HBIM: Part 1—The Problematic Situation. **Heritage**, v. 8, n. 1, 1 jan. 2025.

LUCARELLI, M. *et al.* **BEP & mapping process for the restoration building site**ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. **Anais...**Copernicus GmbH, 4 maio 2019

MAGALHÃES, B. K. O. *et al.* Documentation strategies for HBIM model parameterization: A case study of the José de Alencar Theater. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 38, 1 set. 2025.

MAHDJOUBI, L.; MOOBELA, C.; LAING, R. Providing real-estate services through the integration of 3D laser scanning and building information modelling. **Computers in Industry**, v. 64, n. 9, p. 1272–1281, 2013.

MARTINELLI, L.; CALCERANO, F.; GIGLIARELLI, E. Methodology for an HBIM workflow focused on the representation of construction systems of built heritage. **Journal of Cultural Heritage**, v. 55, p. 277–289, 1 maio 2022.

MARTÍNEZ-CARRICONDO, P. *et al.* Combination of nadiral and oblique UAV photogrammetry and HBIM for the virtual reconstruction of cultural heritage. Case study of Cortijo del Fraile in Níjar, Almería (Spain). **Building Research and Information**, v. 48, n. 2, p. 140–159, 17 fev. 2020.

MARTÍNEZ-CARRICONDO, P. *et al.* Combination of HBIM and UAV photogrammetry for modelling and documentation of forgotten heritage. Case study: Isabel II dam in Níjar (Almería, Spain). **Heritage Science**, v. 9, n. 1, 1 dez. 2021.

MARTINS, J. Z. **O uso da metodologia BIM no gerenciamento e coordenação de projetos**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2023.

MESQUITA, E. F. T.; VIEIRA, M. M.; MOREIRA, E. **DOCUMENTA CE: THE 2 YEARS OF EXPERIENCE ON DIGITALIZATION OF CULTURAL HERITAGE OF CEARÁ** (Even3, Ed.) SIMPÓSIO CIENTÍFICO ICOMOS 2024. **Anais...**2024. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/icomos-scientific-symposium-2024-439820/843404-documenta-ce--the-2-years-of-experience-on-digitalization-of-cultural-heritage-of-ceara/>>. Acesso em: 2 out. 2025

MIAO, S. **Rendering as a Tool to Restore the Glory of Ancient Chinese Architecture**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/960246/a-renderizacao-aplicada-a-preservacao-do-patrimonio-historico-na-china>>. Acesso em: 21 jul. 2025.

MONTEIRO, A.; MARTINS, J. P. **Building Information Modeling (BIM)-Teoria e Aplicação** 2011 Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/308164357>>.

MOTA, B. B. DA; FIGUEIREDO, K. V. H-BIM no controle e avaliação do Patrimônio Histórico: Revisão Bibliográfica. **Boletim do Gerenciamento**, v. 25, 2021.

MOTA, P. P. **Modelo BIM para gestão de ativos**. Campinas: Universidade estadual de Campinas, 2017.

MOYANO, J.; GIL-ARIZÓN, I.; *et al.* Analysis and management of structural deformations through parametric models and HBIM workflow in architectural heritage. **Journal of Building Engineering**, v. 45, 1 jan. 2022.

MOYANO, J.; CARREÑO, E.; *et al.* Systematic approach to generate Historical Building Information Modelling (HBIM) in architectural restoration project. **Automation in Construction**, v. 143, 1 nov. 2022.

MUHAMMAD, A. A. *et al.* Adoption of virtual reality (VR) for site layout optimization of construction projects. **Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers**, v. 31, n. 2, p. 9833–9850, 2020.

MUNIZ, G. R.; SILVA, F. P. DA; KINDLEIN JÚNIOR, W. Design, tecnologia e patrimônio: digitalização tridimensional como ferramenta de preservação de elementos de prédios históricos. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 13, n. 2, p. 53, 26 maio 2018.

MURPHY, M. *et al.* **Developing historic building information modelling guidelines and procedures for architectural heritage in Ireland** International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. **Anais...** International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 18 ago. 2017 Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/319278711\\_DEVELOPING\\_HISTORIC\\_BUILDING\\_INFORMATION\\_MODELLING\\_GUIDELINES\\_AND\\_PROCEDURES\\_FOR\\_ARCHITECTURAL\\_HERITAGE\\_IN\\_IRELAND](https://www.researchgate.net/publication/319278711_DEVELOPING_HISTORIC_BUILDING_INFORMATION_MODELLING_GUIDELINES_AND_PROCEDURES_FOR_ARCHITECTURAL_HERITAGE_IN_IRELAND)>. Acesso em: 8 set. 2025.

MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. **Parametric Vector Modelling of Laser and Image Surveys of 17th Century Classical Architecture in Dublin** 2007 Disponível em: <[https://www.academia.edu/87094247/Parametric\\_Vector\\_Modelling\\_of\\_Laser\\_and\\_Image\\_Surveys\\_of\\_17th\\_Century\\_Classical\\_Architecture\\_in\\_Dublin](https://www.academia.edu/87094247/Parametric_Vector_Modelling_of_Laser_and_Image_Surveys_of_17th_Century_Classical_Architecture_in_Dublin)>. Acesso em: 8 set. 2025.

MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. Historic building information modelling (HBIM). **Journal of Photogrammetry and remote sensing**, 2009.

MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 76, p. 89–102, 2013.



MUSLU, O.; KOÇYIĞIT, R. G. Artificial intelligence in the context of photorealism in architectural visualization. 2025.

NABIZADEH RAFSANJANI, H.; NABIZADEH, A. H. **Towards human-centered artificial intelligence (AI) in architecture, engineering, and construction (AEC) industry** *Computers in Human Behavior Reports* Elsevier B.V., , 1 ago. 2023.

NEDERVEEN, G. A. VAN; TOLMAN, F. P. Modelling multiple views on buildings \*. *Automation in Construction*, v. 1, p. 215–224, 1992.

PARENTE, M.; BRUNO, N.; OTTONI, F. HBIM and Information Management for Knowledge and Conservation of Architectural Heritage: A Review. *Heritage*, v. 8, n. 8, p. 306, 30 jul. 2025.

PENJOR, T. *et al.* Heritage Building Information Modelling (HBIM) for Heritage Conservation: Framework of Challenges, Gaps, and Existing limitations of HBIM. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, p. e00366, jul. 2024a.

PENJOR, T. *et al.* Heritage building information modeling (HBIM) for heritage conservation: Framework of challenges, gaps, and existing limitations of HBIM. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, v. 35, 1 dez. 2024b.

PEPE, M. *et al.* Scan to BIM for the digital management and representation in 3D GIS environment of cultural heritage site. *Journal of Cultural Heritage*, v. 50, p. 115–125, 1 jul. 2021.

PLATA, A. R. M. DE LA *et al.* Protocol Development for Point Clouds, Triangulated Meshes and Parametric Model Acquisition and Integration in an HBIM Workflow for Change Control and Management in a UNESCO's World Heritage Site. *Sensors (Switzerland)*, v. 21, n. 4, p. 1–30, 2 fev. 2021.

POOLE, B. *et al.* DreamFusion: Text-to-3D using 2D Diffusion. 29 set. 2022.

PORSANI, G. B. *et al.* Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM). 2021.

PREVITALI, M.; BANFI, F. **Towards the Definition of Workflows for Automation in HBIM Generation** 2018 Disponível em: <[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-01762-0\\_5#citeas](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-01762-0_5#citeas)>. Acesso em: 9 fev. 2025.

RADUAN, S. M. S. *et al.* Unveiling The BIM Execution Plan (BEP): A Comprehensive Review of Global Frameworks and Applications. *Built Environment Journal*, v. 22, n. 2, p. 280–294, 1 jul. 2025.

RAN, M.; DONG, J. A Multiobjective Optimization Algorithm for Building Interior Design and Spatial Structure Optimization. *Mobile Information Systems*, v. 2022, 2022.

RIBEIRO, G. *et al.* **Development of a project for a Museum of Sacred Art using HBIM methodology**2024Disponível em: <<http://doi.org/10.46848/217551596>>.

RIBEIRO, G. DA C. **A aplicação de tecnologia de captura e da metodologia BIM na elaboração do projeto do museu de arte sacra da Igreja Matriz de Nossa Senhora do Rosário em Aracati/CE.** Russas: Universidade Federal do Ceará, 2023.

RIBEIRO, G. DA C. *et al.* **HBIM protocol for documentation of heritage buildings**Brasília: 2025Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/393781517\\_Proceedings\\_of\\_the\\_XXI\\_International\\_Congress\\_on\\_Building\\_Pathology\\_and\\_Construction\\_Repair\\_CINPAR\\_2025](https://www.researchgate.net/publication/393781517_Proceedings_of_the_XXI_International_Congress_on_Building_Pathology_and_Construction_Repair_CINPAR_2025)>. Acesso em: 27 set. 2025.

ROBLES, J. F. A. **Desarrollo de un protocolo para el modelado de estructuras con historic building information modelling (HBIM).** Valência: [s.n.].

ROCHA, G. *et al.* **A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings.** 2020.

ROCHA, G.; MATEUS, L. Using Dynamo for Automatic Reconstruction of BIM Elements from Point Clouds. **Applied Sciences**, v. 14, n. 10, p. 4078, 10 maio 2024.

ROCHA, G.; MATEUS, L.; FERREIRA, V. Historical Heritage Maintenance via Scan-to-BIM Approaches: A Case Study of the Lisbon Agricultural Exhibition Pavilion. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 13, n. 2, 1 fev. 2024.

ROMAN, O. *et al.* **A semi-automated approach to model architectural elements in scan-To-bim processes**International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. **Anais...International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, 24 jun. 2023.

RUBENS, T.; RIBEIRO, G.; PAULO, R.; *et al.* Digitalization based on high-resolution scanning and HBIM tools for damage assessment of the José de Alencar house. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 8, n. 1, 1 jun. 2023.

RUBENS, T.; RIBEIRO, G.; MOREIRA, E.; *et al.* Digitization of historical heritage: Nossa Senhora do Rosário Church, Aracati-CE. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 8, n. 2, 1 dez. 2023.

RUBENS, T. D. M. **Digitalização do patrimônio cultural baseado em escaneamento de alta resolução.** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2023.

S ANTONOPOULOU; P BRYAN. **BIM for Heritage: Developing an information model of historic buildings.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://historicengland.org.uk/advice/technical-advice/recording-heritage/>>. Acesso em: 14 jun. 2024.

SAIF, W. **Photogrammetry: A Brief Historical Overview.** 2022.

SAIZ, S. M.; OLIVER-FAUBEL, I.; PALOMAR, I. J. Implementación de HBIM en patrimonio arquitectónico. Estudio del caso de La iglesia de la Sang de Lliria. **EGE-Expresión Gráfica en la Edificación**, n. 15, p. 4–26, 28 dez. 2021.

SANSEVERINO, A. *et al.* An HBIM Methodology for the Accurate and Georeferenced Reconstruction of Urban Contexts Surveyed by UAV: The Case of the Castle of Charles V. **Remote Sensing**, v. 14, n. 15, 1 ago. 2022.

SANTANA, E. P.; GROETELAARS, N. J. **Normalização aplicada ao HBIM**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/372103781>>.

SANTOS, E. T. **BIM-Building Information Modeling: um salto para a modernidade na aplicação da Tecnologia da Informação à Construção Civil**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/329184339>>.

SCHNEIDER, J. I. **Pipeline Gráfico de Superfícies Fotorrealista de Tempo Real**. [s.l.] Universidad Nacional del Sur, 2013.

SEINFRA/MG; DER-MG. **Caderno Técnico de especificações de escopo de Projetos BIM de edificações**. Belo Horizonte: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.bim.mg.gov.br>>. Acesso em: 17 jul. 2025.

SENA, P. C. P. DE. **Automação de processos de projeto e programação em BIM: Dynamo, Python e C#**. São Carlos: [s.n.].

SHANOER, M. M.; ABED, F. M. Evaluate 3D laser point clouds registration for cultural heritage documentation. **Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 21, n. 3, p. 295–304, 1 dez. 2018.

SHARMA, S.; SAWHNEY, A.; ARIF, M. **Parametric Modelling for Designing Offsite Construction**Procedia Engineering. **Anais...**Elsevier Ltd, 2017.

SILVA, D. C. DA. Evolução da Fotogrametria no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**, n. 2, p. 81–96, 2015.

SILVA, F. B. L. DA; CUPERSCHMID, A. R. M. HBIM e mapa de danos: uma revisão sistemática da literatura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 13, p. e022003, 1 jan. 2022.

SPRING, A. P. A history of laser scanning, part 2: The later phase of industrial and heritage applications. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 86, n. 8, p. 479–501, 1 ago. 2020.

STARITCYNA, A. *et al.* **Energy efficiency in multi-story buildings**MATEC Web of Conferences. **Anais...**EDP Sciences, 11 ago. 2016.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, maio 2009.

SUCCAR, B. **Model Uses List**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://bimexcellence.org/files/211in-Model-Uses-Table.pdf>>. Acesso em: 2 set. 2025.

SUCCAR, B.; SALEEB, N.; SHER, W. Model Uses: Foundations for a Modular Requirements Clarification Language. 2016.

SUGIYAMA, G. T. **HBIM como ferramenta para a preservação de técnicas tradicionais de construção e de avaliação da sustentabilidade**. [s.l.] Universidade de Aveiro, 2022.

SULZER, R. *et al.* A Survey and Benchmark of Automatic Surface Reconstruction From Point Clouds. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 47, p. 2000–2019, 2025.

TANG, P. *et al.* **Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques** *Automation in Construction* Elsevier B.V., , 2010.

TINI, M. A. *et al.* Scan-to-HBIM-to-VR: An Integrated Approach for the Documentation of an Industrial Archaeology Building. **Remote Sensing**, v. 16, n. 15, 1 ago. 2024.

TOLENTINO, M. M. A. **A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico**. Salvador: Faculdade de Arquitetura da UFBA, 2018.

TONO, A. *et al.* Vitruvio: 3D Building Meshes via Single Perspective Sketches. 24 out. 2022.

TUCCI, G. *et al.* **Bim for museums: An integrated approach from the building to the collections** *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. **Anais...** Copernicus GmbH, 4 maio 2019.

UNESCO. **Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://whc.unesco.org/fr/orientations>>.

VALENÇA, J. *et al.* Feeling-BIM: A digital model to support maintenance decisions, based on automatic inspection and dwellers' feelings. **Journal of Building Engineering**, v. 87, 15 jun. 2024.

VIEIRA, M. *et al.* Updating the documentation of a historic building: a case study of the José de Alencar theatre. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 8, n. 1, 1 jun. 2023.

VIEIRA, M. M. *et al.* Strategy for HBIM implementation using high-resolution 3D architectural documentation based on laser scanning and photogrammetry of the José de

Alencar theatre. **Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage**, v. 30, 1 set. 2023.

VIEIRA, M. M. *et al.* Semi-automatic scan-to-BIM procedure applied to architectural ornaments of Nossa Senhora do Rosário Church, Aracati-CE. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 9, n. 1, 1 jun. 2024.

VIZIOLI, S. H. T. *et al.* As interoperabilidades no processo da documentação e comunicação do patrimônio cultural. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 18, n. 2, p. 27–48, 30 nov. 2023.

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. **Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs** *Automation in Construction*, mar. 2014.

WANG, D.; HUANG, J. Automated Generation and Internal Force Visualization for Box Culvert Based on Building Information Modeling. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 14, n. 6, 1 mar. 2024.

WEFKI, H.; ELNAHLA, M.; ELBELTAGI, E. BIM-based schedule generation and optimization using genetic algorithms. **Automation in Construction**, v. 164, 1 ago. 2024.  
WOLF, P. R. *et al.* **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS Fourth Edition**. [s.l: s.n.].

YABUKI, N.; ARUGA, T.; FURUYA, H. **Development and application of a product model for shield tunnels**. [s.l: s.n.].

YANG, X.; KOEHL, M.; GRUSSENMEYER, P. **Mesh-to-bim: From segmented mesh elements to bim model with limited parameters** *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. Anais...International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 30 maio 2018.

YOUNUS, I.; AL-HINKAWI, W.; LAFTA, S. The role of historic building information modeling in the cultural resistance of liberated city. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 14, n. 10, 1 out. 2023.

**APÊNDICE A – Plano de Execução BIM do Sobrado Dr. José Lourenço**



Este documento tem por objetivo consolidar as informações e os requisitos necessários para a aplicação da metodologia BIM no processo de modelagem de edificações históricas de forma estruturada e consistente.

Nele, devem ser definidos um conjunto de informações essenciais para a execução das atividades, o estabelecimento de metas e objetivos, bem como a delimitação de responsabilidades, de modo a assegurar o alinhamento de expectativas entre todas as partes envolvidas.

Ressalta-se que se trata de um documento dinâmico, passível de atualizações ao longo de todo o processo de modelagem.

### HISTÓRICO DE REGISTRO

| VERSÃO             | DATA         | AUTOR           | DESCRIÇÃO             |
|--------------------|--------------|-----------------|-----------------------|
| [Número da versão] | [00/00/0000] | [Nome do autor] | [Ex: Emissão inicial] |
|                    |              |                 |                       |
|                    |              |                 |                       |
|                    |              |                 |                       |
|                    |              |                 |                       |

### ÍNDICE

#### 1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO

1.1 INFORMAÇÕES DA CONSTRUÇÃO

1.2 INFORMAÇÕES DO ÓRGÃO RESPONSÁVEL

#### 2. REQUISITOS DE INFORMAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO - OIR

2.1 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

#### 3. REQUISITOS DE INFORMAÇÕES DO ATIVO - AIR

3.1 USOS PRETENDIDOS DO HBIM

3.2 NÍVEL DE INFORMAÇÃO NECESSÁRIA (LOIN)

3.3 CRONOGRAMA DE MODELAGEM

3.4 EQUIPE HBIM

3.5 FERRAMENTAS

3.6 PADRONIZAÇÃO DE NOMENCLATURA

3.7 ESPECIFICAÇÕES DE MODELAGEM

#### 4. REQUISITOS DE TROCA DE INFORMAÇÕES - EIR

4.1 REPOSITÓRIO

4.2 FREQUÊNCIA DE ATUALIZAÇÃO DOS ARQUIVOS

4.3 COMUNICAÇÃO



### 1. IDENTIFICAÇÃO DO OBJETO

#### 1.1 INFORMAÇÕES DA CONSTRUÇÃO

|                         |                                                                  |                                              |                                          |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------|
| Nome da edificação:     | Sobrado Dr. José Lourenço                                        | Sigla:                                       | DJL                                      |
| Endereço completo:      | Rua Major Facundo, 154 – Centro, Fortaleza, Ceará, CEP 60025-100 |                                              |                                          |
| Tipo de proteção:       | Tombamento Estadual                                              |                                              |                                          |
| Tipo de uso atual:      | Espaço cultural                                                  |                                              |                                          |
| Ano de construção:      | Segunda metade do século XIX                                     |                                              |                                          |
| Número de pavimentos:   | 3 pavimentos                                                     |                                              |                                          |
| Documentação existente: | Nuvem de pontos                                                  |                                              |                                          |
| Nível de acesso:        | <input type="checkbox"/> LIVRE                                   | <input checked="" type="checkbox"/> RESTRITO | <input type="checkbox"/> SOB AGENDAMENTO |
| Observações adicionais: | [Campo livre para anotações]                                     |                                              |                                          |

#### 1.2 INFORMAÇÕES DO ÓRGÃO RESPONSÁVEL

|                                             |                                                     |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Nome do órgão/instituição:                  | SECULT                                              |
| Nome do responsável técnico:                | [Nome da pessoa de contato principal da edificação] |
| Cargo do responsável técnico:               | [Ex: Arquiteto, coordenador, etc]                   |
| Telefone de contato do órgão/instituição:   | [00 00000-0000]                                     |
| Telefone de contato do responsável técnico: | [00 00000-0000]                                     |
| Endereço completo do órgão/instituição:     | [Rua, número, bairro, cidade, estado e CEP]         |
| E-mail do órgão/instituição:                | [Ex: exemplo@orgao.gov.br]                          |
| E-mail do responsável técnico:              | [Ex: exemplo@orgao.gov.br]                          |
| Observações adicionais:                     | [Campo livre para anotações]                        |





### 2. REQUISITOS DE INFORMAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO - OIR

Consiste na indicação de objetivos, por parte do órgão responsável, que deverão ser considerados durante a elaboração do modelo. Diante disso, sempre que possível, deverão estar vinculados aos usos HBIM pretendidos (Seção 3.1)

#### 2.1 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

| ÍTEM | OBJETIVOS   | USOS                                                                                  |
|------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Modelo HBIM | Documentação geométrica, Extração de quantitativos, Reconstrução digital e divulgação |
| 2    |             |                                                                                       |
| 3    |             |                                                                                       |
| 4    |             |                                                                                       |
| 5    |             |                                                                                       |
| 6    |             |                                                                                       |
| 7    |             |                                                                                       |



### 3. REQUISITOS DE INFORMAÇÕES DO ATIVO - AIR

Segundo a ABNT NBR ISO 19650:2022, os Requisitos de Informação do Ativo (AIR) definem as informações necessárias para a operação e manutenção de um ativo ao longo de seu ciclo de vida.

#### 3.1 USOS PRETENDIDOS DO HBIM

|                           |                                     |  |
|---------------------------|-------------------------------------|--|
| Documentação geométrica   | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Extração de quantitativos | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Orçamentação              | <input type="checkbox"/>            |  |
| Simulação energética      | <input type="checkbox"/>            |  |
| Reconstrução digital      | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Divulgação                | <input checked="" type="checkbox"/> |  |
| Manutenção                | <input type="checkbox"/>            |  |
| Outro:                    |                                     |  |

#### 3.2 NÍVEL DE INFORMAÇÃO NECESSÁRIA (LOIN)

| PAREDES | NÍVEL DE DETALHE (ND)                                                                         | NÍVEL DE INFORMAÇÃO (NI)               |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|         | ND1: Bidimensional, representação por meio de símbolos ou ilustrações genéricas dimensionais. | 1. Identificação                       |
|         |                                                                                               | Código/ ID                             |
|         |                                                                                               | Localização                            |
|         |                                                                                               |                                        |
|         |                                                                                               | 2. Análise e Simulação                 |
|         |                                                                                               |                                        |
|         |                                                                                               |                                        |
|         |                                                                                               |                                        |
|         |                                                                                               | 3. Orçamento                           |
|         |                                                                                               |                                        |
|         |                                                                                               |                                        |
|         |                                                                                               |                                        |
|         |                                                                                               | 4. Planejamento/ Operação e Manutenção |
|         |                                                                                               |                                        |
|         |                                                                                               |                                        |

| PISOS | NÍVEL DE DETALHE (ND)                                                                  | NÍVEL DE INFORMAÇÃO (NI)               |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|       | ND3: Geometria definida com dimensões específicas, como altura, largura e comprimento. | 1. Identificação                       |
|       |                                                                                        | Código/ ID                             |
|       |                                                                                        | Localização                            |
|       |                                                                                        |                                        |
|       |                                                                                        | 2. Análise e Simulação                 |
|       |                                                                                        |                                        |
|       |                                                                                        |                                        |
|       |                                                                                        |                                        |
|       |                                                                                        | 3. Orçamento                           |
|       |                                                                                        |                                        |
|       |                                                                                        |                                        |
|       |                                                                                        |                                        |
|       |                                                                                        | 4. Planejamento/ Operação e Manutenção |
|       |                                                                                        |                                        |

| FORROS | NÍVEL DE DETALHE (ND)                                  | NÍVEL DE INFORMAÇÃO (NI)               |
|--------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|        | ND2: Geometria genérica com dimensões não específicas. | 1. Identificação                       |
|        |                                                        | Código/ ID                             |
|        |                                                        | Localização                            |
|        |                                                        |                                        |
|        |                                                        | 2. Análise e Simulação                 |
|        |                                                        |                                        |
|        |                                                        |                                        |
|        |                                                        |                                        |
|        |                                                        | 3. Orçamento                           |
|        |                                                        |                                        |
|        |                                                        |                                        |
|        |                                                        |                                        |
|        |                                                        | 4. Planejamento/ Operação e Manutenção |
|        |                                                        |                                        |

| COBERTURAS | NÍVEL DE DETALHE (ND)                                  | NÍVEL DE INFORMAÇÃO (NI)               |
|------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|            | ND2: Geometria genérica com dimensões não específicas. | 1. Identificação                       |
|            |                                                        | Código/ ID                             |
|            |                                                        | Localização                            |
|            |                                                        |                                        |
|            |                                                        | 2. Análise e Simulação                 |
|            |                                                        |                                        |
|            |                                                        |                                        |
|            |                                                        |                                        |
|            |                                                        | 3. Orçamento                           |
|            |                                                        |                                        |
|            |                                                        |                                        |
|            |                                                        |                                        |
|            |                                                        | 4. Planejamento/ Operação e Manutenção |
|            |                                                        |                                        |

| ESQUADRIAS | NÍVEL DE DETALHE (ND)                                                                  | NÍVEL DE INFORMAÇÃO (NI)               |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|            | ND3: Geometria definida com dimensões específicas, como altura, largura e comprimento. | 1. Identificação                       |
|            |                                                                                        | Código/ ID                             |
|            |                                                                                        | Localização                            |
|            |                                                                                        |                                        |
|            |                                                                                        | 2. Análise e Simulação                 |
|            |                                                                                        |                                        |
|            |                                                                                        |                                        |
|            |                                                                                        |                                        |
|            |                                                                                        | 3. Orçamento                           |
|            |                                                                                        |                                        |
|            |                                                                                        |                                        |
|            |                                                                                        |                                        |
|            |                                                                                        | 4. Planejamento/ Operação e Manutenção |
|            |                                                                                        |                                        |

3.3 CRONOGRAMA DE MODELAGEM

| ETAPA                               | ATIVIDADE                                    | DATA INICIAL | DATA DE FINALIZAÇÃO | STATUS       |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|--------------|---------------------|--------------|
| Modelagem digital                   | Criação das paredes                          | 00/00/0000   | 00/00/0000          | CONCLUÍDO    |
|                                     | Criação dos pisos                            | 00/00/0000   | 00/00/0000          | CONCLUÍDO    |
|                                     | Criação dos forros                           | 00/00/0000   | 00/00/0000          | CONCLUÍDO    |
|                                     | Criação da cobertura                         | 00/00/0000   | 00/00/0000          | CONCLUÍDO    |
|                                     | Criação das platibandas                      | 00/00/0000   | 00/00/0000          | EM ANDAMENTO |
|                                     | Criação das famílias de esquadrias           | 00/00/0000   | 00/00/0000          | PENDENTE     |
|                                     | Criação dos elementos de drenagem            | 00/00/0000   | 00/00/0000          | PENDENTE     |
|                                     | Criação dos elementos de acabamento          | 00/00/0000   | 00/00/0000          | PENDENTE     |
|                                     | Criação dos elementos de circulação vertical | 00/00/0000   | 00/00/0000          | PENDENTE     |
| Precisão geométrica                 | -                                            | 00/00/0000   | 00/00/0000          | PENDENTE     |
| Enriquecimento semântico            | -                                            | 00/00/0000   | 00/00/0000          | PENDENTE     |
| Documentação e reconstrução digital | Criação de tabelas de                        | 00/00/0000   | 00/00/0000          | PENDENTE     |
|                                     | Criação de vistas e plantas                  | 00/00/0000   | 00/00/0000          | PENDENTE     |
|                                     | Plotagem                                     | 00/00/0000   | 00/00/0000          | PENDENTE     |
|                                     | Criação de imagens                           | 00/00/0000   | 00/00/0000          | PENDENTE     |

3.4 EQUIPE HBIM

| NOME               | E- MAIL                        | FUNÇÃO      |
|--------------------|--------------------------------|-------------|
| Engenheiro Civil X | [E-mail do engenheiro civil x] | GERENTE     |
| Engenheiro Civil Y | [E-mail do engenheiro civil y] | COORDENADOR |
| Engenheiro Civil Z | [E-mail do engenheiro civil z] | MODELADOR   |

3.5 FERRAMENTAS

| PLATAFORMA           | FABRICANTE | VERSÃO | ETAPA                                              |
|----------------------|------------|--------|----------------------------------------------------|
| Revit                | Autodesk   | 2024   | Modelagem, Enriquecimento semântico e Documentação |
| Plugin Faro As-Built | Faro       | -      | Precisão Geométrica                                |
| Lumion               | Act-3D BV  | 10.3.1 | Reconstrução Digital                               |

3.6 PADRONIZAÇÃO DE NOMENCLATURA

| CATEGORIAS | ÍTEM                  | PADRÃO DE NOMENCLATURA                                                                            |
|------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ARQUIVOS   | .RVT                  | [Sigla do Edifício] - [Cidade] - [Fase] - [Disciplina] -[Revisão]                                 |
|            | PDF<br>(Documentação) | [Sigla do Edifício] - [Cidade] - [Fase] - [Disciplina] - [Número de Pranchas] - [Revisão]         |
| MODELAGEM  | Paredes               | [Disciplina]_[Tipo de Elemento]_[Estrutura]_[Espessura]_[Acabamento Interno]_[Acabamento Externo] |
|            | Pisos                 | [Disciplina]_[Tipo de Elemento]_[Estrutura]_[Espessura]_[Acabamento]_[Dimensões]                  |
|            | Forros e coberturas   | [Disciplina]_[Tipo de Elemento]_[Estrutura]_[Espessura]_[Acabamento]                              |
|            | Materiais             | [Tipo]_[Descrição]_[Fabricante]_[Cor]                                                             |

### 3.7 ESPECIFICAÇÕES DE MODELAGEM

| ELEMENTO                                                               |                                  | ESPECIFICAÇÃO                       |                                       |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| M<br>O<br>D<br>E<br>L<br>A<br>G<br>E<br>M<br><br>M<br>A<br>C<br>R<br>O | PAREDE                           | <input type="checkbox"/>            | PAREDE BÁSICA                         |
|                                                                        |                                  | <input type="checkbox"/>            | PAREDE COMPOSTA                       |
|                                                                        |                                  | <input checked="" type="checkbox"/> | PAREDE CEBOLA                         |
|                                                                        | PISO                             | <input type="checkbox"/>            | PISO BÁSICO                           |
|                                                                        |                                  | <input checked="" type="checkbox"/> | PISO COMPOSTA                         |
|                                                                        |                                  | <input type="checkbox"/>            | PISO CEBOLA                           |
|                                                                        | FORRO                            | <input checked="" type="checkbox"/> | FORRO BÁSICO                          |
|                                                                        |                                  | <input type="checkbox"/>            | FORRO COMPOSTO                        |
|                                                                        | COBERTA                          | <input checked="" type="checkbox"/> | COBERTURA BÁSICA                      |
|                                                                        |                                  | <input type="checkbox"/>            | COBERTURA COMPOSTA                    |
|                                                                        |                                  | <input type="checkbox"/>            | COBERTURA ESTRUTURADA                 |
|                                                                        |                                  | <input type="checkbox"/>            | COBERTURA SOBREPOSTA                  |
|                                                                        | PLATIBANDA                       | <input checked="" type="checkbox"/> | APLICA-SE                             |
|                                                                        |                                  | <input type="checkbox"/>            | NÃO SE APLICA                         |
| M<br>O<br>D<br>E<br>L<br>A<br>G<br>E<br>M<br><br>M<br>I<br>C<br>R<br>O | ELEMENTOS DE VEDAÇÃO             | <input checked="" type="checkbox"/> | FAMÍLIA DE PORTA (FERRAMENTA NATIVA)  |
|                                                                        |                                  | <input checked="" type="checkbox"/> | FAMÍLIA DE JANELA (FERRAMENTA NATIVA) |
|                                                                        | ELEMENTOS DE DRENAGEM            | <input checked="" type="checkbox"/> | FAMÍLIA GENÉRICA                      |
|                                                                        |                                  | <input type="checkbox"/>            | CRIAÇÃO DE FAMÍLIA ESPECÍFICA         |
|                                                                        | ELEMENTOS DE ACABAMENTO          | <input type="checkbox"/>            | RODAPÉ (PAREDE:MOLDURA)               |
|                                                                        |                                  | <input checked="" type="checkbox"/> | RODAPÉ (PAREDE:ARQUITETÔNICA)         |
|                                                                        |                                  | <input type="checkbox"/>            | SOLEIRA (EXTRUSÃO)                    |
|                                                                        |                                  | <input checked="" type="checkbox"/> | SOLEIRA (PISO:ARQUITETÔNICO)          |
|                                                                        | ELEMENTOS DE CIRCULAÇÃO VERTICAL | <input checked="" type="checkbox"/> | ESCADA (FERRAMENTA NATIVA)            |
|                                                                        |                                  | <input checked="" type="checkbox"/> | ESCADA (EXTRUSÃO)                     |
|                                                                        |                                  | <input type="checkbox"/>            | RAMPA (FERRAMENTA NATIVA)             |
|                                                                        |                                  | <input type="checkbox"/>            | RAMPA (EXTRUSÃO)                      |
|                                                                        |                                  | <input checked="" type="checkbox"/> | GUARDA-CORPO (FERRAMENTA NATIVA)      |
|                                                                        |                                  | <input checked="" type="checkbox"/> | GUARDA-CORPO (EXTRUSÃO)               |

|               |                           |                                     |                                    |
|---------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
|               | ELEMENTOS DE PROTEÇÃO     | <input type="checkbox"/>            | CORRIMÃO (FERRAMENTA NATIVA)       |
|               |                           | <input checked="" type="checkbox"/> | CORRIMÃO (EXTRUSÃO)                |
|               |                           | <input type="checkbox"/>            | BARRA DE APOIO (FERRAMENTA NATIVA) |
|               |                           | <input type="checkbox"/>            | BARRA DE APOIO (EXTRUSÃO)          |
| FAMI.<br>HBIM | ORNAMENTOS ARQUITETÔNICOS | <input checked="" type="checkbox"/> | MODELAGEM MANUAL                   |
|               |                           | <input type="checkbox"/>            | MODELAGEM SEMIAUTOMÁTICA           |





### 4. REQUISITOS DE TROCA DE INFORMAÇÕES - EIR

De acordo com a ABNT NBR ISO 19650:2022, os Requisitos de Troca de Informações (EIR) são responsáveis por detalhar como as informações devem ser geradas e compartilhadas.

#### 4.1 REPOSITÓRIO

|              |                               |
|--------------|-------------------------------|
| Google Drive | [Link da Pasta da Edificação] |
|--------------|-------------------------------|

#### 4.2 FREQUÊNCIA DE ATUALIZAÇÃO DOS ARQUIVOS

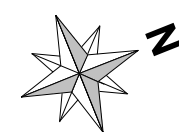
| ETAPA                    | FASE                     | FORMATO    | FREQUÊNCIA        |
|--------------------------|--------------------------|------------|-------------------|
| CRONOGRAMA               | -                        | .pdf       | Semanalmente      |
| MODELAGEM                | Preparação               | .rvt       | Quinzenalmente    |
|                          | Estruturação             | .rvt       |                   |
|                          | Modelagem Macro          | .rvt       |                   |
|                          | Modelagem Micro          | .rvt       |                   |
|                          | Criação de Famílias HBIM | .rvt       |                   |
| PRECISÃO GEOMÉTRICA      | -                        | .txt       | Atualização Única |
| ENRIQUECIMENTO SEMÂNTICO | -                        | .rvt       | Atualização Única |
| DOCUMENTAÇÃO DO MODELO   | Pranchas                 | .rvt       | Atualização Única |
| RECONSTRUÇÃO DIGITAL     | Imagens                  | .png e .ls | Atualização Única |

#### 4.3 COMUNICAÇÃO

| CANAL       | FUNÇÃO                    | FREQUÊNCIA                          |                                     |                          | RESPONSÁVEL        |
|-------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------|
|             |                           | DIA.                                | SEM.                                | QUINZ.                   |                    |
| E-MAIL      | Comunicados oficiais      | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | Engenheiro Civil X |
| WHATSAPP    | Comunicação rápida        | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Engenheiro Civil X |
| GOOGLE MEET | Reuniões de transparência | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | Engenheiro Civil X |

**APÊNDICE B – Documentação técnica do Sobrado Dr. José Lourenço**

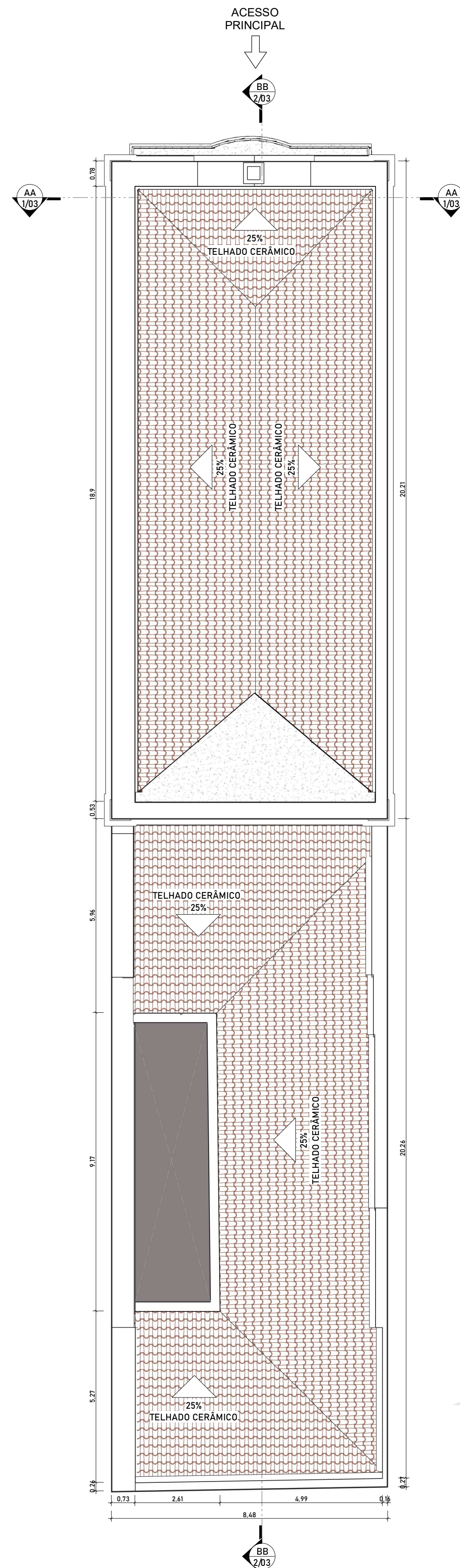




Escala: 1 : 500

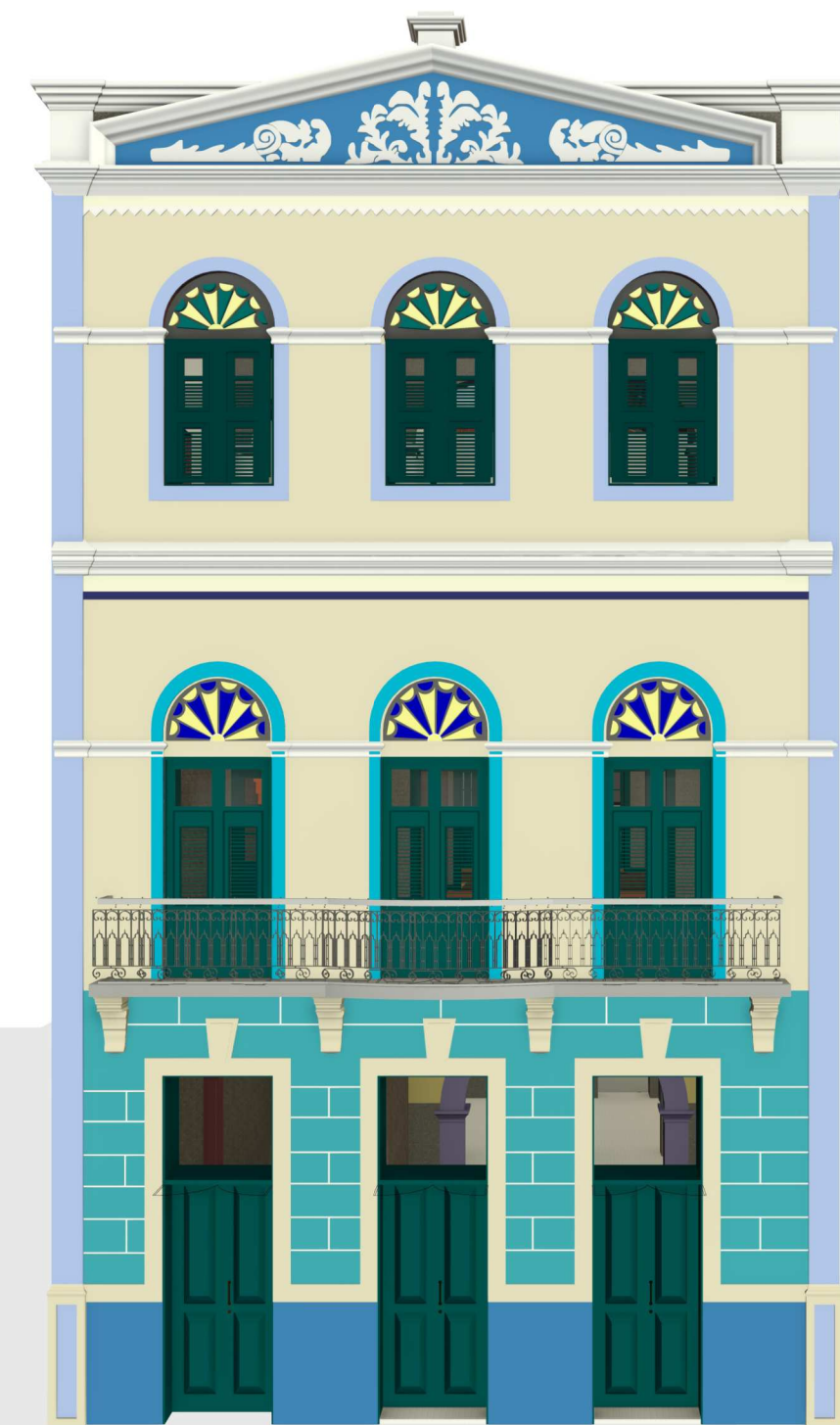


3



Escala: 1 : 100

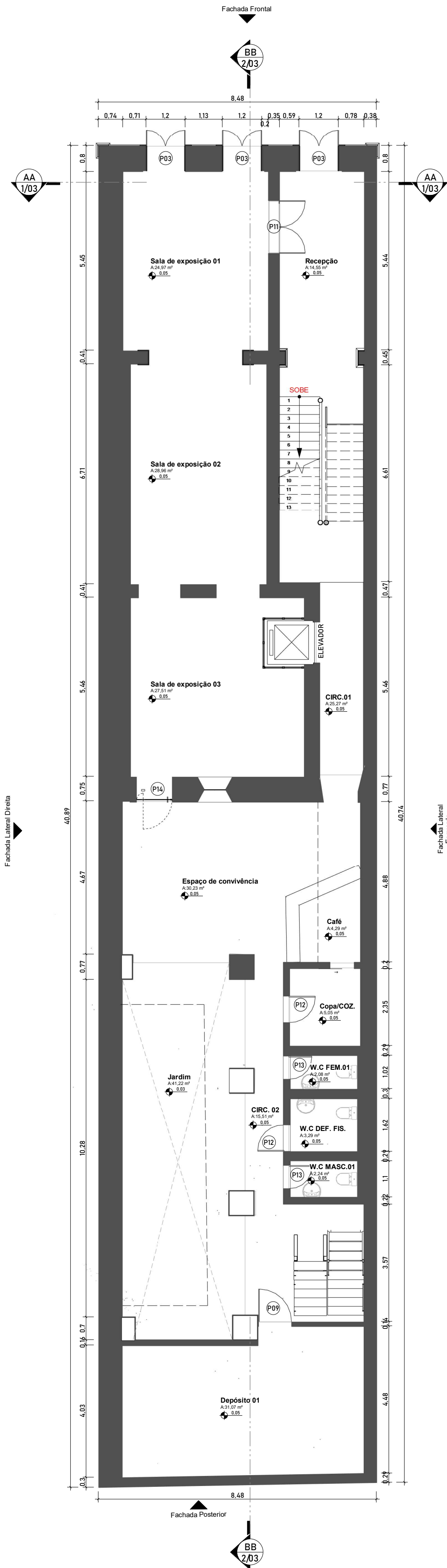
| QUADRO DE VISTAS                                 |                 |
|--------------------------------------------------|-----------------|
| Conteúdo                                         | Número da folha |
| Planta de situação e Planta de Locação e Coberta | 01              |
| Plantas baixas técnicas                          | 02              |
| Elevações                                        | 03              |
| Fachada Frontal e Lateral direita                | 04              |
| Fachada posterior e Lateral esquerda             | 05              |



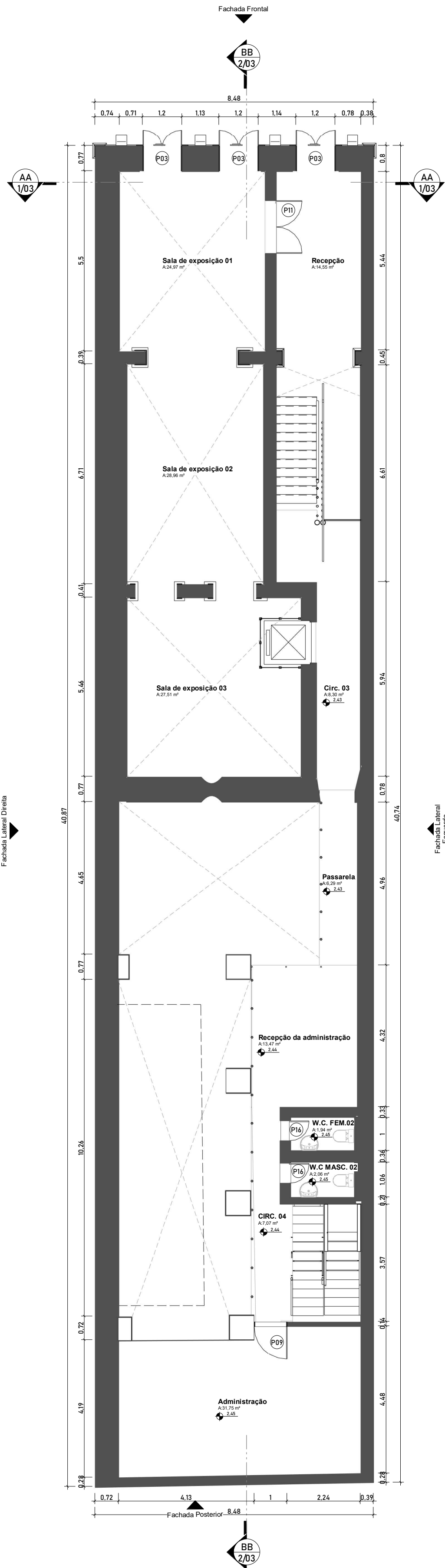
|                                                                               |                         |                                               |  |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|--|
|                                                                               |                         | <b>ARQUITETOS BRASILEIROS</b><br><b>ABRAS</b> |  |
|                                                                               |                         | <b>ABRAS</b><br><b>ABRAS</b>                  |  |
| <b>PROJETO:</b> SOBRADO DR. JOSÉ LOURENÇO                                     |                         | <b>REVISÃO:</b>                               |  |
| <b>SETOR:</b> FORTALEZA - CEARÁ                                               |                         | <b>ESCALA:</b> INDICADA                       |  |
| <b>FASE:</b> LEVANTAMENTO                                                     | <b>DATA:</b> 14/10/2025 | <b>UNIDADE:</b> METROS                        |  |
| <b>DESENHO:</b> ENG. GILMÁRIO DA COSTA RIBEIRO                                |                         | <b>VRANCHA:</b>                               |  |
| <b>CONTEÚDO:</b> PLANTA DE SITUAÇÃO; PLANTA DE LOCAÇÃO E COBERTA; LOCALIZAÇÃO |                         | <b>1/5</b>                                    |  |



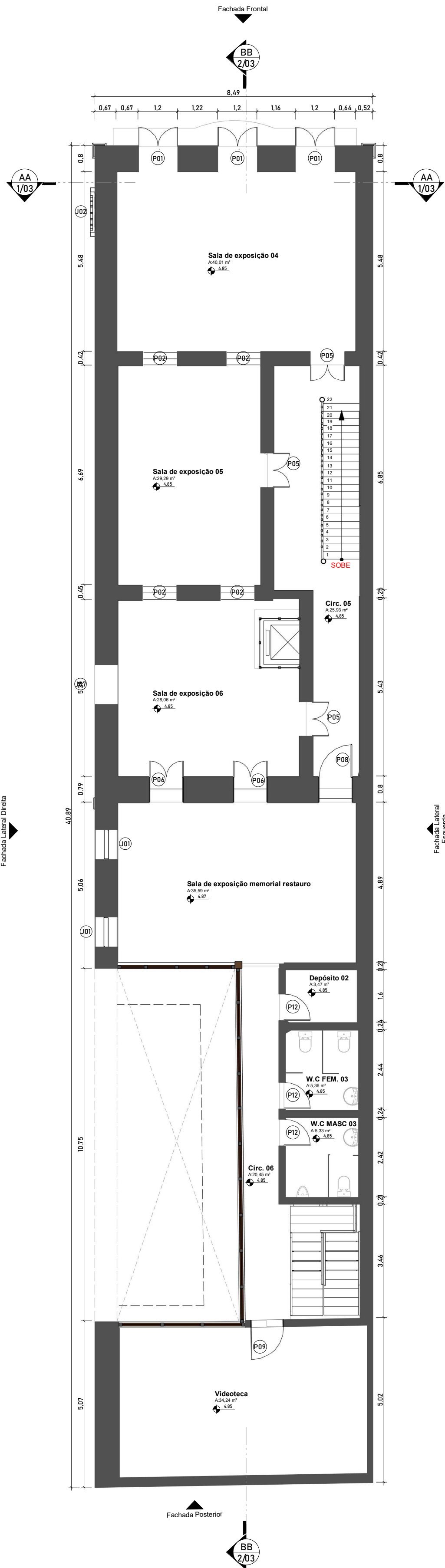
TODAS AS MEDIDAS DEVERÃO SER VERIFICADAS "IN LOCO"



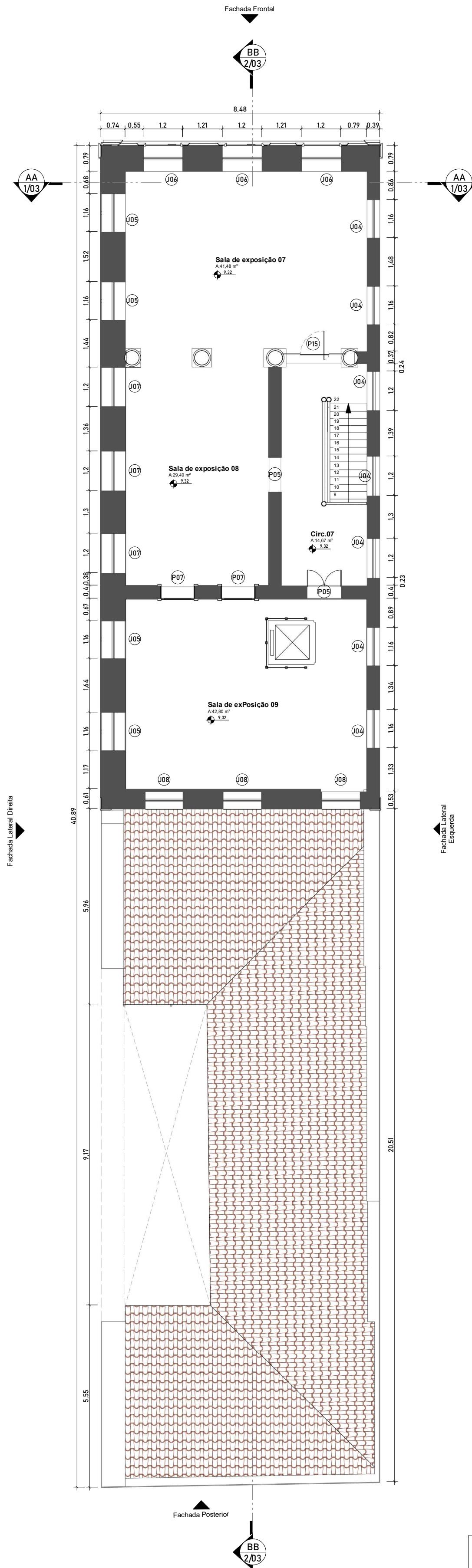
1 Planta Baixa Técnica - Pavimento Térreo  
Escala: 1 : 100



2 Planta Baixa Técnica - Mezanino  
Escala: 1 : 100



3 Planta Baixa Técnica - Primeiro Pavimento  
Escala: 1 : 100



4 Planta Baixa Técnica - Segundo Pavimento  
Escala: 1 : 100

| QUADRO DE ESQUADRIAS - PORTAS |           |        |                                    |                 |     |
|-------------------------------|-----------|--------|------------------------------------|-----------------|-----|
| CÓD                           | DIMENSÕES |        | DESCRIÇÃO                          | MATERIAL        | QTD |
| P01                           | LARGURA   | ALTURA | Porta de giro - 2 folhas           | Madeira e vidro | 3   |
| P02                           | 1.200     | 2.300  | Vão de Porta com Bandeira Vazada   | Madeira         | 4   |
| P03                           | 1.000     | 2.800  | Porta de giro - 2 folhas           | Madeira         | 3   |
| P05                           | 1.000     | 2.802  | Porta de giro - 2 folhas           | Madeira e vidro | 5   |
| P06                           | 1.000     | 2.802  | Porta de giro - 2 folhas           | Madeira e vidro | 2   |
| P07                           | 1.000     | 2.802  | Vão de Porta com Bandeira Vazada   | Madeira         | 2   |
| P08                           | 1.000     | 2.802  | Vão de Porta com Bandeira de vidro | Madeira e vidro | 1   |
| P09                           | 1.000     | 2.800  | Porta de giro                      | Madeira         | 3   |
| P11                           | 1.600     | 2.400  | Porta de giro - 2 folhas           | Madeira         | 1   |
| P12                           | 0.800     | 2.100  | Porta de giro                      | Madeira         | 5   |
| P13                           | 0.700     | 2.100  | Porta de giro                      | Madeira         | 2   |
| P14                           | 1.100     | 2.380  | Porta de giro                      | Vidro           | 1   |
| P15                           | 0.872     | 2.400  | Porta de giro                      | Vidro           | 1   |
| P16                           | 0.600     | 2.100  | Porta de giro                      | Madeira         | 2   |
| P17                           | 0.700     | 2.100  | Porta de correr                    | Madeira         | 1   |
| Total geral: 36               |           |        |                                    |                 |     |

| QUADRO DE ESQUADRIAS - JANELAS |           |        |          |                                                   |                 |     |
|--------------------------------|-----------|--------|----------|---------------------------------------------------|-----------------|-----|
| COD                            | DIMENSÕES |        |          | DESCRIÇÃO                                         | MATERIAL        | QTD |
|                                | LARGURA   | ALTURA | PEITORIL |                                                   |                 |     |
| J01                            | 0.950     | 1.600  | 0.840    | Janela de folha fixa                              | Vidro           | 2   |
| J02                            | 1.200     | 1.600  | 0.528    | Janela de 2 folhas com arco e bandeira decorativa | Madeira e vidro | 1   |
| J07                            | 1.200     | 1.600  | 0.791    | Janela de 2 folhas com arco e bandeira decorativa | Madeira e vidro | 1   |
| J04                            | 1.200     | 1.600  | 0.802    | Janela de 2 folhas                                | Madeira e vidro | 7   |
| J05                            | 1.200     | 1.600  | 0.840    | Janela de 2 folhas com arco e bandeira decorativa | Madeira e vidro | 4   |
| J06                            | 1.200     | 1.600  | 0.885    | Janela de 2 folhas com arco e bandeira decorativa | Madeira         | 3   |
| J07                            | 1.200     | 1.600  | 0.922    | Janela de 2 folhas com arco e bandeira decorativa | Madeira e vidro | 3   |
| J08                            | 1.200     | 1.600  | 0.942    | Janela de 2 folhas com arco e bandeira decorativa | Madeira e vidro | 3   |
| Total geral: 24                |           |        |          |                                                   |                 |     |

PROJETO: SOBRADO DR. JOSÉ LOURENÇO

SETOR: FORTALEZA - CEARÁ

FASE: LEVANTAMENTO

CONTEÚDO: PLANTAS BAIXAS TÉCNICAS: TÉRREO, MEZANINO, PRIMEIRO PAVIMENTO E SEGUNDO PAVIMENTO

REVISÃO:

ESCALA: INDICADA

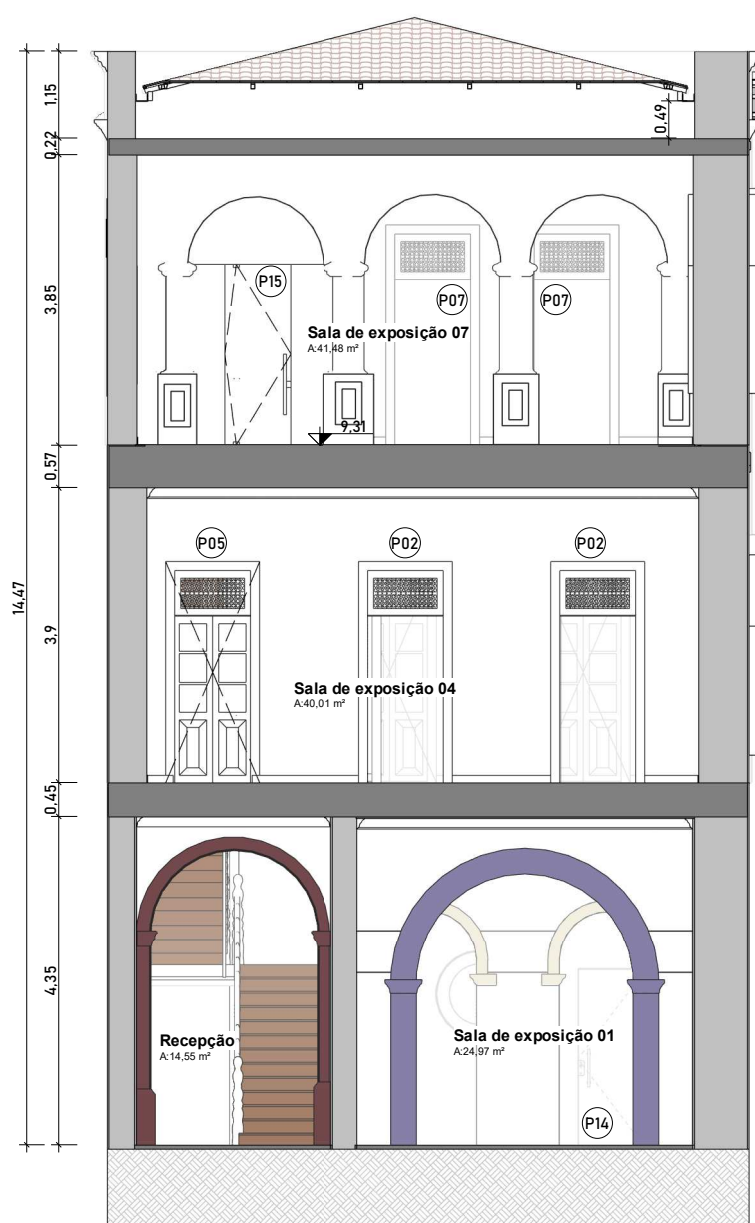
UNIDADE: METROS

PRANCHA: 2/5

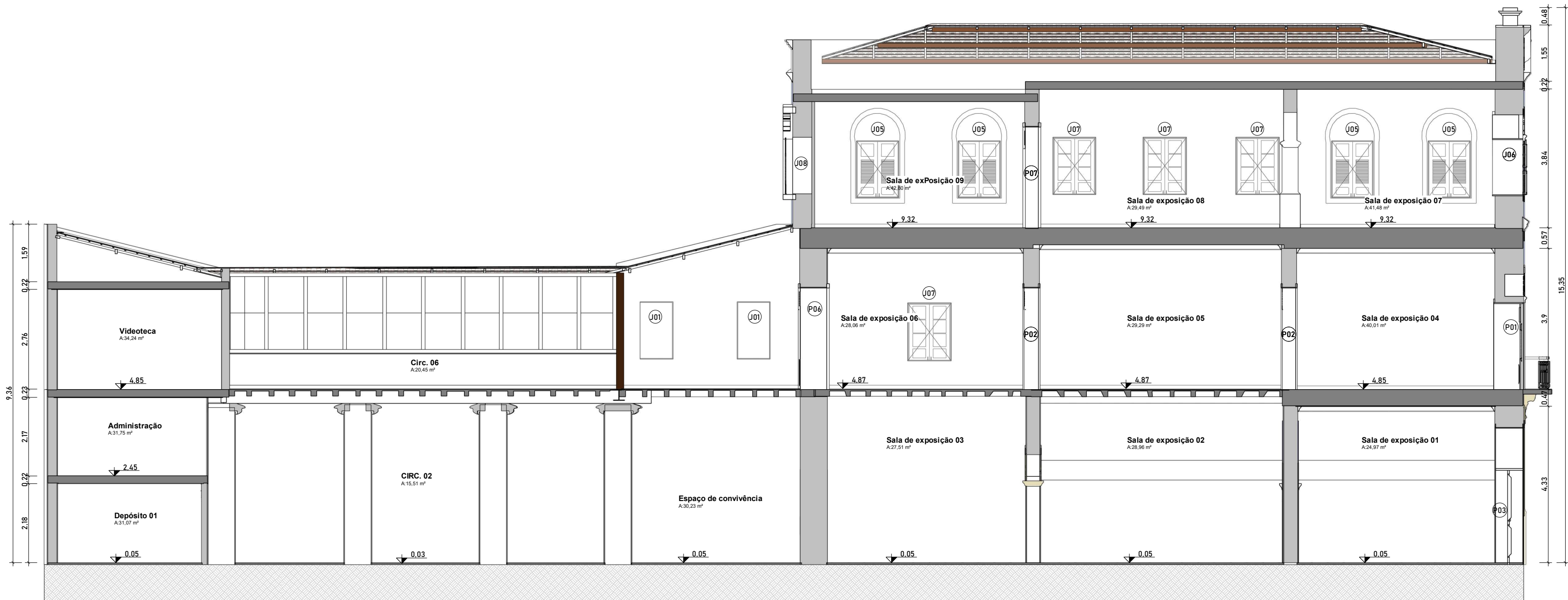
ARQUITETÔNICO



TODAS AS MEDIDAS DEVERÃO SER VERIFICADAS "IN LOCO"



1 Elevação AA  
Escala: 1 : 100



2 Elevação BB  
Escala: 1 : 100



3 Corte Isométrico

REPRODUÇÃO SOMENTE COM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DO AUTOR DO PROJETO, LEI Nº. 9.610 - LEI DO DIREITO AUTORAL.



PROJETO: SOBRADO DR. JOSÉ LOURENÇO

SETOR: FORTALEZA - CEARÁ

FASE: LEVANTAMENTO

DESENHO: ENG. GILMÁRIO DA COSTA RIBEIRO

CONTEÚDO: ELEVAÇÕES: AA E BB; CORTE ISOMÉTRICO

REVISÃO:

ESCALA: INDICADA

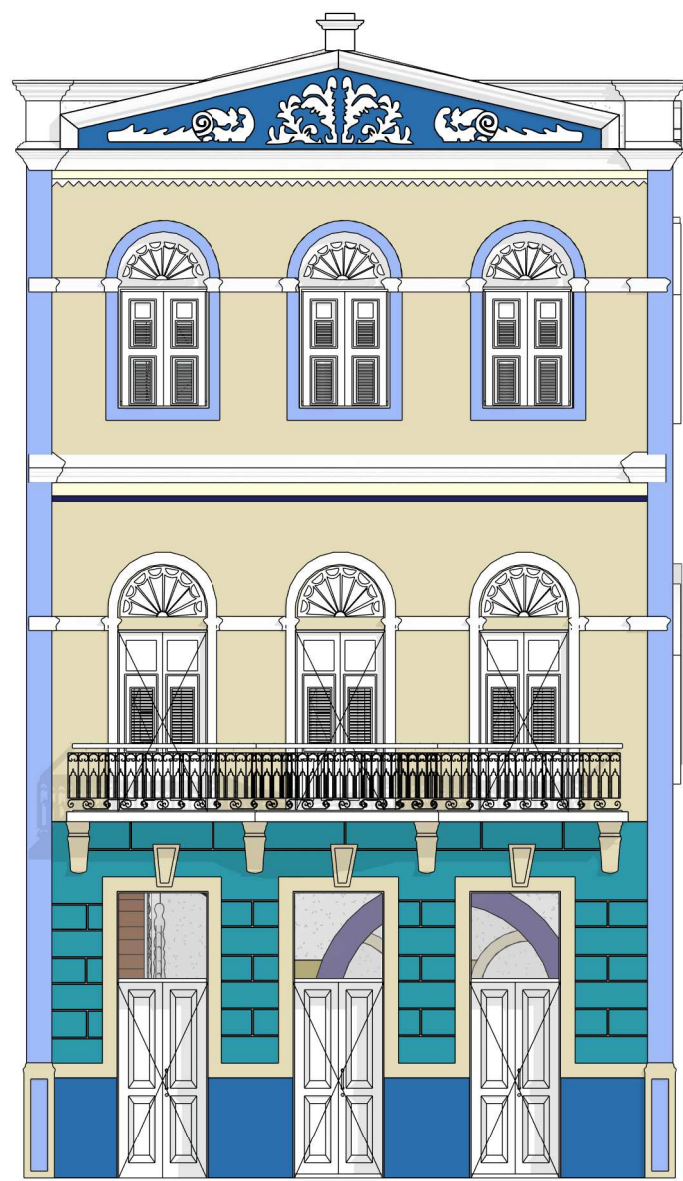
UNIDADE: METROS

PRANCHA:

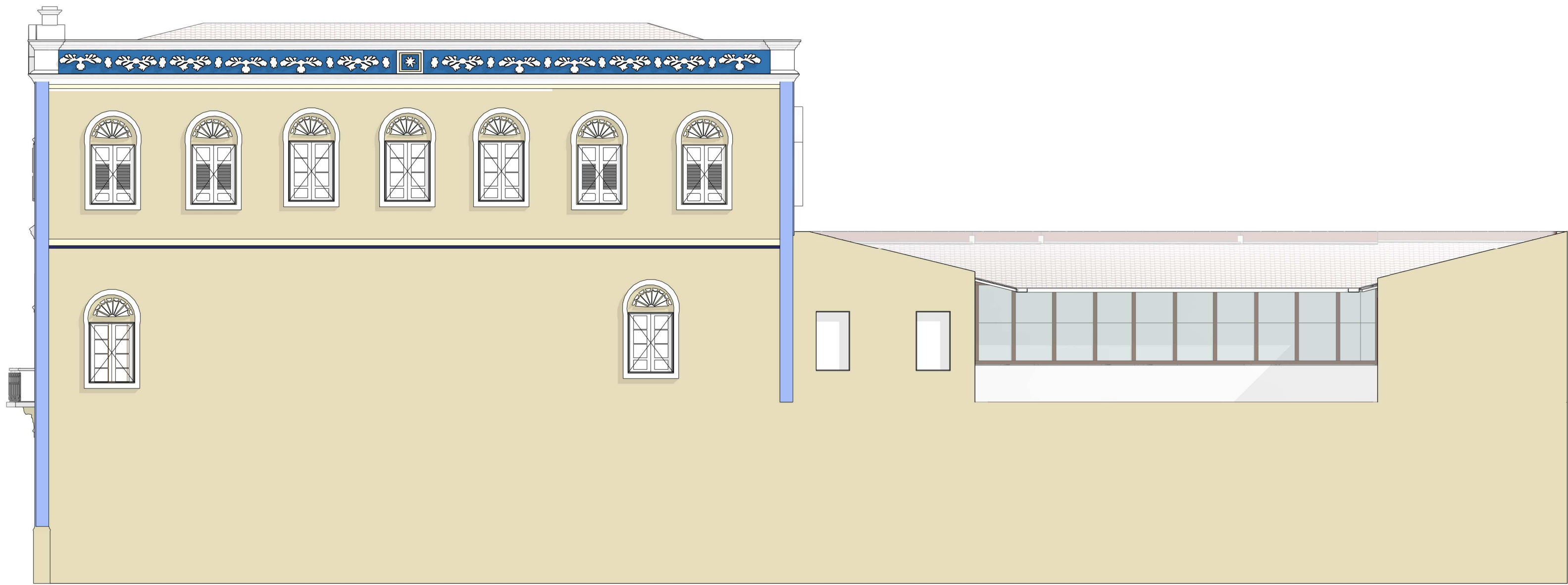
3/5

ARQUITETÔNICO

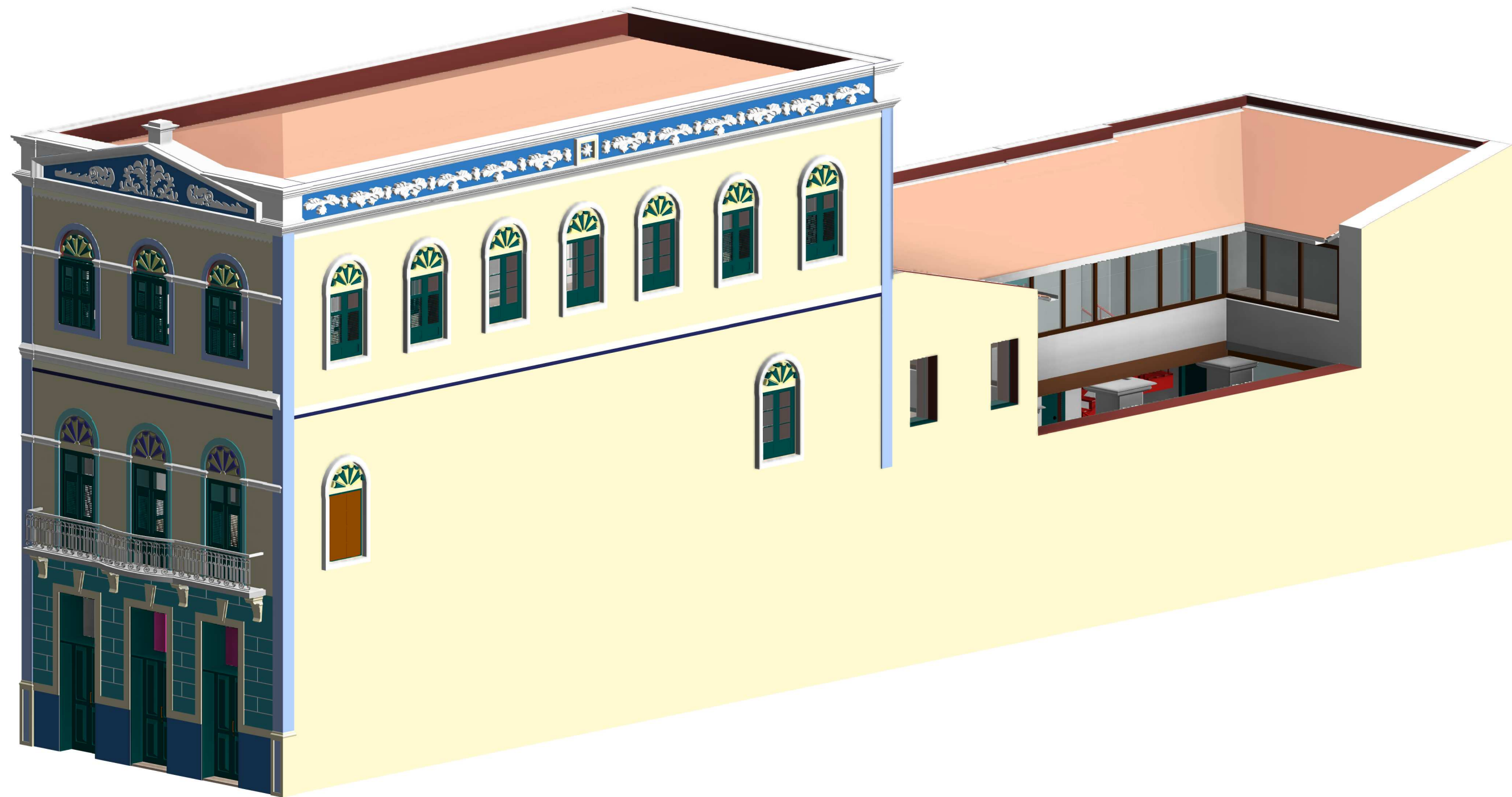




1 Fachada Frontal  
Escala: 1 : 100



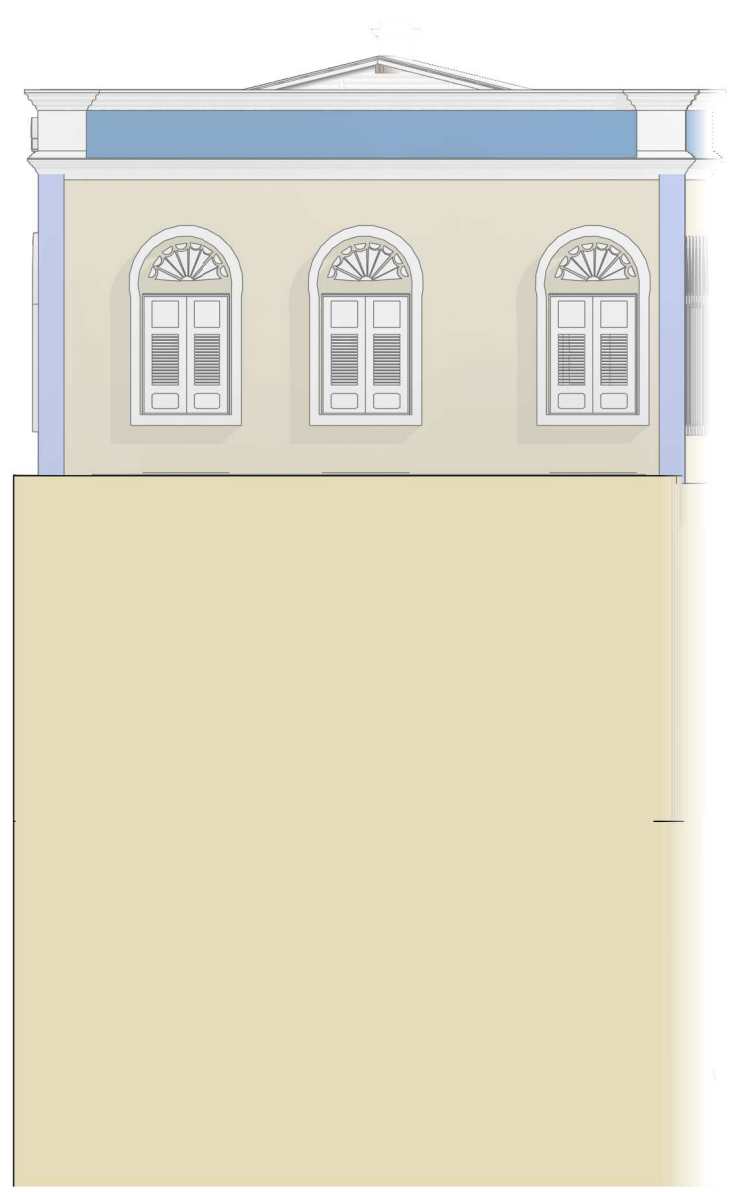
2 Fachada Lateral Direita  
Escala: 1 : 100



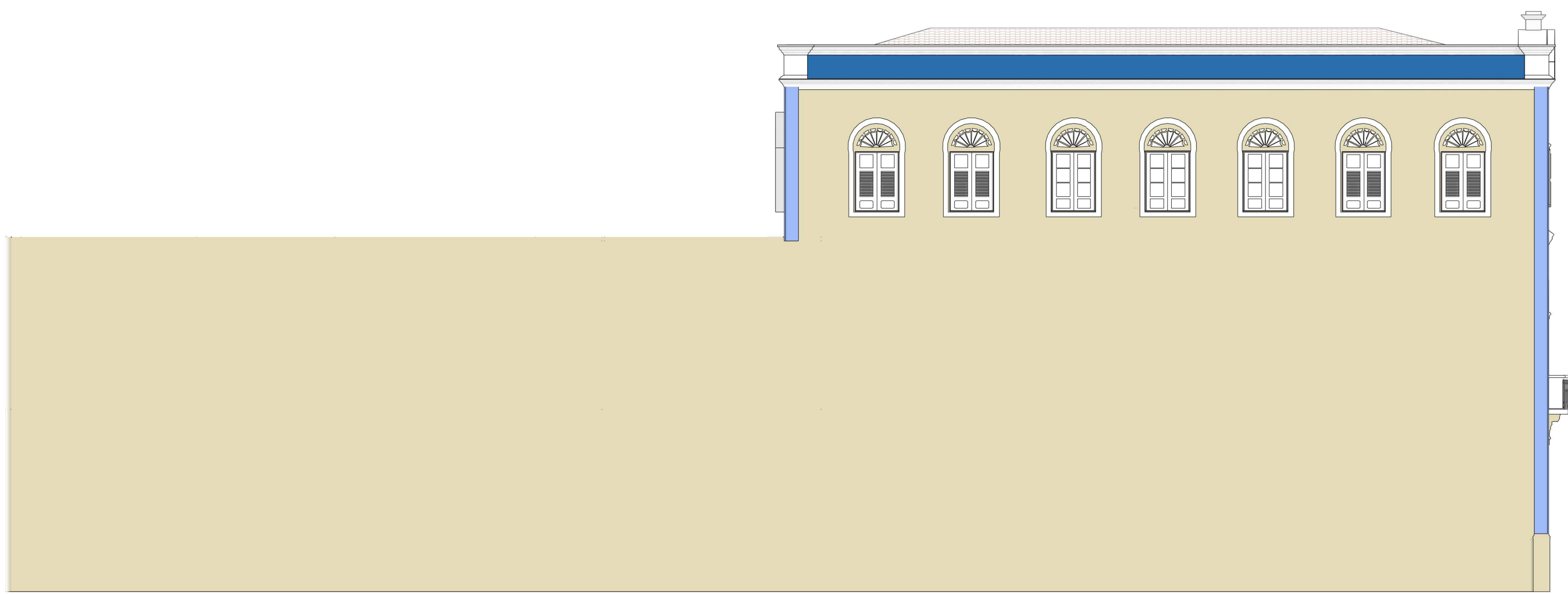
3 Isométrica 01



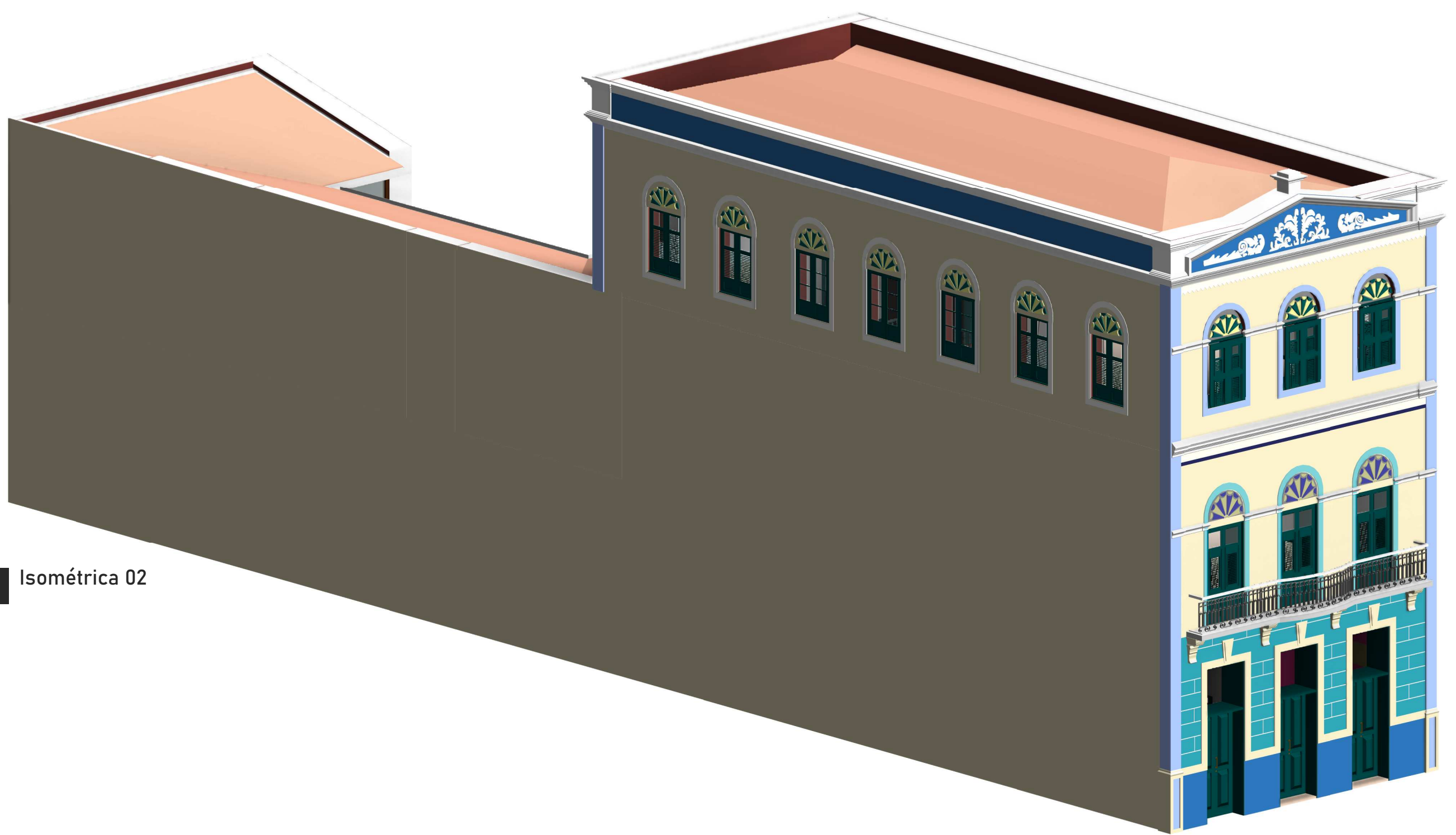
TODAS AS MEDIDAS DEVERÃO SER VERIFICADAS "IN LOCO"



1 Fachada Posterior  
Escala: 1 : 100



2 Fachada Lateral Esquerda  
Escala: 1 : 100



3 Isométrica 02

REPRODUÇÃO SOMENTE COM AUTORIZAÇÃO POR ESCRITO DO AUTOR DO PROJETO. LEI Nº. 9.610 - LEI DO DIREITO AUTORAL.



|                                                                    |                  |                  |
|--------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|
| PROJETO: SOBRADO DR. JOSÉ LOURENÇO                                 |                  |                  |
| SETOR: FORTALEZA - CEARÁ                                           | REVISÃO:         |                  |
| FASE: LEVANTAMENTO                                                 | DATA: 14/10/2025 | ESCALA: INDICADA |
| DESENHO: ENG. GILMÁRIO DA COSTA RIBEIRO                            |                  | UNIDADE: METROS  |
| CONTEÚDO: FACHADA POSTERIOR E FACHADA LATERAL ESQUERDA; ISOMÉTRICA |                  | PRANCHA: 5/5     |

ARQUITETÔNICO

**APÊNDICE C – Protocolo de modelagem HBIM**

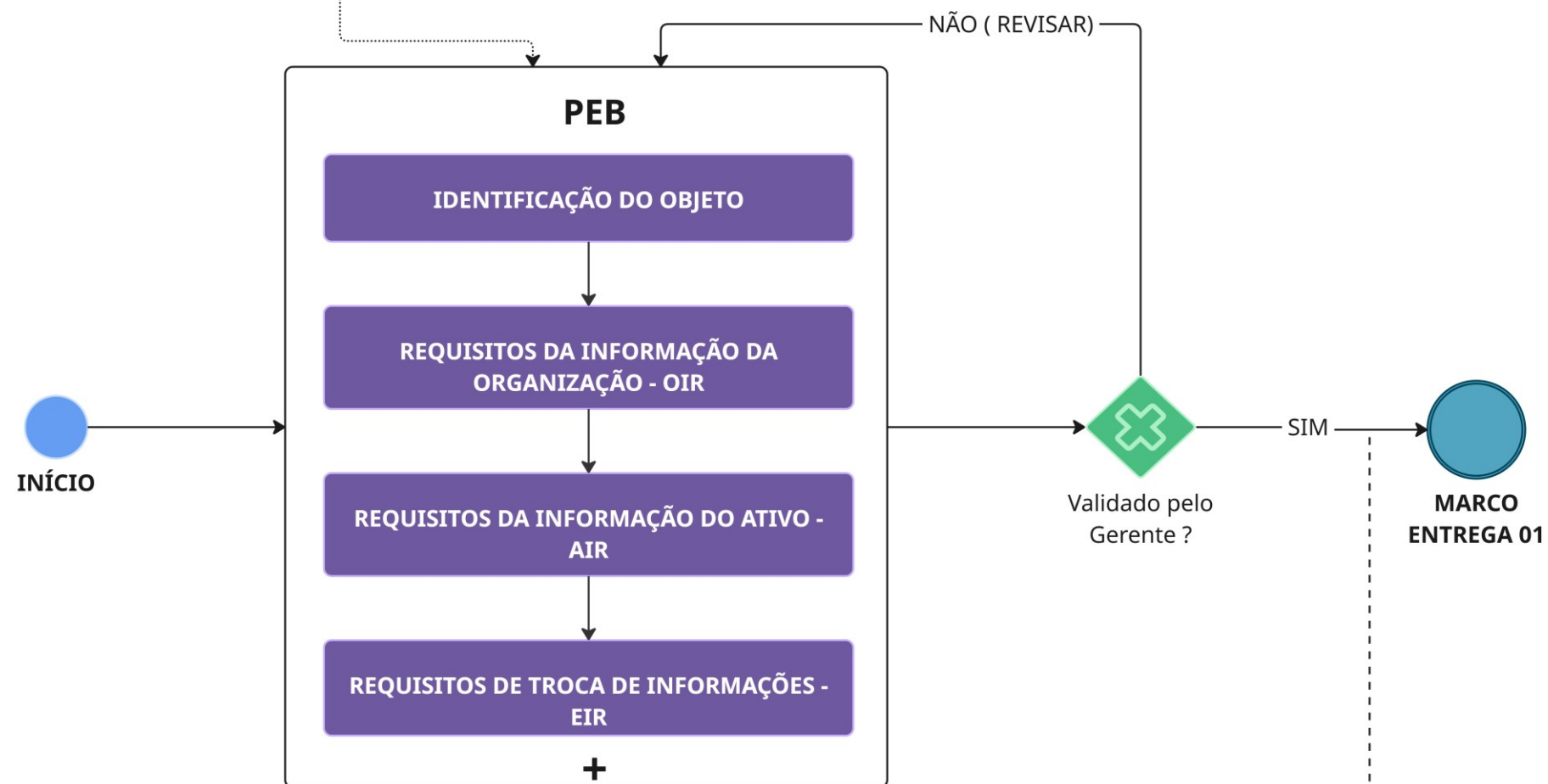


## ELABORAÇÃO DO PEB – ETAPA 01 DO PROCESSO DE MODELAGEM HBIM

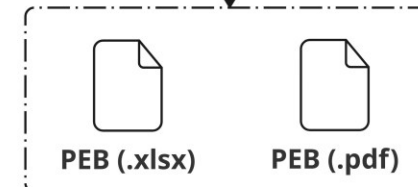
REFERÊNCIA DE  
INFORMAÇÃO

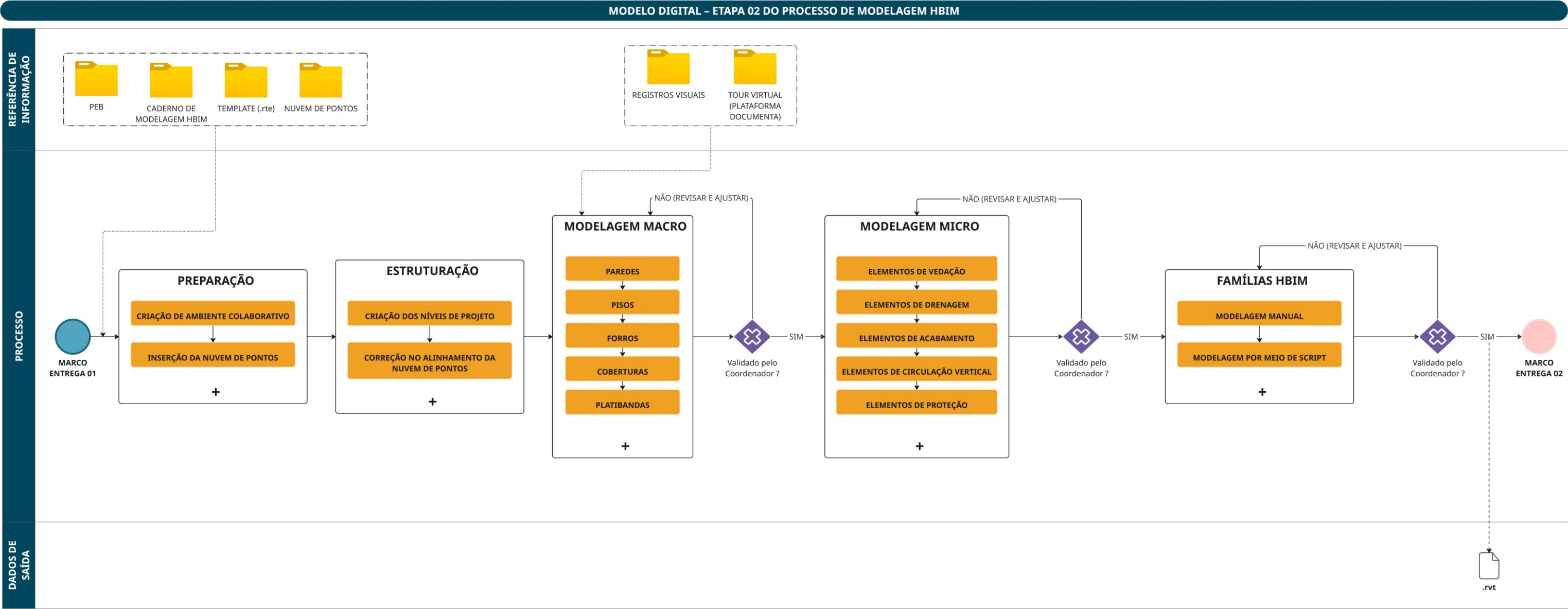


PROCESSO



DADOS DE  
SAÍDA



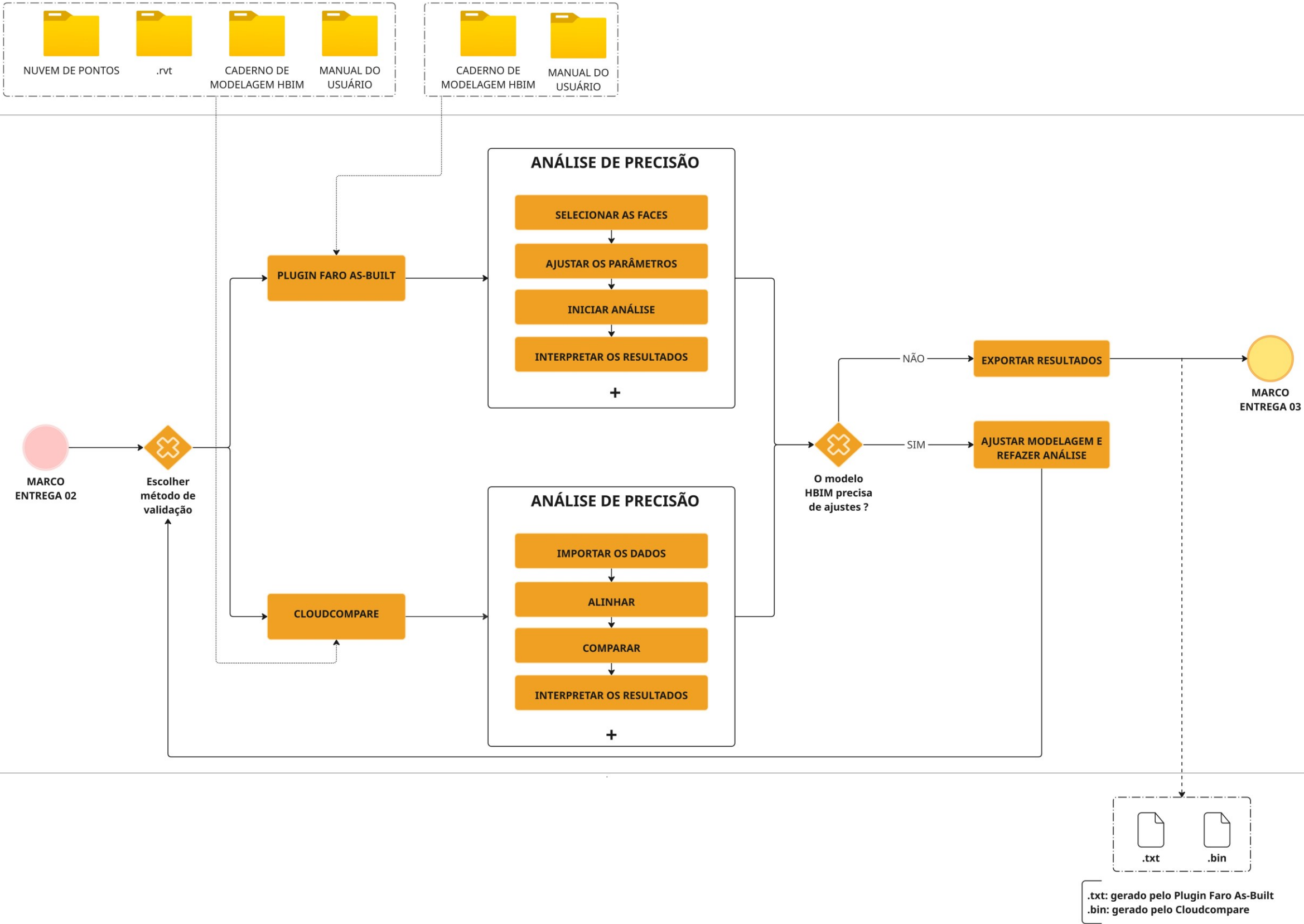


PRECISÃO GEOMÉTRICA – ETAPA 03 DO PROCESSO DE MODELAGEM HBIM

REFERÊNCIA DE  
INFORMAÇÃO

PROCESSO

DADOS DE SAÍDA



ENRIQUECIMENTO SEMÂNTICO – ETAPA 04 DO PROCESSO DE MODELAGEM HBIM

REFERÊNCIA DE  
INFORMAÇÃO



HBIMPath

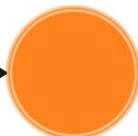
PROCESSO



MARCO  
ENTREGA 03



Validado pelo  
Coordenador ?



MARCO  
ENTREGA 04

NÃO (REVISAR E AJUSTAR)

SIM

DADOS DE  
SAÍDA



.rvt

DOCUMENTAÇÃO E RECONSTRUÇÃO DIGITAL – ETAPA 05 DO PROCESSO DE MODELAGEM HBIM

REFERÊNCIA DE  
INFORMAÇÃO

PROCESSO

DADOS DE  
SAÍDA

