

**Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia Civil**

**Gabriel Donati**

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA GERAÇÃO E  
ATUALIZAÇÃO SEMIAUTOMÁTICA DE MODELOS BIM 4D**

Porto Alegre  
2021

**GABRIEL DONATI**

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA GERAÇÃO E  
ATUALIZAÇÃO SEMIAUTOMÁTICA DE MODELOS BIM 4D**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Prof. Eduardo Luis Isatto**  
Doutor pela Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul  
Orientador

Porto Alegre  
2021

### CIP - Catalogação na Publicação

Donati, Gabriel  
Proposta de método para geração e atualização  
semiautomática de modelos BIM 4D / Gabriel Donati. --  
2021.  
98 f.  
Orientador: Eduardo Luis Isatto.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de  
Engenharia, Curso de Engenharia Civil, Porto Alegre,  
BR-RS, 2021.

1. BIM 4D. 2. Planejamento e controle da produção.  
3. Sistema de classificação. I. Isatto, Eduardo Luis,  
orient. II. Título.

**GABRIEL DONATI**

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA GERAÇÃO E  
ATUALIZAÇÃO SEMIAUTOMÁTICA DE MODELOS BIM 4D**

Este trabalho de Diplomação foi julgado para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 21 de maio 2021.

**Prof. Eduardo Luis Isatto**  
Doutor pela Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul  
Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

**Eng.<sup>a</sup> Rafaela Jung**  
Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Eng.<sup>a</sup> Raquel Hoffmann Reck (UFRGS)**  
Mestra pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Eduardo Luis Isatto (UFRGS)**  
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais, Lisyara e Gerson pelo incentivo e amor constante ao longo dos anos.

## **AGRADECIMENTOS**

Muito obrigado ao Professor Isatto, por sempre me auxiliar com muita paciência e comprometimento. Obrigado por todos os conhecimentos transmitidos e questionamentos levantados durante nossos encontros. A confiança em mim depositada para determinados trabalhos me fizeram acreditar no meu potencial como pesquisador e acadêmico. Por isto, serei eternamente grato.

Agradeço a minha mãe, Lisyara. Todo suporte e amor incondicional que recebi são de extrema importância para eu ser quem sou hoje. Sua história me enche de orgulho. Logo, terei a honra de comemorar sua formatura também.

Agradeço ao meu pai, Gerson, por me apoiar sempre em todas as decisões que tomo e por ser um exemplo de determinação e força.

Muito obrigado aos meus dindos, por me acolherem como um filho durante esses anos de graduação. Guardo vocês no meu coração.

Obrigado a UFRGS e a todas as pessoas que constroem unidas esta universidade federal pública de excelente qualidade.

Obrigado, Giovanni. Você trouxe leveza, muito amor, carinho e felicidade para os meus dias.

Obrigado ao meu irmão, Gustavo, pelo suporte durante este período.

Obrigado aos meus colegas de trabalho e a minha gestora, Patrícia, pelo companheirismo ao longo dos anos, ajuda e incentivo.

Gostaria de fazer um agradecimento especial a minha colega e amiga, Gabrieli, por todos os ensinamentos que me ajudaram tanto no âmbito profissional, quanto no pessoal.

Obrigado a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram com a minha caminhada até aqui.

“Amar é ação, amar é arte.”

*(Paulo Gustavo Amaral Monteiro de Barros)*

## RESUMO

DONATI, G. **Proposta de método para geração e atualização semiautomática de modelos BIM 4D.** 2021. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre.

A demanda por aumento de produtividade tem crescido na indústria da construção. Muitas empresas passaram a buscar tecnologias capazes de aperfeiçoar os processos de gerenciamento dos empreendimentos. Neste contexto, o *Building Information Modeling* (BIM) tem se destacado por apresentar um conceito que rompe os atuais paradigmas de gestão do setor. Um dos principais usos do BIM é a modelagem 4D, a qual consiste no processo de associação entre os elementos do modelo de produto e as tarefas programadas para a sua construção. Mudanças no modelo BIM de produto, decorrentes das revisões de projeto, demandam atualização de todo o modelo BIM 4D, processo trabalhoso e propenso a erros. O presente trabalho tem por objetivo propor um método para a modelagem BIM 4D e para a atualização semiautomática destes modelos após revisões de projeto. Além disso, a pesquisa desenvolve um sistema de classificação da informação para auxiliar o processo de modelagem BIM 4D, a partir de duas facetas hierarquicamente organizadas. O método proposto se mostrou capaz de manter os vínculos entre os elementos BIM e as tarefas do cronograma da obra após as revisões de projeto, bem como permitiu uma elevada rastreabilidade dos desvios identificados neste processo.

**Palavras-chave:** BIM 4D; planejamento e controle da produção; sistema de classificação.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hierarquia das classes de processo e produto.....	24
Figura 2 - Classes e seus relacionamentos genéricos .....	29
Figura 3 - Exemplo de relações hierárquicas .....	31
Figura 4 - Proposta de estrutura de classes da NBR 15965.....	33
Figura 5 - Fluxo de modelagem 4D baseado em <i>software</i> CAD.....	37
Figura 6 - Fluxo de modelagem 4D baseado em <i>software</i> BIM 4D.....	38
Figura 7 - Delineamento da pesquisa .....	41
Figura 8 - Perspectiva do modelo BIM do empreendimento.....	44
Figura 9 - Exemplo de EAP de construção adotada nos modelo BIM da empresa.....	50
Figura 10 - Exemplo de elemento composto por mais de uma geometria .....	53
Figura 11 - Representação em planta baixa de uma parede com múltiplas camadas.....	53
Figura 12 - Exemplo de modelo espacial de localização .....	62
Figura 13 - Níveis hierárquicos da classificação de localização do empreendimento .....	63
Figura 14 - Exemplo de classificação para empreendimento hipotético composto por duas torres.....	63
Figura 15 - Estrutura da classificação de fachada proposta para o empreendimento.....	64
Figura 16 - Classificação proposta para o 15º pavimento (cobertura) .....	65
Figura 17 - Composição do código de Produto .....	66
Figura 18 - Esquema de artifício utilizado para retomar códigos.....	67
Figura 19 - Exemplo de procura de elementos por meio de regras .....	69
Figura 20 - Seleção manual de paredes de alvenaria para gerar conjuntos de seleção .....	70
Figura 21 - Esquema representativo da sobreposição dos modelos espacial e BIM.....	71
Figura 22 - Exemplo de detecção de conflitos entre o sétimo pavimento e elementos de supraestrutura.....	72
Figura 23 - Ferramenta Inspetor de Seleção.....	75
Figura 24 - Base de dados desenvolvida para a pesquisa .....	76
Figura 25 - Estabelecimento da conexão entre o modelo BIM e a base de dados por meio dos identificadores dos elementos BIM .....	76
Figura 26 - Elaboração de regras para vinculação de elementos às tarefas do cronograma.....	78
Figura 27 - Simulação 4D do cronograma da obra.....	78

Figura 28 - Percentual de elementos do Modelo Base que tiveram vinculações mantidas após revisão de projeto.....	80
Figura 29 - Percentual de elementos que tiveram seus vínculos estabelecidos no Modelo Revisão .....	80
Figura 30 - Elementos não vinculados à base de dados .....	81
Figura 31 - Simulação 4D após revisão de modelo .....	82
Figura 32 - Resumo do método para geração e manutenção do modelo BIM 4D .....	83

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Arranjo de informações das tabelas OmniClass.....	32
Quadro 2 - Parâmetros-base e significados definidos para análise .....	49
Quadro 3 - Proposta de classificação da informação para modelos estruturais no pavimento térreo.....	49
Quadro 4 - Exemplo de regras de procura para vigas do 2º pavimento .....	50
Quadro 5 - Exemplo de regras de procura para alvenaria cerâmica do 15º pavimento.....	52
Quadro 6 - Exemplo de regras de procura para portas corta-fogo do pavimento térreo .....	55
Quadro 7 - Exemplo de classificação dos elementos da Tabela 21 OmniClass .....	59
Quadro 8 - Alocação dos elementos da classe <i>IfcRailing</i> nos códigos da Omniclass .....	60
Quadro 9 - Classificação de paredes para o estudo de caso .....	61
Quadro 10 - Regras de procura para identificar esquadrias de alumínio.....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AEC: Arquitetura, Engenharia e Construção

BCF: *BIM Collaboration Format*

BIM: *Building Information Modeling*

CAD: *Computed-aided Design*

COBie: *Construction Operations Building Information Exchange*

CSV: *Comma-Separated Values*

EAP: Estrutura Analítica de Projeto

IAI: *International Alliance for Interoperability*

IFC: *Industry Foundation Classes*

ISO: *International Organization for Standardization*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	13
1.2	JUSTIFICATIVA E PROBLEMA DE PESQUISA .....	14
1.3	QUESTÃO DE PESQUISA .....	15
<b>1.3.1</b>	<b>Questão principal</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Questão secundária</b> .....	<b>16</b>
1.4	OBJETIVOS DA PESQUISA .....	16
<b>1.4.1</b>	<b>Objetivo principal</b> .....	<b>16</b>
<b>1.4.2</b>	<b>Objetivo secundário</b> .....	<b>16</b>
1.5	PREMISSAS .....	16
1.6	LIMITAÇÕES.....	17
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
<b>2</b>	<b>BIM</b> .....	<b>18</b>
2.1	CARACTERIZAÇÃO.....	18
2.2	REPRESENTAÇÃO PARAMÉTRICA.....	18
2.3	BIM NOS FLUXOS DE TRABALHO DO EMPREENDIMENTO .....	19
<b>2.3.1</b>	<b>Coordenação de projetos</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Planejamento de execução de obras</b> .....	<b>21</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Estimativa de custos</b> .....	<b>21</b>
2.4	INTEROPERABILIDADE .....	22
<b>2.4.1</b>	<b>Estruturação de um modelo BIM no formato IFC</b> .....	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO</b> .....	<b>26</b>
3.1	DEFINIÇÃO E TIPOS DE SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO .....	26
<b>3.1.1</b>	<b>Classificação enumerativa</b> .....	<b>27</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Classificação facetada</b> .....	<b>27</b>
3.2	SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO .....	28
<b>3.2.1</b>	<b>ISO 12006</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2.2</b>	<b>OmniClass</b> .....	<b>31</b>
<b>3.2.3</b>	<b>NBR 15965</b> .....	<b>32</b>
3.3	MODELO PROCESSO E PRODUTO .....	33
<b>4</b>	<b>BIM 4D</b> .....	<b>35</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DE BIM 4D .....	35

4.2	MODELAGEM BIM 4D.....	36
4.3	AUTOMATIZAÇÃO NA MODELAGEM BIM 4D.....	39
<b>5</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>41</b>
5.1	ESTRATÉGIA E DELINEAMENTO DE PESQUISA .....	41
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO ESCOPO DE PESQUISA.....	42
5.3	FONTES DE EVIDÊNCIA.....	43
5.4	DESCRIÇÃO DA EMPRESA E EMPREENDIMENTO .....	43
5.5	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS.....	44
<b>5.5.1</b>	<b>Avaliação do sistema em uso na empresa estudada .....</b>	<b>44</b>
<b>5.5.2</b>	<b>Primeira fase da pesquisa .....</b>	<b>45</b>
<b>5.5.3</b>	<b>Segunda fase da pesquisa.....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
6.1	AVALIAÇÃO DO SISTEMA EM USO NA EMPRESA ESTUDADA .....	47
6.2	PRIMEIRA FASE DO ESTUDO DE CASO.....	48
<b>6.2.1</b>	<b>Proposta inicial de geração dos conjuntos de elementos.....</b>	<b>48</b>
6.2.1.1	<i>Discussões modelo estrutural.....</i>	<i>51</i>
6.2.1.2	<i>Discussões modelo arquitetônico.....</i>	<i>52</i>
6.2.1.3	<i>Discussões da primeira proposta.....</i>	<i>55</i>
<b>6.2.2</b>	<b>Aprimoramento da proposta de geração dos conjuntos de elementos .....</b>	<b>56</b>
<b>6.2.3</b>	<b>Classificação da faceta de elemento .....</b>	<b>58</b>
<b>6.2.4</b>	<b>Classificação da faceta espacial (de localização) .....</b>	<b>61</b>
<b>6.2.5</b>	<b>Composição do código de produto.....</b>	<b>65</b>
<b>6.2.6</b>	<b>Preparação do modelo BIM.....</b>	<b>67</b>
<b>6.2.7</b>	<b>Elaboração dos conjuntos de elementos .....</b>	<b>68</b>
6.3	SEGUNDA FASE DO ESTUDO DE CASO.....	74
<b>6.3.1</b>	<b>Elaboração da base de dados e estabelecimento da conexão com o modelo .....</b>	<b>74</b>
<b>6.3.2</b>	<b>Elaboração da simulação 4D .....</b>	<b>77</b>
6.4	AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO.....	79
6.5	PROPOSTA FINAL DE MODELAGEM 4D.....	82
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>85</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>88</b>
	<b>APÊNDICE A - Classificação da representação semântica (faceta de elemento) .....</b>	<b>92</b>
	<b>APÊNDICE B - Classificação da representação espacial (faceta espacial).....</b>	<b>95</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem o propósito de contextualizar o tema abordado no trabalho, apresentando os problemas, questões, objetivos e limitações da pesquisa. Por fim, é apresentada a estruturação deste trabalho.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O setor secundário apresentou um aumento de produtividade de aproximadamente 150% em relação aos últimos 50 anos (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016). Em contrapartida, o setor da construção civil teve uma queda na produtividade de aproximadamente 20% no mesmo período (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016). As explicações acerca desse decréscimo de produtividade no setor não são inteiramente compreendidas. Possíveis explicações para tal fato residem no aumento da complexidade dos empreendimentos, baixa qualificação da mão de obra e baixo investimento em inovação tecnológica (MCKINSEY&COMPANY, 2017).

Essa explícita demanda por aumento de produtividade nas atividades de construção civil impulsionou o desenvolvimento de novas ferramentas e mecanismos de gestão para aumentar a eficiência nos processos. Neste contexto, tem emergido o conceito BIM (*Building Information Modelling*), cujas tecnologias correlatas permitem o desenvolvimento de um modelo virtual da construção, com geometrias precisas e informações relevantes, para fornecer suporte às atividades de gestão de empreendimentos (EASTMAN et al., 2008). Além disso, segundo Dave (2013), o modelo BIM apresenta potencial de consolidar-se como núcleo central de gestão de informações, cuja utilização se estende por todo ciclo de vida do empreendimento.

Juntamente ao desenvolvimento de novos mecanismos de gestão de empreendimentos, o planejamento de obras também passou por uma relevante transformação nos últimos anos. Muitos gestores passaram a entender que o planejamento é um fator importante para o sucesso de um empreendimento (KIM et al., 2013). Kim et al. (2013) também aponta que o processo de planejamento continua sendo bastante moroso e manual.

No que tange à utilização de BIM para o planejamento de obras, Eastman et al. (2008), apresenta uma série de benefícios observados durante a etapa de execução. A melhoria na comunicação entre os intervenientes (*stakeholders*) e a maior percepção espacial para tomadas de decisão frente a problemas logísticos no canteiro, são alguns dos benefícios levantados pelos autores.

A modelagem 4D, por sua vez, consiste na vinculação entre um modelo 3D a um cronograma de obras, com o auxílio de um aplicativo mediador (MCKINNEY et al., 1996). Segundo Heesom e Mahdjoubi (2004), o uso dessas ferramentas 4D possibilita a redução de custos por meio da identificação precoce de problemas executivos, além de apresentar potencial de diminuir o número de retrabalhos durante a construção do empreendimento.

Quando utilizadas as informações dos modelos BIM para o 4D, os potenciais são ainda maiores. Em virtude de todas as informações de tempo, espaço, recursos e produtividade, o modelo BIM 4D pode ser melhor explorado na etapa de planejamento e controle da produção (EASTMAN et al., 2008), bem como promover estratégias para mitigação de riscos de modo mais eficaz (SLOOT; HEUTINK; VOORDIJK, 2019).

## 1.2 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA DE PESQUISA

Os projetos de construção civil geralmente são elaborados por uma equipe e executados por outra. Mesmo que haja uma boa sincronia entre ambas as equipes, existe uma grande dificuldade de incorporar informações demandadas a todos interessados de modo preciso (MCCARTHY et al., 2000). Quanto ao planejamento, as carências de informações no modelo 3D têm implicação direta na geração das simulações 4D, pois impossibilitam automatizações ao longo do processo.

No passado, os resultados visuais advindos do 4D possuíam, inicialmente, propósitos voltados para marketing e promoção do produto em questão (BALDWIN; DAVID, 2014). Conforme os aplicativos 4D foram evoluindo no final da década de 1990, o processo de modelagem 4D passou a incorporar automatizações ao longo de suas etapas (EASTMAN et al., 2008).

Entretanto, na prática, o processo de elaboração de simulações 4D ainda é pouco utilizado, pois consiste em um trabalho demorado, cuja principal consequência é o elevado custo associado (HAIATI; VON HEYL; SCHMALZ, 2016). Heesom e Mahdjoubi (2004) apontam

que existem pesquisas cujo foco é voltado para a introdução de etapas automatizadas ao processo, todavia ressaltam que a maioria dessas etapas requerem inserções prévias de informação nos modelos e em base de dados.

A solução tecnológica de planejamento 4D, portanto, se mostra satisfatória para modelos e planos de construção estáveis. Caso tais premissas não sejam atendidas, o modelo precisará ser refeito manualmente – processo demorado e custoso (BALDWIN; DAVID, 2014). Regras de seleção apresentam-se como uma alternativa ao modo manual de vinculação (AUTODESK, 2011), pois automatizam etapas do processo de modelagem 4D. Para viabilizá-las, no entanto, é necessário estruturar as informações nos modelos BIM, as quais nem sempre conseguem ser inseridas em sua totalidade na etapa de projeto.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver diretrizes para a vinculação entre elementos e atividades de modelos BIM 4D, de modo a contornar as dificuldades associadas à dinâmica de planejamento e controle da produção e de revisão de projetos. Dessa forma, o trabalho busca contribuir para com a comunidade acadêmica ao se propor compreender as limitações e benefícios intrínsecos ao processo de geração e manutenção de modelos BIM 4D. Os modelos arquitetônico e estrutural utilizados para a pesquisa foram fornecidos pela empresa incorporadora e construtora, onde o autor atua profissionalmente, a qual já apresenta os processos de coordenação e compatibilização de projetos em BIM consolidados. Trata-se de um modelo de um edifício residencial de médio padrão, localizado na cidade de Porto Alegre – RS.

## 1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

### 1.3.1 Questão principal

A questão de pesquisa deste trabalho é: “como rotinas automatizadas podem contribuir para estabelecer e manter as associações entre as tarefas do plano de construção e os elementos do modelo BIM 4D?”

### 1.3.2 Questão secundária

As questões secundárias são:

- “quais estratégias podem ser eficazes para classificar os elementos do modelo BIM, de forma a viabilizar o uso de regras de associação entre elementos e tarefas?”
- “quais informações podem ser incorporadas ao modelo BIM para facilitar associações a partir de regras?”

## 1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

### 1.4.1 Objetivo principal

O objetivo da pesquisa é desenvolver um método capaz de auxiliar a elaboração e a atualização de modelos BIM 4D a partir de rotinas semiautomáticas.

### 1.4.2 Objetivo secundário

Os objetivos secundários são:

- desenvolver um sistema de classificação, visando o contexto específico da empresa, que forneça suporte à modelagem BIM 4D, bem como apresente a possibilidade de ser retroalimentado, conforme a necessidade da empresa;
- propor diretrizes aos projetistas em relação às informações que devem constar no modelo para facilitar as vinculações a partir de regras.

## 1.5 PREMISAS

Este trabalho tem por premissa que, na maioria das vezes, a integração entre a equipe de projetos e a equipe de planejamento é falha na etapa de desenvolvimento de projeto. Portanto, é necessário compreender quais informações devem ser alimentadas no modelo BIM para facilitar o processo de planejamento, sem a obrigatoriedade de integração entre as ambas as equipes.

## 1.6 LIMITAÇÕES

O estudo levou em consideração apenas uma empresa, restringindo a utilização de *software* àqueles pertencentes à plataforma Autodesk. Além disso, os modelos utilizados se restringiram aos estágios pré-executivo e executivo, isto é, modelos BIM em etapa de compatibilização, prestes a serem liberados às obras.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é composto por sete capítulos. O primeiro capítulo introduz e contextualiza o tema que será debatido ao longo de todo o trabalho, abordando os problemas, objetivos, questões, premissas e limitações da pesquisa.

Nos capítulos que seguem, é apresentada a revisão de literatura do trabalho, cuja principal finalidade é expor o embasamento teórico para o desenvolvimento da pesquisa. No capítulo dois, são abordados os principais conceitos e benefícios acerca do BIM. Ademais, são esclarecidos outros conceitos fundamentais para o trabalho, tais como: representação paramétrica e interoperabilidade. No capítulo três, são retratadas as principais normas internacionais e nacionais referentes ao uso de sistemas de classificação, assim como são dissertados os principais tipos de classificação adotados para a construção civil. Já no capítulo quatro, é inicialmente caracterizado o BIM 4D para, em seguida, apresentar os principais benefícios associados ao uso da ferramenta sob uma perspectiva automatizada.

No capítulo cinco é apresentado o método de pesquisa adotado para a elaboração do trabalho. Neste capítulo são expostas as principais características do estudo desenvolvido, bem como todas as etapas que compuseram a forma final do trabalho.

O capítulo seis descreve e discute todos os resultados do estudo e apresenta as etapas essenciais do método proposto para atingir o objetivo da pesquisa. Além disso, no capítulo é verificada a aplicabilidade do método a partir da avaliação do mesmo. Por fim, o capítulo sete apresenta as considerações finais acerca da pesquisa.

## 2 BIM

O presente capítulo aborda conceitos fundamentais acerca da modelagem BIM e os benefícios oriundos da aplicação deste conceito nos processos da construção civil ao longo da vida útil de empreendimentos.

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO

Segundo a buildingSMART (2010), *Building Information Modeling* (BIM) consiste numa nova abordagem de descrever e mostrar informações necessárias para o projeto, construção e operação dos ambientes construídos. As definições em torno do conceito de BIM são muito variadas. Contudo, apresentam características similares. Baldwin e David (2014) descrevem a representação virtual da edificação sendo constituída por “objetos inteligentes”, os quais são compostos não somente pela geometria de determinado elemento, mas também por componentes que possuem informações associadas a si. Dave (2013) descreve que o BIM detém o potencial de consolidar-se como uma plataforma central de informações durante todo o ciclo de vida do empreendimento, pois os elementos BIM possuem a capacidade de armazenar múltiplos tipos de informação, tais como geométricos, semânticos e tipológicos (SCHLUETER; THESSELING, 2009).

Eastman et al. (2008), por sua vez, aponta que BIM não representa apenas uma evolução tecnológica, mas sim uma ruptura de processos vigentes na indústria da Engenharia, Arquitetura e Construção (AEC). Esta ruptura envolve alterações nos processos de projeto, construção, gerenciamento e manutenção de edificações (EASTMAN et al., 2008). Hardin e Mccool (2015) descrevem que os conceitos em torno de BIM continuam em constante evolução na medida em que são descobertas novas maneiras de utilizar as informações advindas de todas as ferramentas e processos BIM disponíveis.

### 2.2 REPRESENTAÇÃO PARAMÉTRICA

Segundo Eastman et al. (2008), é essencial compreender o significado de objetos paramétricos para entender o que é BIM e suas diferenças em relação ao modelo tradicional de objetos 2D.

O objeto paramétrico pode ser definido a partir das seguintes características (EASTMAN et al., 2008):

- a) consiste em definições de geometrias com informações e regras associadas ao próprio objeto;
- b) a geometria não é redundante e não possibilita nenhuma inconsistência quanto a si. Quando um objeto é visualizado tridimensionalmente, sua forma não pode ser representada, por exemplo, por múltiplos planos bidimensionais combinados. Qualquer vista do objeto deve sempre permanecer consistente.
- c) contém regras paramétricas para que os objetos possam ser automaticamente modificados quando associados a demais geometrias. Por exemplo, uma parede irá automaticamente modificar suas dimensões para encaixar em um forro, teto ou telhado;
- d) podem ser definidos em diferentes níveis de hierarquia. Por exemplo, podem ser definidas tanto as características de uma parede como um todo, quanto as características de um determinado componente desta parede. Deste modo, caso seja alterado o peso de um componente da parede, é alterado o peso da parede como um todo ao mesmo tempo;
- e) as regras dos objetos podem identificar quando uma modificação está violando a exequibilidade do próprio objeto quanto às suas dimensões e demais características;
- f) os objetos tem a capacidade de estabelecer conexões para receber ou exportar seleções de informações para demais base de dados e modelos.

Os objetos paramétricos modelados correspondem àqueles componentes que irão compor a edificação real. Desse modo, todas as informações ali disponibilizadas podem ser utilizadas pelos intervenientes do empreendimento ao longo de todo ciclo de vida da edificação. A partir de modelos compostos pelos objetos paramétricos, podem-se extrair plantas bidimensionais consistentes, relatórios e uma série de informações estruturadas para garantir melhorias ao processo de gerenciamento dos empreendimentos.

### 2.3 BIM NOS FLUXOS DE TRABALHO DO EMPREENDIMENTO

Mais recentemente, o uso de tecnologias BIM tem feito parte do dia a dia de muitas empresas no setor da AEC, as quais procuram utilizar o BIM para diversos fins. Kreider e Messner (2013) classificam as finalidades do uso do BIM em cinco principais categorias:

- a) organizar e analisar as informações da edificação;
- b) gerar (modelar) informações de uma edificação;

- c) examinar componentes da edificação para obter maior compreensão referente a estes componentes;
- d) comunicar aos intervenientes do empreendimento informações pertinentes;
- e) executar o controle de um elemento físico utilizando informações modeladas.

Caso a implementação dos conceitos BIM nos processos de uma empresa seja realizado de modo organizado e eficiente, essas tecnologias podem conferir aos usuários diversos benefícios. Ainda que nem todos os benefícios acerca da utilização de BIM foram amplamente verificados na prática nas empresas do setor da AEC, esta seção aborda os potenciais usos do BIM e os benefícios atrelados a sua utilização.

### **2.3.1 Coordenação de projetos**

A tecnologia BIM favorece o trabalho simultâneo entre múltiplas equipes de projetistas de diferentes disciplinas (EASTMAN et al., 2008). Esta abordagem de trabalho geralmente consiste na coordenação entre diferentes modelos BIM 3D combinados em um arquivo único, chamado de modelo federado. Portanto, as atividades de coordenação e compatibilização de projetos 3D podem ser definidas como um processo iterativo de comparação entre diferentes modelos 3D (KUBICKI et al., 2019), com o intuito de reduzir o maior número de problemas e conflitos antes da construção (EASTMAN et al., 2008). Esse fluxo de trabalho de coordenação e compatibilização de projetos em BIM pode permear todas as etapas de projeto de um determinado empreendimento.

A análise antecipada do modelo federado possibilita a redução de erros ainda nas etapas iniciais da modelagem BIM, além de proporcionar maior compreensão dos problemas de projeto e apresentar oportunidades de melhorias (EASTMAN et al., 2008). Entretanto, o processo de implementação da compatibilização e coordenação BIM em contextos multidisciplinares continua sendo um processo complicado e requer significativo esforço de coordenação envolvido (STAUB-FRENCH; KHANZODE, 2007). O interesse por trás da adoção desse processo para a construção civil se justifica pela evidente ineficiência dos atuais processos de coordenação de projetos, os quais enfrentam dificuldades frente a um elevado aumento de complexidade, aumento no número de intervenientes e da crescente necessidade de coordenação entre todas essas partes interessadas (KUBICKI et al., 2019).

Esse processo de coordenação de projetos em BIM requer uma extensa e constante colaboração de todos os projetistas e partes envolvidas, pois os problemas não conseguem ser resolvidos apenas por uma determinada equipe (ARANDA-MENA et al., 2009). As soluções, por vezes, exigem que algumas equipes modifiquem seus projetos em prol de uma solução para um conflito identificado de outra disciplina (ARANDA-MENA et al., 2009).

### **2.3.2 Planejamento de execução de obras**

O planejamento de obras utilizando simulações 4D exige a vinculação entre as tarefas do plano de construção e os objetos 3D do modelo BIM. Somente após executadas essas vinculações, é possível visualizar a simulação da construção do empreendimento (EASTMAN et al., 2008). Essa simulação gráfica possibilita a identificação de possíveis conflitos durante o processo de planejamento, bem como o surgimento de novas soluções para os problemas identificados (EASTMAN et al., 2008).

### **2.3.3 Estimativa de custos**

Durante qualquer etapa do projeto, as tecnologias BIM permitem a extração de quantitativos para fins de estimativas de custos (EASTMAN et al., 2008). Mesmo para as estimativas de custos iniciais de projetos, que geralmente são baseadas em valores unitários por metro quadrado, o modelo BIM consegue fornecer quantitativos atendendo a necessidade do orçamento. Conforme o processo de elaboração de projeto for detalhando seus componentes e elementos BIM, maior será a possibilidade de alcançar estimativas de custos mais tangíveis à realidade (EASTMAN et al., 2008). Segundo (FORGUES et al., 2012), o levantamento de quantitativos se mostra um dos principais benefícios advindos da utilização de ferramentas BIM. Ademais, por meio desses processos automatizados de extração dos quantitativos, existe a possibilidade de manter todos os intervenientes por dentro dos impactos de custos relacionados às decisões de projeto adotadas (EASTMAN et al., 2008). Desse modo, é possível obter informações mais consistentes para a tomada de decisão utilizando BIM em comparação aos métodos convencionais bidimensionais de levantamento de quantitativos (EASTMAN et al., 2008).

## 2.4 INTEROPERABILIDADE

Durante a coordenação de modelos 3D, deve existir a possibilidade de importar e exportar informações relevantes de um modelo 3D para outro modelo, quando necessário. Essa troca de informações é fundamental para contribuir com o processo de projeto em BIM. Eastman et al. (2008), aponta duas principais maneiras de garantir essa integração:

- a) utilização de aplicativos do mesmo fornecedor garante uma integração mais estreita entre os aplicativos em múltiplas direções, pois geralmente o fornecedor procura oferecer aos seus clientes uma maior integração entre seus próprios produtos. No entanto, devem ser utilizados apenas os aplicativos do mesmo fornecedor para existir uma colaboração eficiente entre os intervenientes;
- b) utilização de aplicativos que interajam com padrões abertos garante a interoperabilidade entre diferentes aplicativos de diferentes fornecedores, de tal modo que possibilita a importação e exportação de parâmetros e informações entre eles.

Desse modo, para garantir que a troca de informações entre modelos BIM seja realizada de modo efetivo, a *International Alliance for Interoperability* (IAI) criou o *Industry Foundation Classes* (IFC) em 1996. Atualmente, a IAI é conhecida como *buildingSMART* e representa uma organização sem fins lucrativos que é responsável por desenvolver e atualizar o IFC (GRAABÆK et al., 2020).

Segundo a *buildingSMART* (2021b), o IFC consiste em um padrão digital do ambiente construído, voltado para construções civis. Ademais, o IFC representa em um modelo de dados especialmente desenvolvido para a AEC com o intuito de padronizar as informações dos modelos BIM, de modo a garantir o compartilhamento de informações entre diferentes *software* (BUILDINGSMART, 2012). De maneira simplificada, o IFC é um arquivo neutro, de padrão aberto, desenvolvido para compartilhamento de informações entre profissionais da AEC através de diferentes *software* (GRAABÆK et al., 2020). Assim como o JPEG é um formato aberto para imagens, e MP3 é um formato aberto para áudios, o IFC pode ser considerado um formato aberto para modelos BIM.

É diante deste contexto de busca pela interoperabilidade que surge o termo *openBIM*. Segundo a *buildingSMART* (2021a), *openBIM* é uma abordagem colaborativa, cujos processos envolvem a disponibilização de informações para todos os participantes do projeto, independentemente do *software* utilizado. Essa abordagem permite que os fluxos de trabalho se estabeleçam por meio de formatos neutros, tais como IFC, BIM *Collaboration*

*Format* (BCF) e *Construction Operations Building Information Exchange* (COBie) (BUILDINGSMART, 2021b). A *buildingSMART* (2021a) entende que os princípios do *openBIM* são:

- a) interoperabilidade é a chave para a transformação digital na construção;
- b) padrões abertos devem ser desenvolvidos para facilitar interoperabilidade;
- c) trocas de informações seguras dependem da qualidade de cada fornecedor;
- d) fluxos colaborativos são aprimorados por meio de padrões abertos e ágeis;
- e) flexibilidade de escolha de tecnologia agrega mais valor a todos os intervenientes;
- f) sustentabilidade é resguardada por padrões de dados abertos de longo prazo.

#### 2.4.1 Estruturação de um modelo BIM no formato IFC

O esquema de representação (*schema*) é o principal meio técnico encontrado pela *buildingSMART* para cumprir o objetivo de promover *openBIM*. Por meio desse esquema, existe um modelo de dados, cuja estrutura codifica logicamente as seguintes informações (BUILDINGSMART, 2021a):

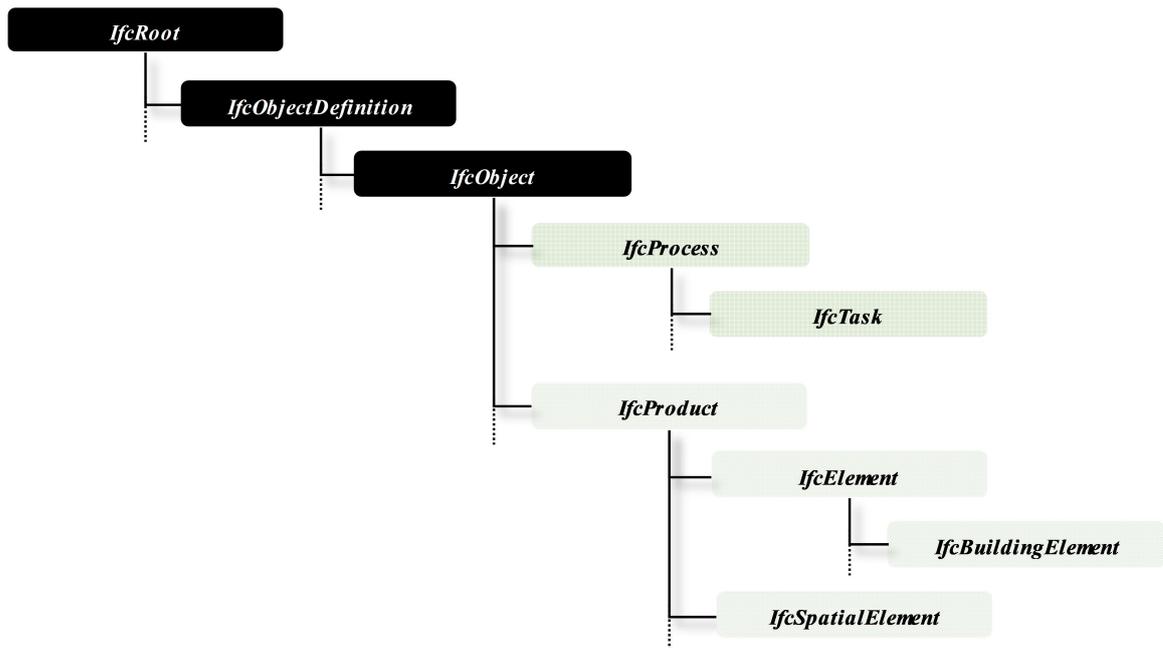
- f) identidade e semântica;
- g) características ou atributos;
- h) relações;
- i) objetos;
- j) conceitos abstratos;
- k) processos;
- l) pessoas.

Portanto, pelo esquema de representações do IFC, é possível descrever uma edificação quanto ao seu uso, bem como definir componentes físicos dos elementos construídos (BUILDINGSMART, 2021a). A versão normatizada mais atual desse esquema é definida pelo IFC4 ADD2 TC1 (*Version 4.0 - Addendum 2 - Technical Corrigendum 1*) (ISO, 2018).

O esquema de representação do IFC possui diversas classes e subclasses. O *IfcRoot* (classe raiz) é a mais abstrata e abrangente de todas as classes, sendo comum a todas entidades do esquema. Em particular para o presente trabalho, três classes são consideradas mais importantes: *IfcBuildingElement* (elemento construído), *IfcSpatialElement* (elemento espacial)

e *IfcTask* (tarefa). A partir dessas três classes é possível identificar um tipo de elemento, localizá-lo no espaço e atribuí-lo a alguma tarefa. A hierarquia das três classes citadas dentro do esquema de representação do IFC está apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Hierarquia das classes de processo e produto



Fonte: adaptado de buildingSMART (2017)

O *IfcBuildingElement* engloba todas as subclasses referentes aos elementos que fazem parte da construção de uma edificação, como por exemplo *IfcBeam* (vigas), *IfcSlab* (lajes) e *IfcDoor* (porta). Todos aqueles elementos os quais não puderem ser classificados dentro das subclasses estabelecidas pelo esquema de representação do IFC, deverão ser representadas pela subclasse de elementos genéricos *IfcBuildingElementProxy* (BUILDINGSMART, 2017).

Outra classe importante abaixo do *IfcProduct*, é o *IfcSpatialElement*. Esta classe tem por característica definir a estrutura espacial ou a estrutura de zonas. Exemplos de elementos espaciais são o canteiro de obras (*IfcSite*), prédio (*IfcBuilding*), andares do prédio (*IfcStorey*), espaço (*IfcSpace*) e zonas (*IfcSpatialZone*) (BUILDINGSMART, 2017).

Segundo a *buildingSMART* (2017), uma tarefa é usualmente utilizada para descrever uma atividade para a instalação, operação ou outros processos relacionados à construção. O *IfcTask*, por sua vez, é uma unidade de trabalho identificável, a qual representa um tipo de processo existente dentro de um plano de construção (BUILDINGSMART, 2017).

A partir dessas classes do esquema IFC elucidadas acima, surge a possibilidade de agrupar elementos por meio da intersecção de determinadas classes para facilitar o estabelecimento da associação entre os elementos e as tarefas.

### 3 SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

Em todos os setores da produção existem aspectos sujeitos a classificação. Na construção civil não poderia ser diferente. O propósito por trás da utilização de sistemas de classificação na construção civil é fornecer terminologias e semânticas normatizadas para utilizar ao longo da gestão de empreendimentos (EKHOLM; HÄGGSTRÖM, 2011). Nesta seção, serão elucidadas as características, tipos e aplicações dos principais sistemas de classificação voltados para a construção.

#### 3.1 DEFINIÇÃO E TIPOS DE SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO

A classificação está presente em todos os aspectos da humanidade. Indiscutivelmente, o ato de classificar é um dos mais centrais e genéricos instintos humanos (BAILEY, 1994). Bailey (1994) afirma que se não existissem classificações, não existiria raciocínio, linguagem e análise de dados. De acordo Pereira (2013), a classificação pode ser subjetiva, quando relacionada à opinião de quem está classificando, ou objetiva, quando se obedece a determinados padrões preestabelecidos.

Segundo Tristão et al. (2004), quanto mais detalhado for o objetivo da classificação, mais completo deve ser o conhecimento referente às propriedades e características dos objetos que se pretende classificar. Os mesmos autores sintetizam a definição da classificação como um conjunto de conceitos organizados de modo sistemático de acordo com critérios ou características escolhidas. Além disso, são definidos conceitos básicos em relação à classificação da informação (ISO, 1994 apud TRISTÃO et al., 2004, p. 163):

- a) classes de classificação: unidade de alto nível dentro de uma classificação expressando um conceito principal;
- b) definição de classe: formulação das características essenciais de uma classe de classificação que desenha uma clara fronteira entre ela e outras classes de classificação;
- c) tabela de classificação: apresentação estruturada de itens de classificação de uma classe de classificação;
- d) item de classificação: único conceito definido, unicamente dentro de uma classe de classificação;
- e) termo de classificação: designação de uma classe de classificação ou item de classificação por meio de uma expressão linguística.

### 3.1.1 Classificação enumerativa

Geralmente, dentro de um sistema de classificação, as classes são divididas em subclasses. Quando as unidades dessas subclasses formam conjuntos mais particulares de uma determinada classe anterior, essa classificação pode ser denominada como hierárquica (TRISTÃO et al., 2004). Seguindo a mesma linha de raciocínio, Tristão et al. (2004) define a classificação enumerativa, a qual prevê a subdivisão de um universo de conhecimento em classes sucessivamente menores, as quais são organizadas de modo a explicitar suas relações hierárquicas.

Por meio da história referente à classificação bibliográfica, Barbosa (1972) aponta que as classificações hierárquicas passaram a não atender ao enquadramento multidimensional para a classificação de determinados documentos. Dessa forma, surgiram novas técnicas para classificação, as quais não se restringiam a uma determinada hierarquia de divisão e dividam os assuntos em determinadas categorias ou facetas (BARBOSA, 1972). Tristão et al. (2004) também salienta que a classificação enumerativa é, de certo modo, limitativa, pois impõe dificuldades à inserção de novos termos.

### 3.1.2 Classificação facetada

Barbosa (1972) define a classificação facetada como um sistema que utiliza a combinação de termos estruturados para identificação das suas facetas. Segundo a mesma autora, essas facetas consistem em “uma lista de termos mantendo entre si as mesmas amplas relações com a classe que lhes deu origem [...]” (BARBOSA, 1972, p. 75).

De modo simplificado, o esquema das facetas permite quebrar os assuntos em categorias fundamentais para permitir uma divisão clara da natureza dos conceitos (AMORIM; PEIXOTO, 2006). Tristão et al. (2004) também afirma que a análise de um assunto torna-se fragmentado ao utilizar as classificações facetadas, pois o assunto acaba sendo decomposto em conceitos mais simples, os quais são analisados separadamente, para posteriormente serem unidos, de acordo com o que se procura definir. Cada faceta, por sua vez, pode ser dividida em subfacetadas, as quais consistem em grupos de termos coordenados derivados das facetadas (BARBOSA, 1972).

Segundo Amorim e Peixoto (2006), as facetas podem ser ordenadas por uma crescente especificação do geral para o particular. Além disso, o autor exemplifica essas relações que se estabelecem entre uma faceta e suas subfacetas da seguinte forma:

[...] um objeto que esteja em um patamar abaixo de outro guarda propriedades comuns com o superior, mas mantém outras características específicas. Pode-se dizer que ele “herda” algumas de suas propriedades, sem prejuízo de sua caracterização (AMORIM; PEIXOTO, 2006, p. 196).

Sistemas de classificação que apresentam a estrutura baseada em facetas geralmente possuem maior flexibilidade quanto à classificação de um determinado objeto. Esse tipo de classificação consegue caracterizar um objeto através de qualquer combinação das classes das facetas, pois a classificação permite a atribuição de múltiplas classificações a um determinado objeto (ABNT, 2018).

## 3.2 SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

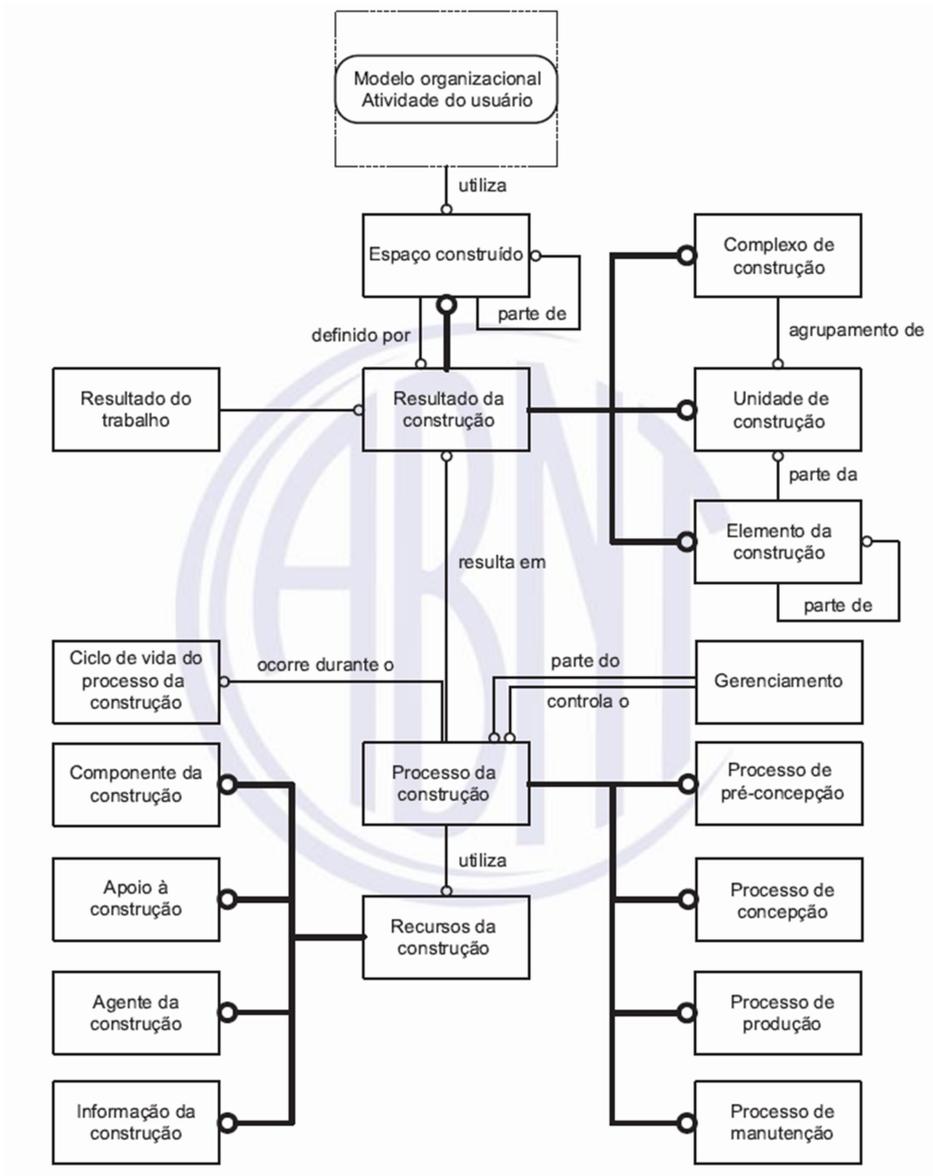
O setor da construção apresenta uma cadeia de produção variada horizontalmente, e cada participante dessa cadeia de produção geralmente define seus próprios códigos de referência para seus produtos, o que dificulta a existência de uma classificação indiscutível (AMORIM; PEIXOTO, 2006). Nas próximas divisões, serão caracterizados alguns sistemas de classificação da informação na construção e normativas que se relacionam com o presente trabalho.

### 3.2.1 ISO 12006

A norma ISO 12006-2:2015 tem por objetivo definir diretrizes para o desenvolvimento de sistemas de classificação para o ambiente construído, os quais possam ser aplicados a todo ciclo de vida de uma edificação, se estendendo desde o programa a ser seguido (*briefing*) às etapas de manutenção e demolição da edificação (ABNT, 2018). Segundo a ABNT (2018), a norma procura oferecer às organizações que desenvolvem sistemas de classificação uma estrutura que tenha o potencial de facilitar o intercâmbio de informações entre os diferentes sistemas, mesmo que estes diverjam em função das particularidades regionais levadas em consideração no momento em que foram elaboradas. A estrutura geral de classificação

definida pela norma e as relações entre as classes que compõe essa estrutura estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Classes e seus relacionamentos genéricos



Fonte: ABNT (2018)

Segundo a ABNT (2018), as classificações de resultados de trabalho e as de elementos seguem sendo as classificações mais utilizadas ao redor do mundo. Essas classificações possuem grande afinidade ao BIM, pois são bastante utilizadas para especificações e para análise de custos respectivamente.

Outro aspecto que merece destaque quanto à estrutura proposta pela norma é a organização dos níveis das tabelas. Conforme apontado pela ABDI (2017), o sistema apresenta tabelas hierarquizadas de cada classe, as quais são aprofundadas na medida em que se avança na sua hierarquia. Contudo, além de somente definir os níveis de especificação quanto às classes e suas subclasses, os sistemas de classificação possuem uma ordem de nível de composição, chamada de estrutura de composição, composta por dois tipos de relações principais (ABNT, 2018):

- a) “Tipo de”: relação entre dois conceitos, quando a intenção de um dos conceitos inclui a do outro, e onde existe pelo menos uma característica delimitadora;
- b) “Parte de”: relação entre dois objetos de construção, onde um objeto constitui o todo e o outro, uma parte deste todo.

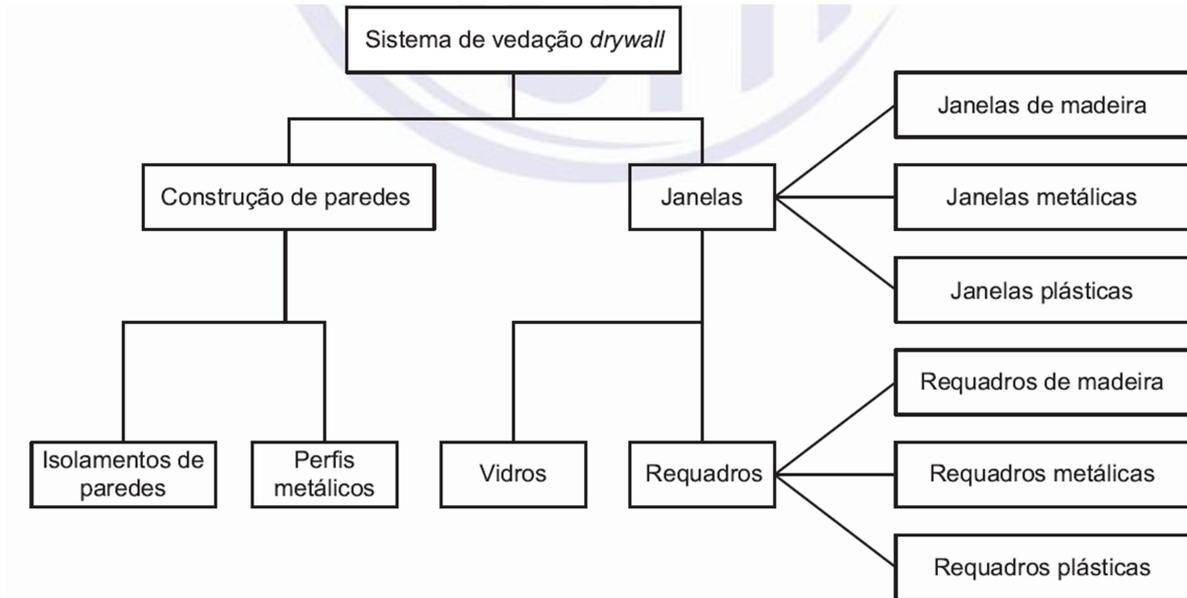
Para as relações de “tipo de”, a propriedade dos objetos é o fator mais importante, pois é a partir dela que se distinguem objetos de determinada coleção (ABNT, 2018). Desse modo, uma classe que possui todas as propriedades do sistema de classificação, se configura como a mais geral, enquanto as classes subsequentes (subclasses) apresentam propriedades mais específicas de uma determinada coleção de objetos. Já as relações “parte de” podem ser usadas em um sentido amplo, pois de acordo com a ABNT (2018), as partes podem ser identificadas a partir de uma abordagem sistêmica que leva em consideração diferentes aspectos:

Os sistemas podem ser constituídos por subsistemas em diferentes níveis de composição. A subdivisão ou estruturação de um sistema em subsistema, usando o critério de relacionamento parte de, permite que grandes conjuntos de informação em um projeto complexo possam ser manipulados em partes menores. Desta forma, a estruturação da composição pode proporcionar uma visão geral de um sistema, com a finalidade de facilitar a sua compreensão, montagem e modificação. Um sistema de sistemas reúne um conjunto de sistemas necessários para a realização de uma tarefa que nenhum dos sistemas pode realizar isolada e individualmente (ABNT, 2018).

A partir da análise da Figura 3, é possível compreender melhor as relações hierárquicas que um sistema de classificação proporciona. Por exemplo, um “requadro plástico” é considerado

um “tipo de” “requadro”, o qual é considerado “parte de” uma “janela”. O mesmo ocorre para uma “janela de madeira”, a qual é um “tipo de” “janela”, que estabelece uma relação de “parte de” com o “sistema de vedação”.

Figura 3 - Exemplo de relações hierárquicas



Fonte: ABNT (2018)

### 3.2.2 OmniClass

Construída de modo a atender as necessidades da indústria da construção no mercado norte-americano, a OmniClass busca fornecer uma base padronizada para a classificação da informação que abranja todos os tipos de construções ao longo de todo o ciclo de vida de uma edificação (OMNICLASS, 2006). Também segundo OmniClass (2006), o sistema é derivado do *MasterFormat*, quanto aos resultados da construção, do *UniFormat*, quanto aos elementos e do *Electronic Product Information Cooperation (EPIC)*, quanto aos produtos (materiais básicos que compõem os elementos).

A OmniClass caracteriza, em cada uma de suas 15 tabelas, uma faceta diferente de informação da construção. Essas tabelas, de acordo com OmniClass (2006), podem ser agrupadas em três categorias básicas, as quais são partes constituintes da estrutura geral do sistema de classificação, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Arranjo de informações das tabelas OmniClass

<b>Identificação da Tabela</b>	<b>Finalidade</b>
Tabela 11 a 22	Organizar resultados da construção
Tabela 23, 33, 34, 35, 36 e 41	Organizar recursos da construção
Tabela 31 e 32	Classificar processos da construção

Fonte: adaptado de OmniClass (2006)

### 3.2.3 NBR 15965

A norma brasileira de classificação da informação da construção é alinhada com os propósitos das demais normas internacionais existentes (principalmente a OmniClass), mas apresenta adaptações na classificação para adequar à cultura da construção brasileira. Embora apenas apresente quatro partes publicadas até o momento, a previsão é de que ela seja complementada com mais três partes. As partes que ainda não foram publicadas correspondem às tabelas que abrangem os componentes e os resultados da construção (ABDI, 2017).

Alguns conceitos apresentados pela NBR 15965 são essenciais para as discussões levantadas no decorrer deste trabalho:

- a) Elemento: parte da construção que, individualmente ou combinada com outras partes, exerce uma função predominante no ciclo de vida do empreendimento;
- b) Resultado da construção: objeto da construção que é formado ou tem seu estado modificado como resultado de um ou mais processos da construção que utilizem um ou mais recursos da construção;
- c) Produto: componente ou conjunto de componentes para incorporação permanente em unidades de construção (ABNT, 2011).

Para fornecer ao sistema de classificação brasileiro a interoperabilidade necessária para com os sistemas de classificação da indústria da construção, a ABNT (2011) apresentou classificações de acordo com as seis grandes classes da construção propostas pela ISO 12006-2 (espaços, resultados, processos, recursos, propriedades e informações). A estrutura das classes pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4 - Proposta de estrutura de classes da NBR 15965

Identificador de grupo	Tema	Assunto	Identificador do assunto	Classificação
0	Características dos objetos	Materiais	M	0M
		Propriedades	P	0P
1	Processos	Fases	F	1F
		Serviços	S	1S
		Disciplinas	D	1D
2	Recursos	Funções	N	2N
		Equipamentos	Q	2Q
		Componentes	C	2C
3	Resultados da construção	Elementos	E	3E
		Construção	R	3R
4	Unidades e espaços da construção	Unidades	U	4U
		Espaços	A	4A
5	Informação da construção	Informação	I	5I

Fonte: ABNT (2011)

### 3.3 MODELO PROCESSO E PRODUTO

Com o avanço das tecnologias no contexto da construção civil, surgiram pesquisas que buscam desenvolver diretrizes de modelagem da informação para aperfeiçoar o processo de gerenciamento de um empreendimento. Os modelos de processo e produto, por sua vez, proveem informações necessárias para implementar sistemas computacionais no setor da construção civil (STUMPF et al., 1996). Além disso, contêm representações conceituais de informação capazes de tomarem a forma de representações visuais (REINHARDT; GARRETT; AKINCI, 2005).

Segundo Stumpf et al. (1996), o modelo de produto é uma estrutura conceitual que organiza e comunica informações referentes ao produto edificação, entre todos os participantes em um empreendimento. Em outras palavras, a faceta de produto carrega as informações dos componentes da edificação. Por outro lado, a faceta de processo corresponde às tarefas da construção, as quais representam as etapas do ciclo de vida do empreendimento (STUMPF et

al., 1996). Caso esse modelo de informação integrado seja coerente, ele fornece informações que enriquecem o trabalho no que tange à representação, eficiência, consistência de dados e flexibilidade para o ciclo de vida da edificação (STUMPF et al., 1996).

Os elementos de uma edificação podem ser representados por geometrias tridimensionais ou listas de elementos (modelo de produto), assim como as atividades do planejamento podem ser representados por meio de estruturas de árvore, listas ou gráficos de Gantt (modelo de processo) (REINHARDT; GARRETT; AKINCI, 2005). A partir de uma classificação de produto bem estruturada, que possibilite localizar no espaço determinado elemento construído, por meio de uma representação espacial, bem como fornecer informações sobre suas características funcionais, por meio de uma representação semântica, surge um elevado potencial de integração entre esta classificação e o processo de modelagem BIM de uma edificação.

## 4 BIM 4D

Neste capítulo, serão abordados os principais conceitos de BIM 4D, os passos necessários para a modelagem, os principais problemas quanto ao uso e, por fim, as possíveis soluções encontradas na literatura para contornar os principais problemas.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DE BIM 4D

Os primeiros modelos 4D foram desenvolvidos no final dos anos 80, por grandes empresas que gerenciavam empreendimentos complexos de infraestrutura (EASTMAN et al., 2008). Na medida em que a indústria da construção passou a adotar ferramentas 3D, as empresas começaram a gerar modelos 4D manuais, combinando fotografias (*snapshots*) de cada fase do empreendimento (EASTMAN et al., 2008). As animações geradas a partir desses frames se apresentavam como uma ótima ferramenta de marketing, mas não se mostravam muito adequadas para elaboração de planejamentos e cronogramas, pois caso houvesse alguma mudança de cronograma, deveria ser realizado uma nova série de frames para gerar outra animação (EASTMAN et al., 2008).

Nas últimas décadas, novos *software* de planejamento 4D surgiram em paralelo ao aumento do interesse sobre o conceito BIM (BALDWIN; DAVID, 2014). Esses *software* BIM passaram a permitir a vinculação entre as geometrias 3D e as tarefas do cronograma (EASTMAN et al., 2008). Com o passar dos anos, as empresas que comercializavam esses *software* passaram a mirar a indústria da construção como principal cliente. O termo BIM e as alegações em torno dos benefícios cresceram tanto, que muitos clientes passaram a ter percepções de que as soluções apresentadas para melhorar a produtividade na construção civil eram, de certo modo, superestimadas (BALDWIN; DAVID, 2014).

Entretanto, existem muitos potenciais benefícios atrelados a utilização de BIM, principalmente quanto o uso de BIM para simulações 4D. Eastman et al. (2008) elucidam alguns dos principais benefícios do a partir do uso de modelos 4D:

- a) comunicação: a equipe de planejamento consegue transmitir de modo claro o planejamento a todos intervenientes do empreendimento. A percepção de tempo e de

espaço a partir do modelo 4D é mais efetiva em comparação aos tradicionais gráficos de Gantt por exemplo;

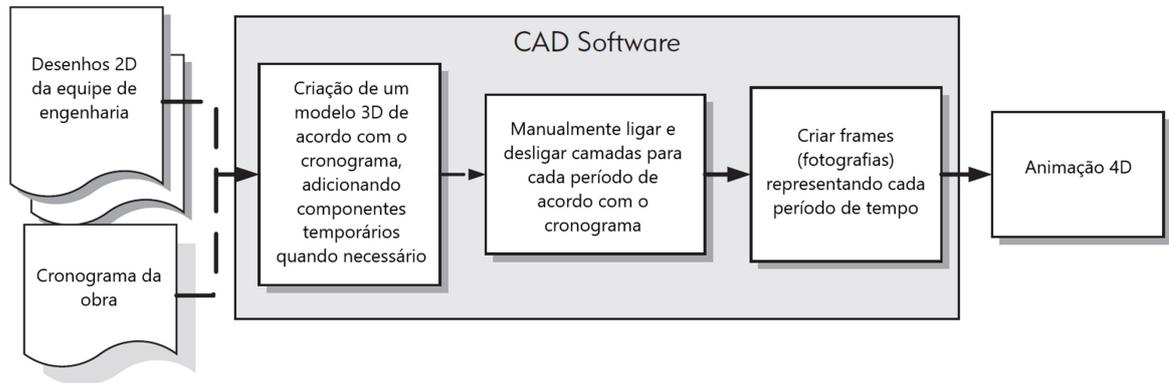
- b) logística de canteiro: a equipe de planejamento consegue gerenciar diversos aspectos da configuração espacial de um canteiro de obras. As áreas onde se depositam os materiais, os acessos, a localização de equipamentos pesados e localização das instalações provisórias podem ser mais bem definidas com o auxílio de uma modelagem 4D. Além disso, podem-se estimar os fluxos de trabalho para melhor coordenar as atividades dentro do canteiro;
- c) comparação entre cronogramas e acompanhamento da obra: a equipe que gerencia o empreendimento pode comparar cronogramas mais facilmente e identificar de maneira rápida se a obra está no prazo ou apresenta atrasos.

As simulações 4D podem apresentar impactos em todas as fases da construção e, até mesmo, nas fases pré-construção (HEESOM; MAHDJOUBI, 2004). A equipe de planejamento consegue, por meio dessas simulações, visualizar potenciais problemas antes da execução de uma determinada tarefa, evitando custos com retrabalhos (HEESOM; MAHDJOUBI, 2004). Logo, as consequências da utilização de modelos 4D são redução na variabilidade e um fluxo de trabalho com maior estabilidade (HAIATI; VON HEYL; SCHMALZ, 2016).

## 4.2 MODELAGEM BIM 4D

Segundo Eastman et al. (2008), a modelagem 4D apresenta três principais abordagens de execução: (a) método manual utilizando ferramentas 2D ou 3D; (b) recursos 4D integrados a uma ferramenta 3D ou BIM; (c) exportar um modelo 3D ou BIM para um *software* 4D e importar um cronograma neste *software*.

Conforme já abordado na seção anterior, as animações elaboradas por meio da combinação de fotografias eram visualmente chamativas e muito utilizadas para propósitos ligados ao marketing (EASTMAN et al., 2008). Contudo, pelo fato de serem produzidas manualmente, era difícil modificar as simulações para qualquer alteração de cronograma e, por isso, eram geralmente utilizadas para repassar o processo construtivo aos clientes nas etapas iniciais de projeto (EASTMAN et al., 2008).

Figura 5 - Fluxo de modelagem 4D baseado em *software* CAD

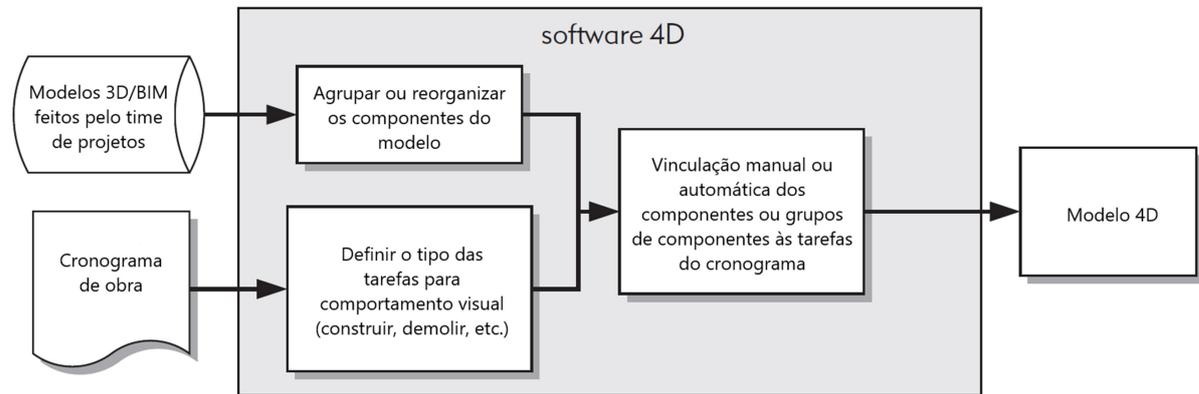
Fonte: adaptado de Eastman et al. (2008)

A partir da análise do fluxo de modelagem apontado na Figura 5, destaca-se que, caso ocorressem alterações no cronograma, em planos de execução da obra ou até mesmo nos projetos do empreendimento, seria necessário refazer todas as fotografias, uma a uma, a partir do momento em que as modificações passaram a interferir nas fotografias.

Outro modo de gerar 4D é a partir de alguns recursos que utilizam filtros com base nos parâmetros e propriedades dos objetos (EASTMAN et al., 2008). Para isso ocorrer, os objetos BIM devem possuir em suas propriedades determinado parâmetro que os atribuam a uma determinada fase. No entanto, esse tipo de 4D não possui integração com o cronograma e geralmente é utilizado para atividades básicas (EASTMAN et al., 2008). Um exemplo em relação a esse tipo de modelagem representa a utilização de filtros para destacar elementos que estão presentes em determinada fase da obra no *software* de modelagem 3D.

Devido às deficiências inerentes aos dois métodos de geração dos modelos 4D já mencionados, diversas empresas desenvolvedoras de *software* começaram a oferecer *software* 4D capazes de vincular os componentes 3D a cronogramas de obra, tornando o processo mais rápido e confiável (EASTMAN et al., 2008). Além disso, esses *software* passaram a importar cronogramas de obra de algumas das maiores e mais conhecidas ferramentas de planejamento da construção civil, tais como o Primavera e o MS Project (BUTKOVIC; HEESOM; OLOKE, 2019). O fluxo de modelagem que estes *software* passaram a empregar está mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Fluxo de modelagem 4D baseado em *software* BIM 4D



Fonte: adaptado de Eastman et al. (2008)

A partir da análise da Figura 6, percebe-se que os *software* 4D passaram a incorporar o BIM em seus fluxos de operação, pois começaram a permitir vinculações automáticas de componentes às tarefas do plano de construção. Essas possibilidades decorrem da utilização das informações presentes no modelo BIM, as quais conferem a possibilidade de um determinado elemento ou grupo de elementos serem identificados a partir de regras.

Apesar de todos os potenciais benefícios decorrentes do uso de BIM 4D, a indústria da construção não tem atingido toda a potencialidade que essa tecnologia carrega, pois a implementação eficiente do BIM 4D em um empreendimento depende de muito esforço e trabalho (WEBB; SMALLWOOD; HAUPT, 2004). Mahalingam, Kashyap e Mahajan (2010) inclusive apontam que a utilização de simulações 4D, por vezes, pode consumir um tempo e um esforço que não resultarão em resultados tão significativos. Isso se deve a inúmeros fatores, dentre os quais se destacam a complexidade e necessidade de esforço coordenado para realizar a modelagem 4D e a necessidade de repetir o processo de associação dos componentes às tarefas para cada novo projeto (WEBB; SMALLWOOD; HAUPT, 2004; STAUB-FRENCH; KHANZODE, 2007).

Seguindo a mesma linha de raciocínio, Heesom e Mahdjoubi (2004) apontam que, por mais que haja enormes ganhos com a utilização de modelos 4D para compreensão espacial, existe uma demanda para desenvolver métodos capazes de vincular automaticamente os componentes do modelo 3D às tarefas do cronograma, bem como para melhorar a utilização de informações com base em padrões interoperáveis. Portanto, fica evidente a

necessidade de elaborar simulações 4D mais dinâmicas para atingir melhores resultados (AOUAD et al., 2013).

### 4.3 AUTOMATIZAÇÃO NA MODELAGEM BIM 4D

A criação de um modelo BIM 4D envolve basicamente a associação entre objetos do modelo, que representam seus elementos, e as tarefas que compõem o plano de construção (SIGALOV; KÖNIG, 2017). Os vínculos entre os elementos e as tarefas do plano de construção são majoritariamente feitos de modo manual (BUTKOVIC; HEESOM; OLOKE, 2019). Contudo, a partir da evolução dos *software* 4D, muitos deles passaram a desenvolver algoritmos que permitiam a vinculação automática dos elementos 3D às tarefas com base em atributos presentes nos elementos BIM (BUTKOVIC; HEESOM; OLOKE, 2019).

No entanto, se houver mudanças nos planos de construção e inclusão ou exclusão de elementos no modelo BIM 3D, será necessário reestabelecer essas vinculações entre as tarefas e os elementos. Segundo Eastman et al. (2008), a manutenção do modelo BIM 4D frente às mudanças pode se estabelecer de dois modos: manual e automático. Mudanças em um modelo BIM 4D cujos vínculos tenham sido realizados de modo manual requer o estabelecimento de novas vinculações para tudo aquilo que foi alterado. Isso se estende, inclusive, às atualizações de modelo 3D decorrentes de revisões de projeto. Desse modo, caso o modelo passe por uma atualização, todos os vínculos previamente estabelecidos terão que ser refeitos. Por outro lado, mudanças num modelo BIM 4D no qual as vinculações foram automatizadas com base em regras, a atualização pode ser feita de modo menos trabalhoso. Entretanto, existe uma complexidade muito grande para que essas regras funcionem em um ambiente onde os planos de construção são dinâmicos e os projetos ainda estão sendo atualizados, por conta das revisões de projeto. Portanto, a manutenção e atualização contínua da modelagem 4D acaba se configurando como uma barreira para sua implementação ao longo da obra (ROMIGH; KIM; SATTINENI, 2017). Por esse motivo, a utilização de BIM 4D geralmente fica restrita para a análise de planos de construção e operação de canteiro em estágios iniciais da obra (HARTMANN; GAO; FISCHER, 2008)

Muitas pesquisas têm desenvolvido propostas para automatizar os processos de planejamento e modelagem 4D com base em BIM. Haiati, Von e Heyl (2016) desenvolveram pesquisas em torno da automatização de algumas etapas da modelagem 4D, em combinação com ferramentas baseadas nos conceitos da construção enxuta. Tauscher et al. (2009) e

Kim et al. (2013), por exemplo, apresentam diretrizes para criação automatizada de cronogramas de obra utilizando arquivos *openBIM*. Wang et al. (2014), por sua vez, além de automatizar o processo de criação de cronogramas, desenvolveu uma proposta para estimar produtividades e durações por meio de programação computacional. Por mais que seja um campo de pesquisa incipiente, esses estudos se mostram extremamente interessantes, pois buscam possibilitar a geração de diferentes hipóteses de planos de construção para auxiliar o planejamento da produção, sob uma perspectiva ágil e inteligente.

Partindo de uma abordagem diferente, Schenatto (2015) propôs diretrizes para um processo de modelagem eficiente por meio de um sistema de classificação adaptado, que permita o relacionamento coerente do modelo BIM com as ferramentas utilizadas para o planejamento e controle da produção. Ferreira et al. (2017) desenvolveram uma proposta para criar estruturas analíticas de projeto por meio de ferramentas de programação visual, de modo a possibilitar a vinculação automática dos elementos BIM às tarefas em um determinado *software* BIM 4D. Essas duas pesquisas apresentam características em comum, pois ambas requerem a inserção de parâmetros nos modelos BIM durante a etapa de modelagem.

Mais recentemente, com a evolução no campo da tecnologia da informação (TI), novos conceitos têm surgido para revolucionar diversos setores da economia, tais como internet das coisas, *big data* e inteligência artificial. Junto a isso, o conceito de “*digital twin*” passou a emergir no cenário da construção civil (TAO; ZHANG; NEE, 2019). Originalmente voltado para as etapas de manutenção e operação da edificação, o “*digital twin construction*” (DTC) consiste em um novo modo de gerenciar a produção na construção, que utiliza o fluxo de dados de uma variedade de tecnologias de monitoramento, as quais são capazes de fornecer informações referentes ao status da produção e garantir uma otimização do planejamento e controle da produção (SACKS et al., 2020).

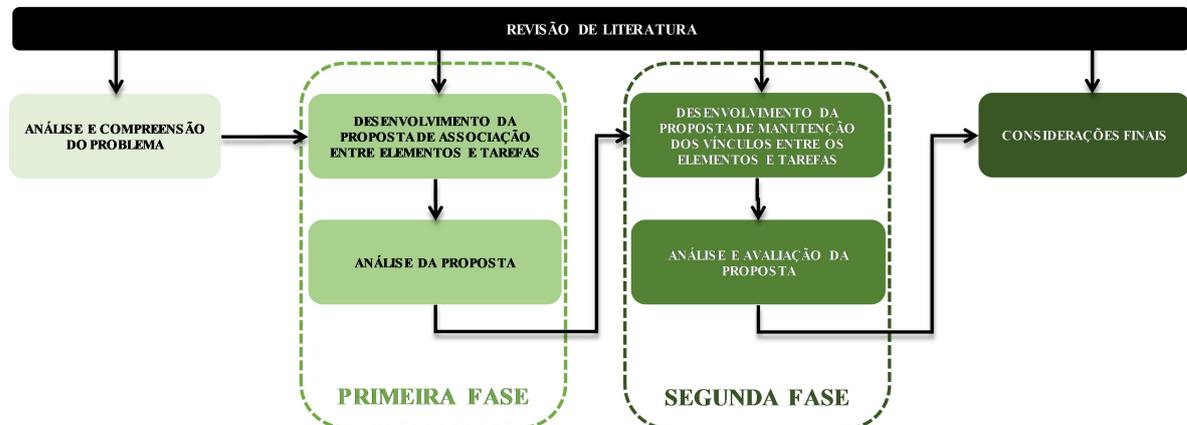
## 5 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta o método que foi utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa. Primeiramente, a estratégia, o delineamento e a caracterização do escopo da pesquisa serão abordados. Em seguida, serão descritas as etapas que foram desenvolvidas no trabalho.

### 5.1 ESTRATÉGIA E DELINEAMENTO DE PESQUISA

O presente trabalho busca definir um método para a geração de modelos BIM 4D, de modo a garantir uma eficácia na manutenção dos mesmos, após revisões de projeto. Este estudo surgiu da necessidade de encontrar maneiras de elaborar um modelo 4D capaz de acompanhar todo o processo de coordenação e compatibilização de projetos em BIM, durante o período de execução das obras.

Figura 7 - Delineamento da pesquisa



Fonte: elaborado pelo autor

Na Figura 7, está esquematizado o delineamento da pesquisa. A primeira etapa do estudo consiste na definição, análise e entendimento do problema de pesquisa. Nesta etapa, foi realizada a avaliação do sistema de modelagem 4D empregado na empresa estudada, com o intuito de adquirir subsídios para a compreensão do problema. Ademais, nesta fase do estudo foram definidas as questões e objetivos de pesquisa, as quais orientaram todas as etapas do trabalho.

A pesquisa será realizada em duas etapas empíricas de estudo. A primeira fase compreende a elaboração de uma proposta para geração semiautomática das associações entre os elementos BIM e as tarefas do plano de construção. Nesta etapa, foram testadas regras baseadas em parâmetros existentes no esquema IFC e regras baseadas em um sistema de classificação adaptado para a empresa estudada.

A partir dos resultados obtidos na primeira fase da pesquisa, a segunda fase apresenta diretrizes para a manutenção das associações do modelo BIM 4D, utilizando base de dados externa ao modelo BIM para armazenar informações de planejamento. Por fim, foi realizado um teste para verificar a viabilidade técnica executiva da proposta elaborada, bem como foram explanadas as conclusões e considerações finais acerca do estudo.

Concomitantemente a todas as etapas do trabalho, foi realizada a revisão de literatura, cujo principal objetivo foi fornecer à pesquisa o embasamento teórico necessário para seu desenvolvimento.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESCOPO DE PESQUISA

O trabalho se estabelece em um cenário no qual a coordenação e compatibilização de modelos BIM são de responsabilidade de uma empresa construtora, enquanto a modelagem BIM é realizada por empresas projetistas externas. Salienta-se que o estudo é limitado a modelos em etapa pré-executiva e executiva, ou seja, modelos os quais estão passando pelo processo de compatibilização de projetos, na iminência de serem disponibilizados às obras. Geralmente, na empresa, os modelos entram em etapa pré-executiva cerca de seis meses antes do início da obra. Ao assumir as considerações pontuadas, os modelos BIM 3D tendem a não passar por massivas modificações durante o processo de geração e manutenção do modelo BIM 4D, pois o conceito do produto tende a estar bem definido na fase pré-executiva.

Para o desenvolvimento do método, foram elencadas duas disciplinas: arquitetura e estrutura. A justificativa da escolha dessas duas disciplinas para o estudo decorre da grande representatividade espacial e de custos de ambas. Além disso, não foi possível estender as análises para as demais disciplinas por limitação de tempo.

### 5.3 FONTES DE EVIDÊNCIA

O autor conduziu as reuniões de elaboração do cronograma de longo prazo do empreendimento da empresa estudada. Portanto, foi possível fazer uma análise documental dos materiais referentes ao planejamento e aos projetos da obra em questão. Entre os documentos disponibilizados, estão o cronograma de execução, modelos BIM e os esquemas de divisão de lotes de produção da obra. Além disso, muitas decisões tomadas em relação ao rumo da pesquisa foram orientadas pelas definições estabelecidas a partir das reuniões de planejamento. Destaca-se, portanto, que a pesquisa buscou alinhar as diretrizes de modelagem 4D às informações do planejamento já elaborado para o empreendimento.

### 5.4 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E EMPREENDIMENTO

O estudo foi realizado em uma construtora e incorporadora, sediada em Porto Alegre/RS. A empresa estudada atua há mais de 20 anos no mercado gaúcho, com foco em edifícios residenciais e comerciais, majoritariamente de médio e alto padrão. Durante a execução deste trabalho, a empresa apresentava diversos canteiros de obras ativos, nos quais ficavam as equipes responsáveis pela produção de obra. Os demais setores da engenharia que forneciam suporte às obras, tais como os setores de planejamento e de projetos ficavam no escritório da empresa.

O desenvolvimento do estudo utilizou como base um empreendimento residencial de médio padrão, localizado na cidade de Porto Alegre – RS. O empreendimento se enquadra em um segmento de produto de apartamentos tipo *studio*, isto é, apartamentos compactos com ambientes integrados. Com aproximadamente 8.000 m<sup>2</sup> de área construída e 204 unidades residenciais, que variam de 24 m<sup>2</sup> a 41 m<sup>2</sup>, a edificação é composta por uma torre de 15 pavimentos e conta com uma infraestrutura de lazer bastante diversificada. Bicicletário, sala fitness, espaço gourmet, lavanderia e *rooftop* com bar e piscina são alguns dos espaços destinados ao uso comum no empreendimento. A perspectiva do modelo BIM do empreendimento pode ser visualizada na Figura 8.

Figura 8 - Perspectiva do modelo BIM do empreendimento



Fonte: fornecido pela empresa estudada

## 5.5 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

### 5.5.1 Avaliação do sistema em uso na empresa estudada

Esta etapa da pesquisa consistiu em analisar o método utilizado para modelagem 4D na empresa, por meio de observação participante, visto que o autor trabalhava no setor de planejamento da empresa, e por meio de análise documental. Esta análise pôde abranger todos os aspectos técnicos referentes aos seguintes processos: (a) importação do cronograma para o *software* 4D; (b) inserção de parâmetros no modelo BIM; (c) associação de tarefas aos elementos BIM e (d) atualização das vinculações após alterações nos modelos BIM e no plano de ataque da obra.

Para caracterizar o escopo da pesquisa, foi necessário compreender a dinâmica de operação dos setores de planejamento, projetos e de execução de obras da empresa. O entendimento dos fluxos de informações entre esses setores possibilitou uma melhor definição do escopo da pesquisa, bem como um melhor entendimento das limitações em relação ao tema escolhido.

Além dos fluxos de informações gerais dos setores, foi necessário entender como os setores estão se relacionando com o uso de BIM, para determinar os possíveis benefícios que poderiam ser explorados no decorrer da pesquisa.

### 5.5.2 Primeira fase da pesquisa

Na primeira fase da pesquisa, foram buscadas soluções para a associação dos elementos BIM às tarefas do cronograma, utilizando regras para identificação dos elementos por meio das facetas de representação semântica e de representação espacial.

Num primeiro momento, foram utilizados parâmetros nativos do esquema IFC para identificar os elementos por meio de regras. Para isso, foram elencados dois principais parâmetros: *IfcSpatialContainer*, o qual está diretamente relacionado ao *IfcSpatialElement* e *IfcExportAs*, o qual está diretamente relacionado ao *IfcBuildingElement*. O processo de definição das regras para a identificação dos elementos BIM foi feito por teste de hipóteses, ou seja, eram testadas regras para identificar conjuntos de elementos e, na sequência, era verificado até que ponto essas regras conseguiam identificar todos os elementos do modelo BIM. A partir de inúmeras tentativas e regras estabelecidas, foi verificado que os parâmetros nativos de exportação do IFC não apresentavam robustez suficiente para identificar os elementos conforme a expectativa inicial.

Desse modo, foi necessário partir para uma segunda proposta de associação dos elementos às tarefas, a qual consistia na utilização de regras apoiadas em um sistema de classificação facetado, personalizado para o empreendimento em estudo. Para a elaboração da classificação da representação semântica, foram listados todos os elementos do modelo BIM e classificados de acordo com a tabela 21 da OmniClass. Tendo em vista a possibilidade de muitas simplificações, foi estruturada uma classificação adaptada para o empreendimento com dois níveis hierárquicos de códigos, os quais foram inseridos nos elementos BIM dos modelos arquitetônico e estrutural. Já para a elaboração da classificação da representação espacial, foram utilizados os esquemas de lotes de produção da empresa, que deram origem a um modelo BIM específico para a classificação espacial, chamado de modelo espacial. Utilizando os códigos inseridos nos modelos BIM, foram organizados todos os conjuntos de seleção baseados na “compatibilização” entre o modelo espacial e os demais modelos BIM.

### 5.5.3 Segunda fase da pesquisa

A segunda fase é focada na manutenção do modelo BIM 4D a partir de regras. Neste momento, foi utilizada uma base de dados externa ao modelo BIM com todas as informações pertinentes às tarefas e aos elementos do modelo. Esta base de dados foi estruturada em uma planilha eletrônica e vinculada ao modelo BIM 4D por intermédio do *Open Database Connectivity (ODBC) driver*. Ademais, foram inseridas no arquivo do cronograma da obra as informações referentes às classificações das facetas, para que pudessem ser geradas regras capazes de vincular automaticamente os elementos às tarefas no *software* 4D.

Para verificar a aplicabilidade do método, foi carregada uma versão do modelo estrutural mais recente no *software* 4D. Em seguida, foram aplicadas as regras para associar as tarefas aos elementos de modo automático. Por fim, foram levantadas discussões em torno dos resultados da pesquisa e em relação à eficiência do método proposto.

## 6 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados da pesquisa. Inicialmente, serão explanadas as análises do sistema de modelagem empregado na empresa e seus principais desafios e dificuldades. Na sequência, serão debatidas ambas as fases de estudo desenvolvidas para a elaboração de um método capaz de gerar e manter as associações entre os elementos e as tarefas. Por fim, o método desenvolvido será avaliado quanto a sua aplicabilidade, eficiência e esforço.

### 6.1 AVALIAÇÃO DO SISTEMA EM USO NA EMPRESA ESTUDADA

A empresa tem buscado implementar BIM nos processos dos seus setores. O setor de projetos, por exemplo, realiza a coordenação e compatibilização de projetos de praticamente todos os empreendimentos da empresa em BIM. O setor de orçamentos, por sua vez, também trabalha com extração de quantitativos e serviços em BIM.

No setor de planejamento, porém, a implementação de BIM ainda se encontra em fase incipiente. Embora tenham sido elaborados projetos pilotos de modelos BIM 4D, a utilização de tais modelos ficou restrita à visualização e comunicação do plano de construção da obra aos intervenientes. Vale destacar que esses modelos não incorporaram quaisquer alterações posteriormente realizadas no modelo BIM, bastante comuns por ocasião de revisões de projeto.

A partir do momento em que os processos de geração e atualização do modelo BIM 4D passam a desconsiderar as modificações de projeto, o potencial de utilização do modelo para a visualização de interferências e para o planejamento e controle da produção é diretamente afetado, uma vez que o modelo 3D utilizado como base para a geração do 4D não reflete a situação atual do projeto.

A empresa possuía uma percepção de que era exigida uma grande carga de trabalho para que fossem montados os conjuntos de seleção – consistem em grupos de componentes do modelo que podem ser associados a cada uma das tarefas do cronograma. Como o modelo 3D não possuía as informações necessárias para possibilitar uma automatização via regras no

Navisworks, novas simulações exigiam revisões manuais toda vez que ocorria uma alteração no plano de ataque da obra. Caso fosse possível automatizar a atualização ou criação dos vínculos entre os elementos e as tarefas, reduziria significativamente o esforço empregado, viabilizando a manutenção do modelo BIM 4D em casos de mudanças no plano de construção da obra.

## 6.2 PRIMEIRA FASE DO ESTUDO DE CASO

A primeira fase do estudo de caso aborda as discussões em torno do processo de associação dos elementos BIM às tarefas do plano de construção. Inicialmente, será abordada uma proposta que utiliza parâmetros nativos dos modelos IFC para gerar os conjuntos de elementos. Na sequência, a proposta será aprimorada, de tal modo que os vínculos passarão a ser apoiados em um sistema de classificação facetado. As discussões são apresentadas a seguir.

### 6.2.1 Proposta inicial de geração dos conjuntos de elementos

O ponto de partida da pesquisa foi identificar padrões de parâmetros de exportação nos modelos interoperáveis para facilitar a geração das simulações BIM 4D. Com isto, se buscava estabelecer uma padronização durante a exportação dos elementos BIM (independente do *software* de modelagem de origem) que fornecesse subsídios para auxiliar a geração de regras de procura dos elementos, bem como fornecer maior agilidade na organização dos conjuntos de elementos no *software* de modelagem 4D.

A análise dos modelos arquitetônico e estrutural partiu de uma premissa inicial da necessidade de que cada elemento do modelo possuísse uma identificação única para diferenciá-lo dos demais. O parâmetro escolhido para a identificação do elemento foi o *IfcGUID* – que consiste em um identificador único associado a cada objeto que compõe um modelo BIM no formato IFC. Por decisão do pesquisador, essa análise foi feita inteiramente com base em modelos no formato IFC. Além disso, os modelos disponibilizados pelos projetistas não passaram por nenhuma modificação ao longo do desenvolvimento desta proposta inicial.

Após o recebimento dos modelos arquitetônico e estrutural em formato IFC, os mesmos eram importados em modelos federados no *software* Navisworks para viabilizar a extração de dados dos modelos. Na sequência, eram elencados parâmetros-chave para a análise dos

elementos, os quais incluíam informações de tipo, entidade, pavimento e material (Quadro 2). Para compreender o escopo de padronização, os parâmetros *IfcExportAs* e *IfcSpatialContainer* foram considerados, inicialmente, os mais relevantes, pois conseguem caracterizar a posição e o tipo de elemento que foi exportado. A título de exemplo, os elementos do modelo estrutural do pavimento térreo possuem informações conforme aponta o Quadro 3, o que ajuda a definir o tipo de elemento e sua localização. A partir dos modelos BIM, eram extraídas as informações de cada um dos elementos do modelo e seus respectivos parâmetros, na forma de arquivos no formato *comma-separated values* (CSV).

Quadro 2 - Parâmetros-base e significados definidos para análise

<i>IfcGUID</i>	<i>IfcExportAs</i>	<i>IfcSpatialContainer</i>	<i>IfcMaterial</i>	<i>Element Type</i>
Identificação única	Entidade de exportação	Pavimento (posição no espaço)	Material	Tipo

Fonte: elaborado pelo autor

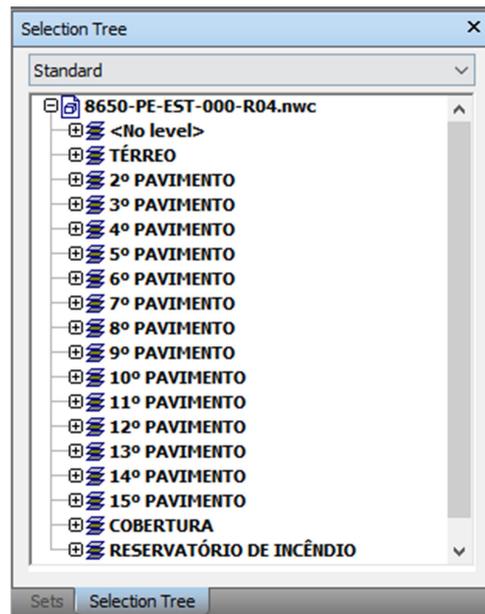
Quadro 3 - Proposta de classificação da informação para modelos estruturais no pavimento térreo

Elemento	<i>IfcExportAs</i>	<i>IfcSpatialContainer</i>
Pilar	<i>IfcColumn</i>	TÉRREO
Viga	<i>IfcBeam</i>	TÉRREO
Laje	<i>IfcSlab</i>	TÉRREO
Escada	<i>IfcStair</i>	TÉRREO

Fonte: elaborado pelo autor

O processo de avaliar a eficácia desta escolha de parâmetros-padrão se desenvolveu baseado em teste de hipóteses. Desse modo, foram desenvolvidos alguns critérios de procura para identificar todos os elementos de um determinado grupo e sua localização. Com o intuito de auxiliar este processo de elaboração dos critérios de seleção, foram utilizados filtros nas planilhas eletrônicas com a listagem de todos os elementos do modelo e seus respectivos parâmetros. Para os critérios de regra de procura do parâmetro *IfcSpatialContainer*, foi utilizada a estrutura analítica de projeto (EAP) de construção padrão do modelo, conforme o exemplo da Figura 9. Geralmente, esta hierarquia espacial era replicada para todos os empreendimentos modelados em BIM na empresa estudada.

Figura 9 - Exemplo de EAP de construção adotada nos modelo BIM da empresa



Fonte: elaborado pelo autor

As regras apresentadas no Quadro 4, por exemplo, foram desenvolvidas para encontrar as vigas contidas no 2º pavimento. A análise para desenvolver as propostas de padronização buscava iterativamente determinar regras capazes de identificar a totalidade daqueles elementos contidos naquele espaço.

Quadro 4 - Exemplo de regras de procura para vigas do 2º pavimento

<b>Categoria</b>	<b>Propriedade</b>	<b>Condição</b>	<b>Valor</b>
<i>Element</i>	<i>IfcExportAs</i>	Contém	<i>IfcColumn</i>
<i>Element</i>	<i>IfcSpatialContainer</i>	Contém	2º PAVIMENTO

Fonte: elaborado pelo autor

Na medida em que as propostas de padronização eram desenvolvidas e testadas com as regras de procura no Navisworks, algumas dificuldades e fatores limitantes surgiram. Em seguida, estão apontadas as principais discussões em torno do estudo realizado em cada uma das disciplinas.

### 6.2.1.1 Discussões modelo estrutural

O modelo estrutural estudado possuía 1853 elementos. Com exceção de 15 elementos que foram exportados para o IFC como *IfcBuildingElementProxy*, todos os elementos foram abrangidos nas regras de procura dos pilares, vigas e lajes (em seus respectivos pavimentos). A classe *IfcBuildingElementProxy* é reservada para todos os elementos genéricos que não possuem uma representação definida, nem se encaixam nas demais classes-padrão disponibilizadas pelo esquema IFC no momento da exportação do modelo (BUILDINGSMART, 2017). No caso analisado, os elementos modelados como genéricos no modelo estrutural se referiam a chanfros nas estruturas de concreto armado do reservatório superior. Visto que totalizavam somente 0,33 m<sup>3</sup>, estes elementos não representam um valor significativo no que tange ao volume de concreto do lote de concretagem da cobertura e do reservatório superior (52,33 m<sup>3</sup>). Entretanto, caso esses elementos genéricos apresentassem volumes significativos para a cubagem para uma determinada concretagem, a não contabilização desses elementos nas regras poderia ocasionar falta de concreto na concretagem.

Desse modo, se mostra interessante realizar uma análise inicial do modelo BIM, identificando todos os elementos genéricos e avaliando seus impactos, pois pode ser que pequenos desvios não interfiram nas demais análises. Caso os impactos desses elementos genéricos sejam significativos, surge a necessidade da utilização de outro parâmetro para que as regras de procura diferenciem esses elementos entre si, de acordo com suas especificações. Uma solução alternativa para garantir a diferenciação desses elementos genéricos seria readequar a modelagem e a exportação, a fim de garantir que os elementos sejam identificados como uma das classes-padrão não genéricas. Por esses motivos citados, deve-se evitar a utilização da classe de elementos genéricos, pois pode existir uma dificuldade de identificação desses elementos durante a geração de regras de procura.

Além dos pontos já mencionados, foi identificado que as escadas não foram exportadas como seria esperado (*IfcStair*), mas sim, como lajes (*IfcSlab*). Surge a necessidade, portanto, de readequar o processo de modelagem e exportação do modelo a fim de realocar as escadas na classe de *IfcStair*. No caso da obra analisada, as escadas foram planejadas para serem concretadas junto aos pilares e, por este motivo, devem ser diferenciadas em relação às lajes nas regras de procura, para serem contabilizadas em dias distintos de concretagem.

Apesar de algumas barreiras encontradas, todos os elementos conseguiram ser identificados de maneira satisfatória, com exceção dos 15 elementos genéricos. No entanto, é importante destacar que as regras conseguiram identificar elementos estruturais de classes-padrão do esquema IFC, tais como: pilar, viga e laje. Portanto, caso outro empreendimento possua uma configuração estrutural diferente, a complexidade na criação de regras pode aumentar de modo considerável.

#### 6.2.1.2 Discussões modelo arquitetônico

A análise dos elementos do modelo arquitetônico mostrou, logo de início, uma complexidade superior em relação àquelas regras de procura desenvolvidas para o modelo estrutural. No modelo estrutural, havia quatro classes de elementos compondo o modelo, enquanto o modelo arquitetônico possui 18 classes. O aumento na quantidade de tipos de elementos que compõem o modelo eleva o esforço envolvido em torno da criação de regras de procura.

Todas as paredes de vedação, por exemplo, foram exportadas como paredes (*IfcWall*). Desse modo, tanto as paredes de alvenaria de bloco cerâmico, quanto as paredes de *drywall*, foram encontradas ao aplicar regras de procura para os elementos da classe *IfcWall*. A diferenciação entre esses dois tipos de elementos dependeria, portanto, de um terceiro parâmetro, conforme apontado no exemplo do Quadro 5.

Quadro 5 - Exemplo de regras de procura para alvenaria cerâmica do 15º pavimento

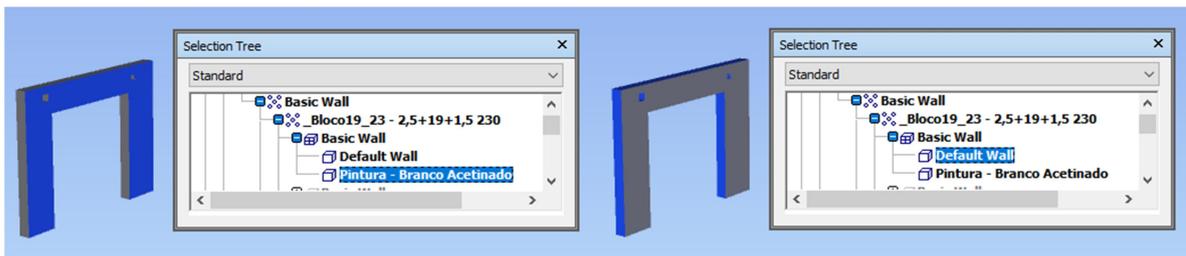
<b>Categoria</b>	<b>Propriedade</b>	<b>Condição</b>	<b>Valor</b>
<i>Element</i>	<i>IfcExportAs</i>	Contém	<i>IfcWall</i>
<i>Element</i>	<i>IfcSpatialContainer</i>	Igual a	15º PAVIMENTO
<i>Element</i>	<i>IfcMaterial</i>	Contém	Bloco

Fonte: elaborado pelo autor

Durante a análise dos dados extraídos do modelo arquitetônico, percebeu-se que as informações contidas no parâmetro *IfcMaterial* poderiam diferenciar as paredes de alvenaria de bloco cerâmico das paredes de *drywall*, pois todos os elementos de alvenaria continham a sequência de caracteres “Bloco” inseridos no parâmetro, enquanto os elementos de *drywall* possuíam “Gesso”.

Ademais, destaca-se que, no modelo analisado, o sistema composto por alvenaria de bloco cerâmico, reboco e pintura compõe um único elemento de parede, ou seja, possui apenas um *IfcGUID* atrelado a ele. Esse tipo de configuração de paredes se repete para os demais elementos de vedação do modelo, tais como as paredes *drywall*. Na Figura 10, há um exemplo de um elemento de parede composto por duas geometrias: “Default Wall” e “Pintura – Branco Acetinado”.

Figura 10 - Exemplo de elemento composto por mais de uma geometria



Fonte: elaborado pelo autor

Diversos são os fluxos de modelagem que podem ser aplicados para originar uma parede. No caso do modelo analisado, as paredes são formadas apenas por um único objeto, composto por mais de uma geometria (múltiplas camadas verticais de diferentes materiais), conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Representação em planta baixa de uma parede com múltiplas camadas



Fonte: adaptado de *buildingSMART* (2017)

As informações da modelagem não foram inseridas individualmente em cada uma das camadas, mas sim, na parede em si, pois é a parede que carrega os atributos de um elemento BIM. O esquema IFC disponibiliza campos para inserir apenas informações de espessura e de material para cada uma das camadas em questão, através da entidade *IfcMaterialLayer*.

Portanto, a análise individual de cada uma dessas camadas fica comprometida, pois essas camadas não possuem informações e parâmetros essenciais a elaboração de uma simulação BIM 4D.

Como tais camadas apresentam uma restrição quanto às informações incorporadas a si, elas até poderiam ser vinculadas às tarefas de modo manual, em uma simulação 4D cuja finalidade fosse estritamente para compreensão espacial do plano de construção. As camadas que compõe a parede de *drywall*, por exemplo, poderiam ser individualmente vinculadas às tarefas. No entanto, essa modelagem passa a ser exclusivamente 4D, pois desconsidera as informações presentes no modelo e passa a considerar apenas a geometria do componente em si. Além disso, essa abordagem elimina a possibilidade de atualização automática desses modelos 4D.

Desse modo, deve-se entender como serão vinculados os elementos compostos durante uma simulação BIM 4D. Se o elemento for modelado de modo composto, assim como o exemplo da Figura 10, o elemento possivelmente estará associado a mais de uma tarefa durante uma simulação BIM 4D. Uma parede *drywall*, composta por mais de uma camada (*frame* e placa de gesso), por exemplo, deve ser vinculada a duas atividades nas simulações: posicionamento de *frame* e plaqueamento. Desse modo, toda parede *drywall* estaria vinculada a duas tarefas distintas do cronograma.

Outro grupo de elementos que também exigiu um parâmetro adicional foi o grupo de portas. Na empresa estudada, as portas geralmente são classificadas para a orçamentação e para o planejamento da execução em quatro tipos: madeira, alumínio, ferro e ferro corta-fogo. Diferentemente das paredes, que puderam ser diferenciadas pelo seu material, as portas não foram exportadas com informações no *IfcMaterial* para diferenciá-las. Desse modo, após analisar todos os parâmetros encontrados nos elementos de portas, foi identificado que o parâmetro de nome (*IfcName*) conseguiria diferenciar os modelos de portas. As regras passariam a identificar, por meio das abreviações “PM” (porta de madeira), “PA” (porta de alumínio), “PF” (porta de ferro) e “PCF” (porta corta-fogo), as tipologias das portas, conforme o exemplo de regras de procura do Quadro 6.

Quadro 6 - Exemplo de regras de procura para portas corta-fogo do pavimento térreo

<b>Categoria</b>	<b>Propriedade</b>	<b>Condição</b>	<b>Valor</b>
Element	IfcExportAs	Contém	IfcDoor
Element	IfcSpatialContainer	Contém	TÉRREO
Element	IfcName	Contém	PCF

Fonte: elaborado pelo autor

Destaca-se que, quando a padronização é feita por meio de parâmetros inerentes ao arquivo IFC, as classes pré-estabelecidas não garantem uma diferenciação clara dos elementos. Uma cobertura verde e um forro falso, por exemplo, são ambos da classe *IfcCovering*. Entretanto, esses dois elementos são muito diferentes entre si e não estão devidamente diferenciados. O IFC consegue distinguir essas classes por meio da utilização do parâmetro *IfcTypeObject*, o qual refere-se ao tipo da entidade. No desenvolvimento da pesquisa, foi estudada a possibilidade de exportar os elementos supracitados, diferenciando seus tipos com os seguintes parâmetros: *IfcCoveringType.ROOFING* (cobertura verde) e *IfcCoveringType.CEILING* (forros falsos). Essa solução proposta mostra-se interessante para diferenciar esses dois tipos de elementos. Entretanto, a complexidade em torno dessa padronização aumenta na medida em que as análises começam a levar em consideração as etapas de execução da obra. Desse modo, seria necessário ter outro nível de informação capaz de diferenciar diferentes tipos de forros falsos, tais como forro de gesso e forro de madeira.

### 6.2.1.3 Discussões da primeira proposta

A primeira fase da pesquisa foi pautada na tentativa de entender e estabelecer uma padronização de modelagem e exportação de arquivos IFC. Essa padronização busca fornecer ao modelo um nível razoável de organização, de modo a garantir maior agilidade na geração das seleções de procura para a modelagem BIM 4D. Entretanto, após a análise dos elementos no modelo de arquitetura e de estrutura, foram observadas diversas barreiras para a concretização da ideia inicial.

A padronização dos elementos durante a exportação do IFC se mostrou uma tarefa complicada e com alto nível de complexidade inerente ao processo, a qual envolveria muitos níveis de padronização para conseguir abranger todos os elementos. Na medida em que essas

padronizações vão sendo discriminadas, a complexidade em torno da definição desses parâmetros de exportação para a modelagem cresce bastante.

Outro fator dificultou a correta atribuição dos elementos às zonas de trabalho que constavam no planejamento da obra. Nem sempre os locais estabelecidos pelos projetistas nos parâmetros do *IfcSpatialContainer* conseguiam satisfazer os critérios de zoneamento da equipe de planejamento. Isto decorre do fato de os projetos terem sido elaborados antes da definição do plano de construção do empreendimento e suas respectivas zonas de trabalho.

Essa proposta inicial deveria ter sido avaliada quanto a sua eficiência na geração de simulações BIM 4D. No entanto, a complexidade em torno da padronização dos parâmetros de exportação tornou-se um fator limitante para prosseguir com essa abordagem na pesquisa. Além disso, uma correta exportação de parâmetros exige que as empresas projetistas possuam um elevado grau de maturidade de modelagem, além dos meios necessários para assegurar se a exportação foi bem sucedida. Como os atuais projetistas ainda não atendem integralmente a tais condições, optou-se por buscar uma alternativa mais viável e igualmente eficiente na classificação da informação.

O processo de classificação da informação deve garantir flexibilidade e maior maleabilidade de dados e, por este motivo, julgou-se mais interessante encontrar alternativas para classificar a informação de modo personalizado de acordo com o empreendimento no qual o método for aplicado.

### **6.2.2 Aprimoramento da proposta de geração dos conjuntos de elementos**

Tendo em vista que a abordagem de classificar os elementos por meio de parâmetros de exportação IFC tornou-se complexa, surgiu a necessidade de encontrar uma alternativa para a classificação do modelo BIM, sem existir a obrigatoriedade de trabalhar com modelos pautados na interoperabilidade.

Desse modo, na segunda fase, a pesquisa voltou-se para a elaboração de uma classificação baseada em duas facetas essenciais: elemento e localização. O elemento, por definição, é uma parte constituinte de uma construção, que possui funções inerentes a si e cumpre função predominante na construção (ABNT, 2018). Desse modo, a faceta de elemento representa o tipo de elemento, enquanto a faceta de localização representa em qual determinado setor ou lote este elemento se encontra. Quando ocorre a combinação dessas duas facetas, todos os

elementos do modelo poderão ser localizados a partir de regras em *software* de modelagem BIM 4D.

Entende-se que as decisões sobre a sequência e lotes de execução não fazem parte do processo de projeto. Tais decisões são tomadas depois. Por este motivo, apenas o preenchimento da faceta “elemento” é de responsabilidade da equipe projetista, enquanto o preenchimento e organização da faceta de localização são de responsabilidade da equipe de planejamento ou de execução da obra.

Diferentemente de Schenatto (2015), que propôs a classificação e inserção de códigos de processo e produto no modelo BIM durante a modelagem, o presente trabalho possui premissas diferentes. Entende-se que as dinâmicas de trabalho entre projetistas e a construtora analisada não conseguem viabilizar uma construção do modelo BIM em conjunto, ou seja, a equipe projetista e a equipe da obra não vão ajustar o modelo ao mesmo tempo.

Portanto, este aprimoramento da proposta partiu da premissa de que os componentes do modelo possuem somente a informação da faceta de elemento, já associada a eles pelos projetistas, no momento da sua criação. Desse modo, os projetistas conseguem fugir da carga adicional de trabalho para readequar o modelo BIM a cada alteração no plano de ataque da obra. Logo, os códigos de localização devem ser preenchidos pela equipe de planejamento, responsável pela manutenção do modelo BIM 4D.

Na empresa estudada, não há exercícios colaborativos de desenvolvimento de projetos em BIM que envolvam a equipe de produção das obras no início do desenvolvimento de projeto. Somado a isto, os planos de ataque das obras são readequados ao longo da execução. Portanto, é improvável que as informações de localização sejam repassadas para os projetistas no início da obra. Logo, a inserção de informações de localização torna-se praticamente inviável de ser solicitada à equipe projetista, pois eles não possuem materiais suficientes para inserir tais informações, nem conhecimento referente às etapas de execução da obra.

Além disso, dificilmente os projetistas conseguiriam acompanhar a dinâmica de obra e garantir uma correta manutenção dos parâmetros de localização no modelo BIM.

### 6.2.3 Classificação da faceta de elemento

Levando em consideração as limitações supracitadas que atingem as equipes projetistas, o desenvolvimento do sistema de classificação da faceta de elemento possui apenas um objetivo: elencar códigos para os elementos do modelo BIM, de modo que os mesmos sejam diferenciados entre si. Esta diferenciação deve ser eficaz, para garantir que as regras de procura identifiquem os elementos rapidamente.

Para atingir tal objetivo, foi necessário tomar como base um sistema de classificação consolidado ou normatizado. No Brasil, a NBR 15965 surgiu com o objetivo de apresentar uma estrutura geral para os sistemas de classificação da construção, bem como ser usada para sistemas nacionais (ABDI, 2017). No entanto, ainda não foram publicadas três partes desta norma, dentre as quais está a parte 5, que é diretamente relacionada ao presente trabalho, pois se refere a classe dos elementos.

Como ainda não existe um sistema de classificação padronizado nacional para elementos da construção, a OmniClass se mostrou uma alternativa viável à norma brasileira, uma vez que a NBR 15965 está sendo baseada na própria OmniClass. Dentre todas as tabelas que a OmniClass apresenta, a Tabela 21 é a aquela que possui maior afinidade com este trabalho, pois ela foi elaborada com o intuito de organizar os elementos por meio de suas funções e características.

A ideia principal por trás da organização da Tabela 21 da OmniClass é agrupar elementos com características semelhantes. Conforme mostra o Quadro 7, os elementos que separam os ambientes internos dos ambientes externos, por exemplo, foram todos classificados a partir de elemento em comum: casca da edificação. Conforme ocorre uma discriminação dos elementos de acordo com suas funções, a classificação de um elemento dá espaço para sub-elementos, os quais sempre partem de um ponto em comum: o elemento-pai. Deste modo, ao se referir a uma supraestrutura, por exemplo, todos os elementos de construção de piso, construção de cobertura e elementos de escada estarão automaticamente vinculados à supraestrutura.

Quadro 7 - Exemplo de classificação dos elementos da Tabela 21 OmniClass

<b>Código</b>	<b>Nível 1</b>	<b>Nível 2</b>	<b>Nível 3</b>
21-02 00 00	Casca da edificação		
21-02 10		Supraestrutura	
21-02 10 10			Construção de piso
21-02 10 20			Construção de cobertura
21-02 10 80			Escadas
21-02 20		Vedação vertical externa	
21-02 20 10			Paredes externas
21-02 20 20			Janelas externas

Fonte: adaptado Tabela 21 – Omniclass

Inicialmente, foi levantada a possibilidade de utilizar a própria Tabela 21 para classificar os elementos no modelo BIM. No entanto, a Tabela 21 possui uma estrutura muito ampla, pois apresenta quatro níveis de classificação dos elementos, o que confere maior complexidade ao trabalho dos projetistas para a inserção dos códigos no modelo. Por este motivo, a ideia de utilizar diretamente a classificação da OmniClass para o trabalho foi descartada. Foi assumido que a melhor opção, para dar continuidade para a pesquisa, seria elaborar uma classificação baseada na OmniClass, adaptada para a empresa estudada.

A primeira etapa para o desenvolvimento do sistema de classificação para o estudo de caso foi enquadrar todos os elementos dos modelos BIM arquitetônico e estrutural nas classificações da Tabela 21 da OmniClass. Em outras palavras, todos os elementos BIM do modelo foram classificados de acordo com a Tabela 21 da OnmiClass. No Quadro 8, por exemplo, estão todas as classificações da Tabela 21 encontradas para a classe *IfcRailing*, após a análise de todos os elementos dessa classe.

Quadro 8 - Alocação dos elementos da classe *IfcRailing* nos códigos da Omniclass

<b>Código Omniclass</b>	<b>Nome Omniclass</b>
21-02 20 50 60	Grelhas de fachada
21-02 20 80 50	Platibandas e guarda-corpos
21-02 10 80 50	Corrimãos e guarda-corpos de escadas
21-02 20 50 70	Portões externos

Fonte: elaborado pelo autor

Este mesmo procedimento foi realizado para as demais 17 classes. Ao elencar todas as classificações de elemento presentes no modelo BIM, percebeu-se que nem todas as categorias presentes no sistema de classificação da OmniClass se encaixavam de maneira satisfatória aos elementos BIM dos modelos. Desse modo, a classificação foi alterada de forma que englobasse todos os tipos de elementos contidos nos modelos estrutural e arquitetônico. A classificação geral da faceta de elementos está discriminada no Apêndice A.

Assim como na Tabela 21 da OmniClass, a classificação elaborada agrupa elementos de acordo com sua função. Entretanto, uma das premissas durante a elaboração da classificação foi de que ela apresentasse flexibilidade quanto a adaptações para outro empreendimento, bem como quanto ao número de níveis de códigos em sua composição.

Um caso para o qual a flexibilidade da classificação é necessária é em relação à parede de alvenaria. Dependendo de qual for a finalidade da classificação, podem ser exigidos diferentes níveis de detalhamento. No que diz respeito ao planejamento de lotes de produção, por exemplo, as paredes são controladas de modo único, ou seja, a empresa não faz diferenciação de blocos de alvenaria externos e de blocos de alvenaria internos para planejar uma atividade de elevação de alvenaria. Além disso, a liberação de pagamento, referente às medições dos lotes executados para os empreiteiros, também não requer essa diferenciação, pois o custo unitário da mão de obra de ambos os tipos de alvenaria é o mesmo em todas as obras da empresa. Entretanto, caso o sistema de classificação fosse utilizado para a orçamentação, seria necessário criar um terceiro nível de código para providenciar uma diferenciação entre os dois tipos de paredes de alvenaria, porque o preço unitário do material das duas paredes é diferente.

Pelo fato de o estudo de caso possuir o objetivo de facilitar a integração entre o modelo BIM e o cronograma de obras, todos os elementos foram classificados de uma maneira a atender as necessidades que o cronograma da obra impõe. No Quadro 9, está exemplificado como foi elaborada a classificação do grupo de paredes. Caso fosse necessário, a classificação de alvenaria poderia ser adaptada para apresentar subelementos, tais como alvenaria externa e alvenaria interna. De modo semelhante, as paredes de *drywall* poderiam apresentar subelementos de frame e placas de gesso.

Quadro 9 - Classificação de paredes para o estudo de caso

Código	Elemento
03	Parede
03 01	Alvenaria
03 02	Drywall
03 03	Divisória leve
03 04	Demais componentes de divisória

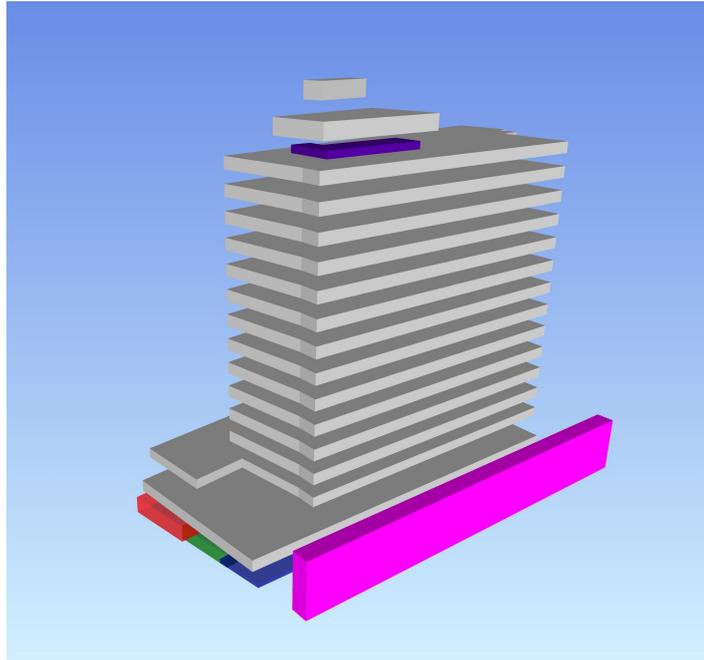
Fonte: elaborado pelo autor

#### 6.2.4 Classificação da faceta espacial (de localização)

A classificação de localização, por sua vez, foi elaborada com base no planejamento de longo prazo, lotes de produção e esquemas de planejamento desenvolvidos ao longo da elaboração do planejamento executivo da obra. Esta proposta de classificação procura fornecer flexibilidade à modelagem BIM 4D, pois se entende que a definição dos pacotes de trabalho durante a execução da obra não é rígida e pode ser alterada ou detalhada à medida que a obra avança.

De forma a garantir maior entendimento da classificação, o trabalho também propõe o desenvolvimento de um modelo espacial BIM 3D (Figura 12). A premissa principal deste modelo espacial é promover um modo alternativo de entendimento da divisão dos lotes e da divisão de pacotes de trabalho para a equipe de produção. Além disso, sua modelagem é feita de maneira simples, composta por elementos genéricos, similares a “caixas”. A estes elementos, são atribuídos códigos referentes à classificação de localização, a qual foi desenvolvida para o empreendimento estudado.

Figura 12 - Exemplo de modelo espacial de localização

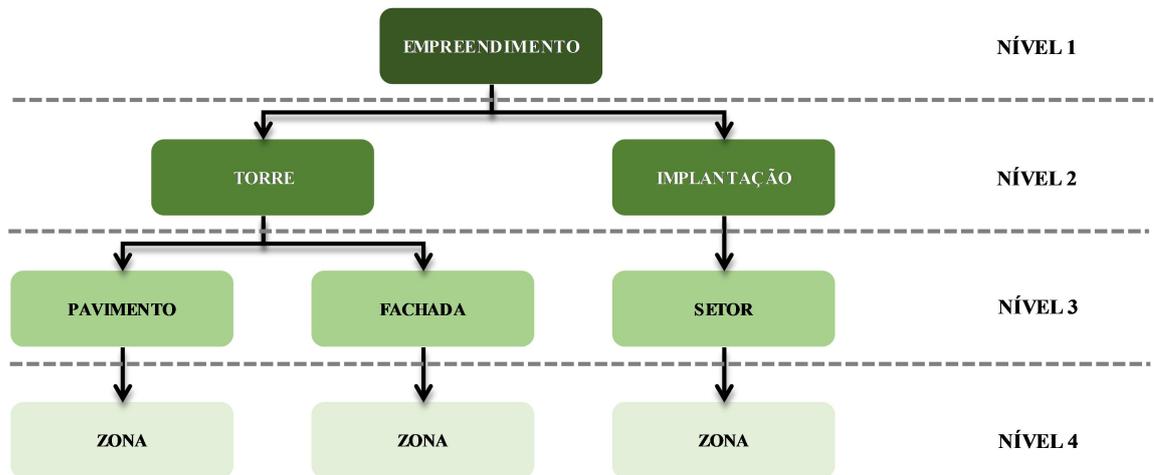


Fonte: elaborado pelo autor

A classificação elaborada para o empreendimento em questão foi dividida de modo hierarquizado. As divisões inicialmente propostas nesta classificação seguiram as diretrizes estabelecidas em conjunto com o engenheiro da obra, durante a etapa de planejamento executivo do empreendimento na empresa. A principal ideia por trás desta classificação é garantir certa flexibilidade na definição dos lotes de controle, pois se faz necessária a discriminação dos lotes de trabalho ao longo do planejamento e controle da produção. Para cada um dos Níveis, foram atribuídos códigos de dois dígitos numéricos, os quais podem variar de 00 a 99. A classificação proposta, em seu formato final, está apresentada no Apêndice B.

Cada código do Nível 1 corresponde a um determinado empreendimento. Portanto, este nível da classificação permite englobar todos os elementos que estão presentes em um empreendimento específico. O principal propósito deste nível é garantir um ponto de partida para todos os demais níveis da classificação de modo hierarquizado. Deste modo, qualquer elemento deverá apresentar, dentro de si, códigos que façam referência ao empreendimento em que o elemento está contido no Nível 1. Durante a elaboração deste estudo, foi conferido ao empreendimento estudado o código 01. Logo, todos os elementos deste empreendimento deve apresentar o código 01 no primeiro nível de sua composição.

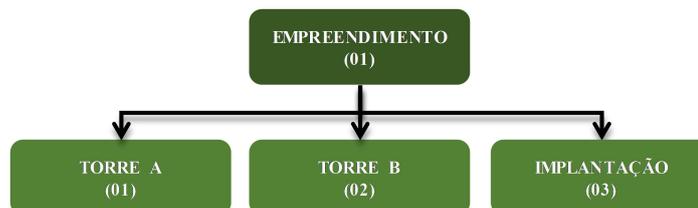
Figura 13 - Níveis hierárquicos da classificação de localização do empreendimento



Fonte: elaborado pelo autor

Conforme aponta a Figura 13, a primeira divisão entre os elementos do empreendimento estudado ocorre no Nível 2. Neste nível, o empreendimento foi dividido entre torre (código 01) e implantação (código 02). A torre representa todos os elementos sob a projeção da torre e a área de loja. Enquanto isso, a implantação compõe todos os elementos fora da projeção da torre. Esta divisão proposta foi discutida junto ao engenheiro da obra e, por este motivo, foi utilizada para o zoneamento dos lotes de controle da produção para este estudo.

Figura 14 - Exemplo de classificação para empreendimento hipotético composto por duas torres



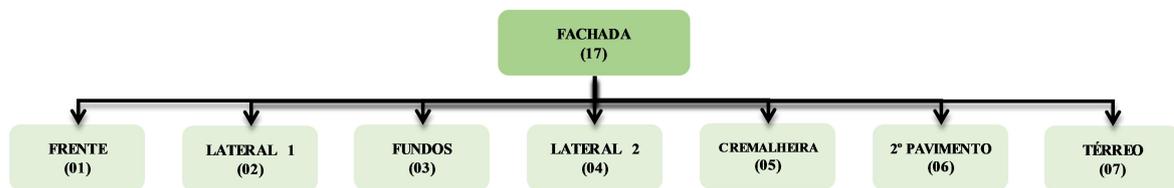
Fonte: elaborado pelo autor

Caso o empreendimento possua mais de uma torre, o Nível 2 da classificação poderia ser estendido para apresentar, em vez de uma torre, múltiplas torres em sua composição. Desse modo, a classificação espacial do empreendimento passaria a apresentar códigos adaptados conforme aponta a Figura 14. Esta possibilidade de adaptação dos códigos garante a

flexibilidade necessária para replicar a classificação para demais empreendimentos da empresa.

O Nível 3 da torre apresenta duas ramificações na sua classificação: “pavimento” e “fachada”. Esta abertura permite que haja uma atribuição de lotes de maneira independente para cada uma das subdivisões, ou seja, a fachada pode ser dividida de uma maneira totalmente diferente das divisões propostas para os pavimentos. A fachada, por exemplo, foi dividida de acordo com as zonas geradas para o cronograma executivo da obra. Sua estrutura está detalhada na Figura 15.

Figura 15 - Estrutura da classificação de fachada proposta para o empreendimento



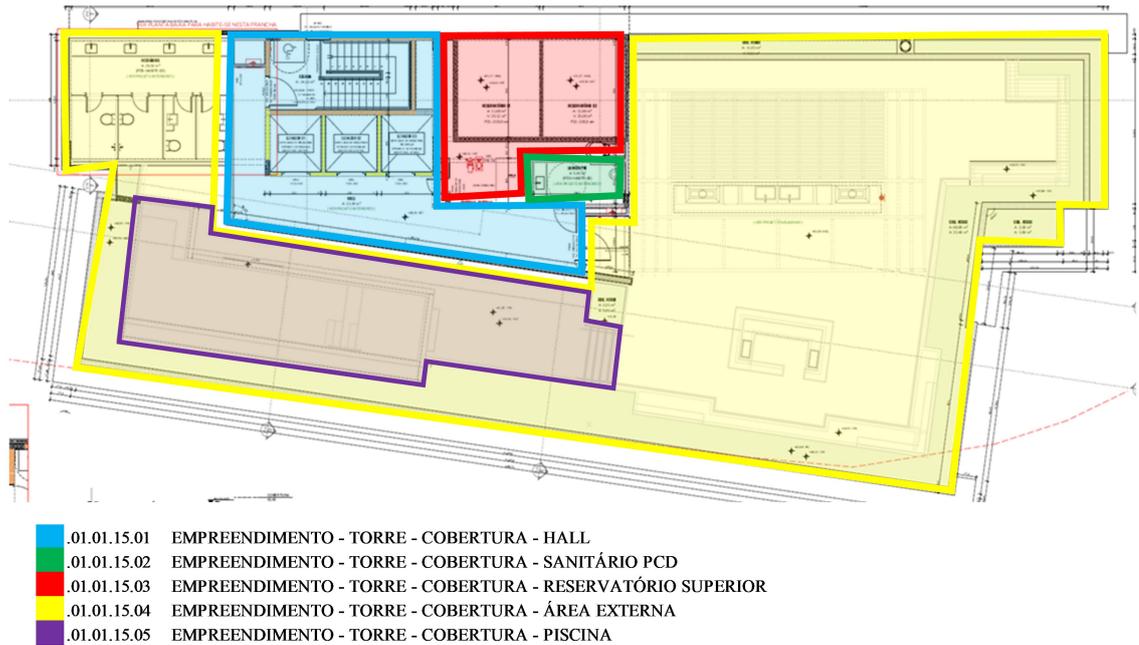
Fonte: elaborado pelo autor

Esta divisão foi realizada antes do início da obra. Quem sabe, as atividades da fachada não sejam executadas conforme a divisão pré-estabelecida para a classificação. Assim, é necessário ressaltar que a definição dos lotes neste nível pode ser alterada conforme necessidade da obra. A classificação estabelecida para o empreendimento estudado não é imutável, nem fixa. Sugere-se, inclusive, que ela passe por uma revisão antes de iniciar as atividades associadas às zonas definidas. Recomenda-se, também, adotar datas marco com latências pré-definidas para que sejam revisadas as considerações dos lotes da classificação com tempo hábil para ajustar o modelo BIM 4D.

Desse modo, nota-se que a classificação do Nível 4 não apresenta uma estrutura rígida, tanto para a “fachada”, quanto para o “pavimento”. O pavimento tipo do empreendimento estudado, por exemplo, apresenta duas zonas (circulação e apartamentos), enquanto os pavimentos de uso comum apresentam um detalhamento de zonas diferente. A proposta de classificação do empreendimento em relação à faceta espacial possui um detalhamento superior para o térreo, segundo pavimento e cobertura em comparação aos pavimentos tipo. Isto decorre dos pavimentos tipo possuírem unidades base de repetição para o planejamento e controle da

produção. As atividades desenvolvidas em pavimentos com áreas de uso comum geralmente não possuem essas atividades repetitivas. Logo, necessita-se detalhar melhor os lotes de produção dos pavimentos que não são tipo. Um exemplo da classificação proposta para o pavimento de cobertura está mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Classificação proposta para o 15º pavimento (cobertura)



Fonte: adaptado dos registros empresa estudada

Em relação à implantação, a definição da classificação de localização foi feita especificamente para o empreendimento estudado. Tanto a setorização quanto o zoneamento atenderam às definições elaboradas na etapa de planejamento executivo da obra. É importante ressaltar que as classificações de implantação propostas podem ser modificadas conforme surjam novas necessidades de detalhamento.

### 6.2.5 Composição do código de produto

Stumpf et al. (1996) atenta que as facetas de processo e produto fornecem informação necessária para a implantação de modelos computacionais da indústria da construção civil. Por um lado, está o produto, o qual caracteriza os elementos e componentes de uma edificação. Por outro lado, está o processo, que representa as tarefas da construção da edificação.

A estruturação da informação da faceta de produto é o foco deste trabalho. A partir do momento em que um determinado produto pode ser caracterizado em relação a sua representação semântica e espacial, é possível compor uma classificação consistente em relação ao produto em si. Portanto, o trabalho propõe que a combinação entre o código de espacial e o código de elemento resulta no código de produto, o qual garante uma consistente definição do tipo e da localização do componente. A partir desta classificação, o produto que compõe determinado lote de produção pode ser vinculado às tarefas (processos) do cronograma da obra de modo estruturado.

Figura 17 - Composição do código de Produto

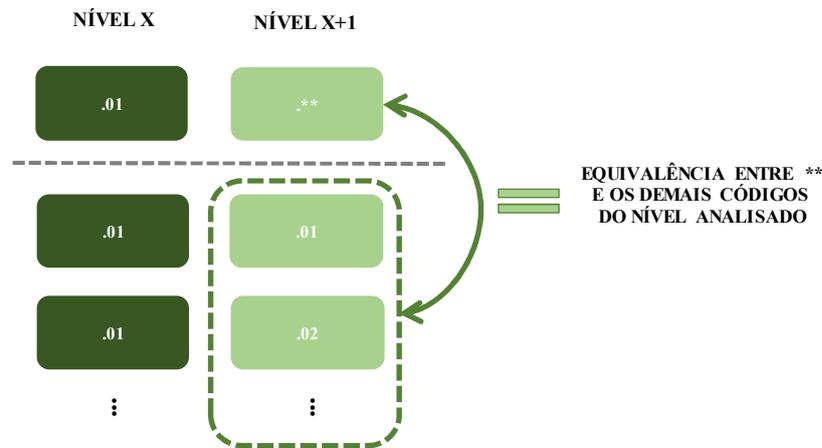


Fonte: elaborado pelo autor

Durante a elaboração do trabalho, foi identificada uma limitação quanto à formatação numérica dos códigos. Caso os códigos utilizados fossem compostos apenas por dois dígitos numéricos, todos os códigos que possuíssem o número zero como primeiro dígito da sua composição, teriam o primeiro dígito automaticamente suprimido, pois seriam lidos como dados numéricos pela base de dados. Por exemplo, se fosse exportada do modelo BIM uma planilha CSV com os códigos da classificação e um dos códigos fosse “01”, ao abrir a planilha eletrônica, o primeiro dígito estaria suprimido e o dado disponível para a leitura seria apenas “1”. De modo a contornar este problema, ficou estabelecido que, antes de qualquer código da classificação, deveria ser utilizado um ponto, para que não haja nenhuma modificação do código durante a exportação da planilha CSV. Portanto, o código utilizado como exemplo acima passaria a ser “.01”, em vez de apenas “01”.

Outro artifício utilizado pelo estudo para abranger todos os códigos de um determinado nível foi o duplo asterisco (\*\*). A representação da Figura 18 demonstra o funcionamento do artifício. De modo simplificado, quando for utilizado o duplo asterisco, significa que todos os códigos daquele nível estão sendo considerados.

Figura 18 - Esquema de artifício utilizado para retomar códigos



Fonte: elaborado pelo autor

### 6.2.6 Preparação do modelo BIM

Em posse da classificação de elementos em seu formato final, iniciou-se o processo de inserção dos códigos da classificação de “elemento” nos modelos BIM. O *software* de modelagem utilizado para esta etapa foi o Revit, pois o setor de planejamento possuía a licença para o mesmo. É importante ressaltar que não existem restrições quanto ao uso de um determinado *software* de modelagem para a inserção desses códigos.

Ressalta-se que para este estudo de caso, foram inseridos os códigos em parâmetros compartilhados nos modelos BIM para o desenvolvimento da pesquisa. O parâmetro compartilhado consiste em uma ferramenta singular do *software* Revit, o qual pode ser utilizado em múltiplas famílias ou projetos e pode armazenar qualquer tipo de informação (AUTODESK, 2021). Além disso, as definições dos parâmetros compartilhados são armazenadas em um arquivo independente (AUTODESK, 2021), geralmente no formato TXT, que representa uma extensão de arquivo de texto sem formatação.

Nesta etapa, é importante que a classificação da faceta de elementos esteja bastante consolidada e consistente, pois a classificação seria disponibilizada aos projetistas em etapa de anteprojeto. A responsabilidade por alimentar o modelo com essas informações também seria designada aos projetistas. Deste modo, caso a classificação não atenda, em sua totalidade às demandas da obra e de planejamento, a possibilidade de modificação desses códigos no

modelo BIM, ao longo da etapa de detalhamento executivo, seria bastante limitada, pois sobrecarregaria a equipe projetista com um aumento considerável de demanda de trabalho.

Uma vez que todos os códigos da classificação de elemento foram inseridos nos elementos dos modelos BIM, estes mesmos modelos foram exportados como arquivos no formato NWC, por meio de uma ferramenta de extensão instalada no Revit: *File Exporter for Navisworks* (Exportador de Arquivos para Navisworks). O arquivo no formato NWC consiste em uma versão cache (simplificada), criada para ser carregada no Navisworks mais rapidamente. Assim que os modelos BIM fossem carregados no Navisworks, os mesmos passariam a compor um modelo federado.

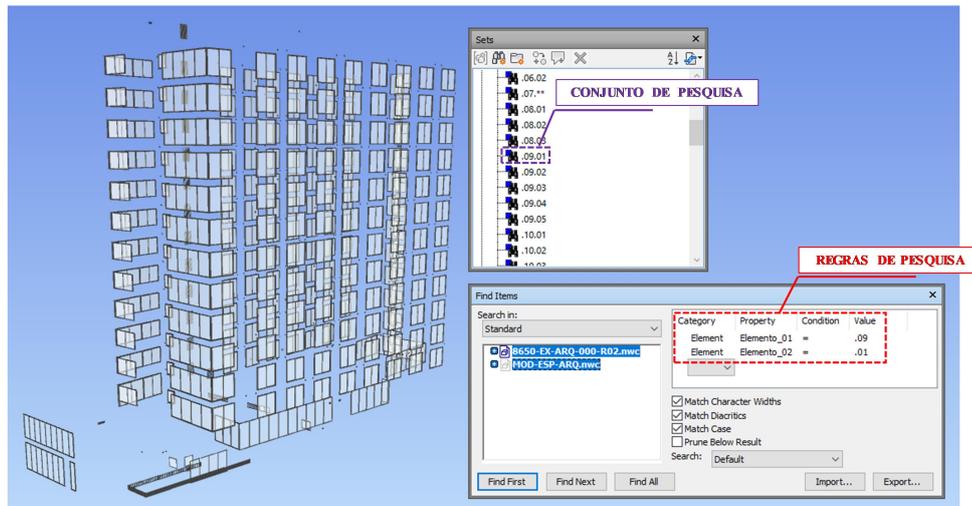
Mesmo o Navisworks permitindo a importação de modelos nativos do Revit (formato RVT) e modelos interoperáveis (formato IFC), a pesquisa utilizou a ferramenta de extensão anteriormente citada, pois ela fornecia maior agilidade ao processo como um todo. Os modelos de arquitetura do estudo de caso, por exemplo, no formato IFC, levaram aproximadamente 4 horas para serem carregados no Navisworks. Esta morosidade também se estendia aos arquivos no formato RVT. Portanto, ficou inviabilizada a utilização de arquivos RVT e IFC.

### **6.2.7 Elaboração dos conjuntos de elementos**

Após o carregamento desses modelos em um arquivo federado no Navisworks, foi utilizado um recurso do *software*, chamado *Find Items* (Procura de Itens), para localizar elementos com base nas suas propriedades. Este recurso oferece a possibilidade de salvar as regras de procura em um arquivo externo, para que possam ser reutilizadas em outra ocasião. Desse modo, caso outro empreendimento possuísse a mesma classificação de elemento, essas regras poderiam ser carregadas no Navisworks e totalmente replicadas ao novo empreendimento. O mesmo processo se estende aos modelos BIM que passaram por revisão de projeto e precisam ser carregados novamente no modelo federado.

O processo adotado para selecionar um determinado grupo de elementos é realizado pela Procura de Itens, conforme abordado anteriormente. Por meio desta ferramenta, são elaboradas regras que buscam todos os itens que atendem às condições estabelecidas. Em relação à Figura 19, por exemplo, todas as esquadrias de alumínio foram identificadas ao aplicar os critérios de pesquisa apresentados no Quadro 10.

Figura 19 - Exemplo de procura de elementos por meio de regras



Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 10 - Regras de procura para identificar esquadrias de alumínio

Categoria	Propriedade	Condição	Valor
Element	Elemento_01	Igual a	.09
Element	Elemento_02	Igual a	.01

Fonte: elaborado pelo autor

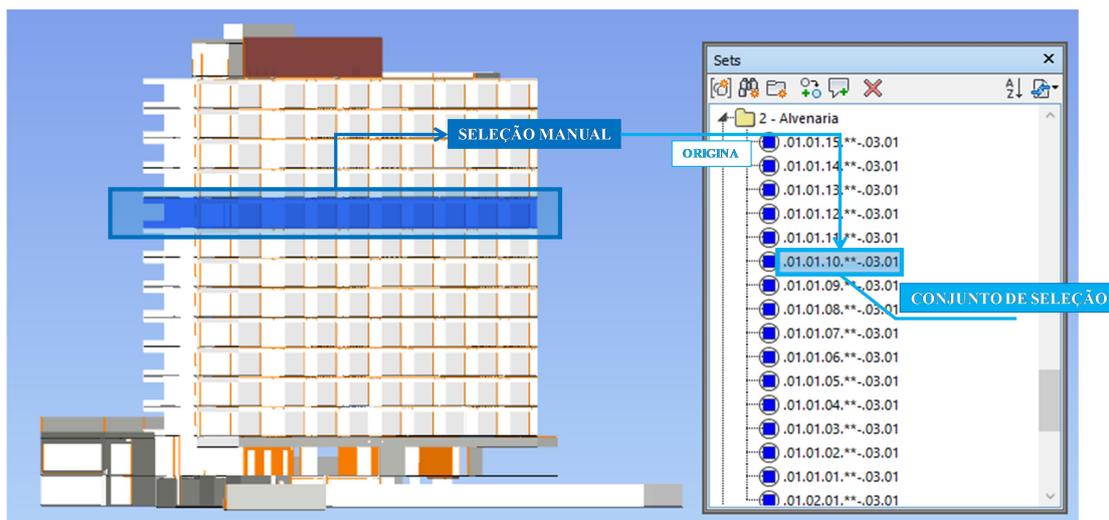
Ao salvar estas regras, todos os elementos que foram identificados na pesquisa são agrupados nos *Search Sets* (Conjuntos de Pesquisa). Deste modo, quando o conjunto de pesquisa for selecionado na guia *Sets* (Conjuntos), a regra salva é aplicada novamente, e os elementos serão selecionados outra vez.

A próxima etapa do desenvolvimento deste estudo consiste em identificar as intersecções entre a faceta de elemento e a faceta de localização. Os elementos que forem resultados destas intersecções compõem os lotes de produção, os quais estarão discriminados no cronograma de execução da obra, no *MS Project*. Durante a elaboração da pesquisa, este processo foi realizado de duas maneiras expostas a seguir.

A primeira maneira de compor os conjuntos de elementos referentes a um determinado lote de produção é utilizando seleções manuais. Este processo está representado na Figura 20, de modo simplificado. Inicialmente, isola-se um determinado conjunto de pesquisa de um determinado elemento, como, por exemplo, das paredes de alvenaria. Após estar apenas com

as paredes de alvenaria na janela de visualização, os elementos são selecionados pela função *Selection Box* (caixa de seleção), que consiste em arrastar uma caixa, utilizando o botão esquerdo do mouse. Todos os itens dentro desta caixa são selecionados. Na sequência, os itens selecionados são salvos em um conjunto de seleção e ficam disponíveis para dar prosseguimento ao estudo.

Figura 20 - Seleção manual de paredes de alvenaria para gerar conjuntos de seleção

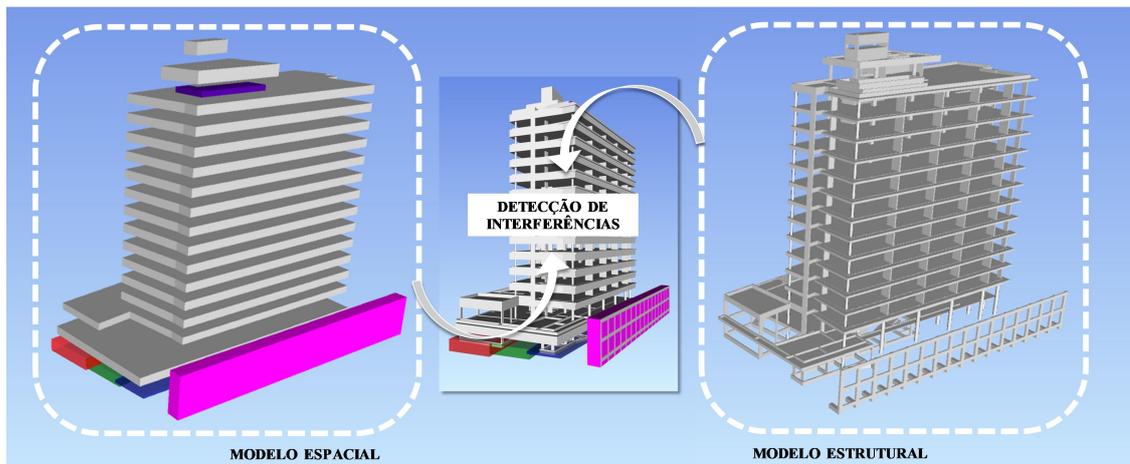


Fonte: elaborado pelo autor

No exemplo apresentado na Figura 20, foi realizada a intersecção entre os elementos referentes às paredes de alvenaria (código 03 01) e referentes à localização dos elementos no 10º pavimento (01 01 10 \*\*). Esses elementos, portanto, passam a compor o lote de elementos “01 01 10 \*\* - 03 01”, que será vinculado à tarefa de elevação de alvenaria do 10º pavimento, no cronograma de execução da obra.

Apresentando-se como uma via alternativa para gerar os conjuntos de seleção, a segunda maneira empregada no estudo de caso utiliza a ferramenta de *Clash Detection* (Detecção de Conflitos), entre o modelo espacial e os modelos arquitetônico e estrutural. De modo simplificado, o modelo BIM é sobreposto ao modelo espacial (Figura 21) para verificar quais elementos estão se interseccionando. Apesar da ferramenta ser muito utilizada para identificação de conflitos durante a fase de coordenação e compatibilização de projetos – pois possibilita ao usuário verificar interferências entre duas geometrias distintas – foi identificada a possibilidade de estender seu uso para a definição dos conjuntos de elementos.

Figura 21 - Esquema representativo da sobreposição dos modelos espacial e BIM



Fonte: elaborado pelo autor

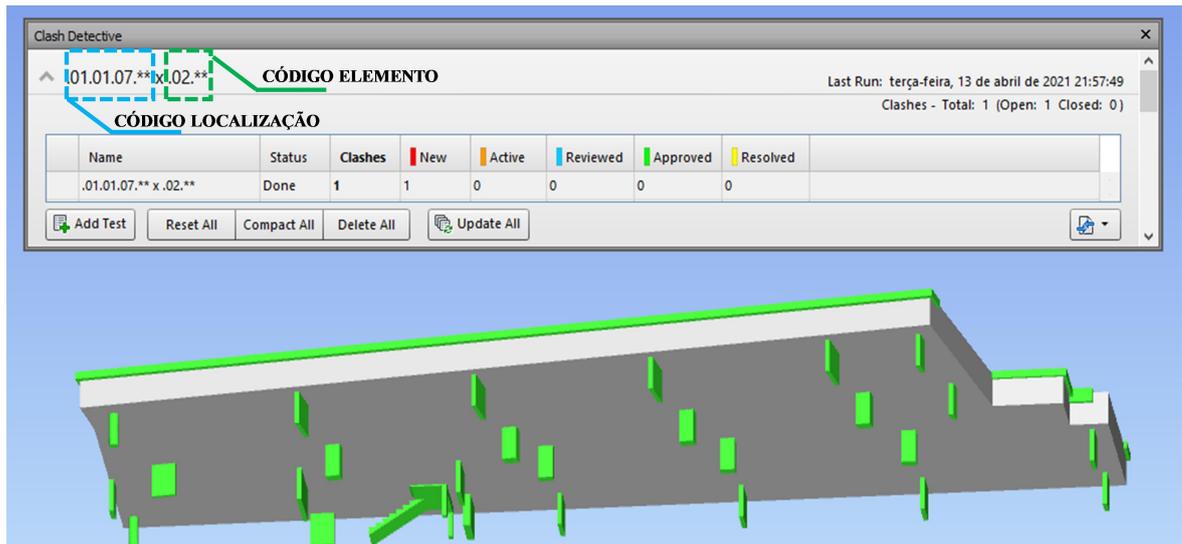
Segundo a Autodesk (2011), o *software* apresenta quatro tipos padrão de testes de interferências. O primeiro deles é o *Hard*, que detecta as intersecções reais entre as geometrias. O tipo *Hard (Conservative)* aplica adicionalmente um método de intersecção mais conservador. O *Clearance*, por outro lado, verifica a interferência entre uma geometria dentro de uma distância específica a partir de outra geometria. O último tipo padrão de teste de interferência é o *Duplicate*, que verifica se existem geometrias duplicadas.

O teste de interferência *Clearance* geralmente é utilizado para verificar interferências em tubulações que precisam ter espaço de isolamento entre elas. Do mesmo modo, foi realizada a identificação das interferências entre os elementos do modelo espacial e os elementos dos modelos BIM. O teste *Clearance* permitiu que houvesse maior maleabilidade na modelagem das geometrias do modelo espacial. Caso elementos ficassem levemente fora do plano de uma geometria do modelo espacial, ainda sim esses elementos poderiam ser identificados durante a verificação dos testes de interferências.

Todos os elementos que representavam as geometrias do modelo espacial foram modelados com os códigos de localização. Logo, ao detectar conflitos entre determinado elemento do modelo espacial e demais elementos dos modelos BIM, pôde-se obter todos os elementos que pertencem àquela localização. Conceitualmente, é realizada uma intersecção entre o código de elemento e o código de localização, cujo resultado seria um conjunto de seleção de elementos que compõe um lote de produção. Este lote, por sua vez, estaria diretamente relacionado a uma tarefa do cronograma da obra. Na Figura 22, por exemplo, foi realizada uma detecção de

conflitos entre o elemento genérico referente ao sétimo pavimento do modelo espacial (.01.01.07.\*\*\*) e os elementos de supraestrutura do modelo estrutural (.02.\*\*). Com os conflitos identificados, pôde-se elaborar o conjunto de seleção correspondente à supraestrutura do 7º pavimento.

Figura 22 - Exemplo de detecção de conflitos entre o sétimo pavimento e elementos de supraestrutura



Fonte: elaborado pelo autor

É necessário destacar que o presente trabalho apresentou apenas dois métodos para a formação dos conjuntos de seleção, os quais não representam as únicas alternativas possíveis de serem executadas. Este processo pode ser aprimorado de maneira personalizada para cada tipo de conjunto gerado. Inclusive, cada tipo de elemento pode exigir uma maneira diferente de elaboração do seu conjunto de seleção. No geral, tanto para o modelo arquitetônico, quanto para o modelo estrutural, as soluções expostas para gerar conjuntos de seleção foram testadas e apresentaram resultados satisfatórios. Para a criação dos conjuntos de seleção das vigas de fundação, por exemplo, a geração por meio de seleção manual se mostrou mais rápida e eficaz. Por outro lado, a utilização da ferramenta de detecção de conflitos entre o modelo espacial e o modelo arquitetônico se mostrou particularmente útil, pois determinou os conjuntos de seleção das esquadrias de maneira rápida e inequívoca. Vale ressaltar que essas soluções expostas podem não ser bem-sucedidas se aplicadas a outros empreendimentos ou, até mesmo, a outros elementos não testados nesta pesquisa.

Alguns contrapontos em relação à utilização dos modelos espaciais para elaboração dos conjuntos de seleção foram identificados. A primeira limitação encontrada no decorrer da pesquisa é de que apenas um modelo espacial dificilmente funcionará para modelos de disciplinas diferentes. Se o modelo espacial foi elaborado para identificar conflitos a partir de um determinado modelo estrutural, por exemplo, esse mesmo modelo espacial dificilmente irá identificar os conflitos de maneira adequada para o modelo arquitetônico.

Outro aspecto negativo quanto ao uso dos modelos espaciais para elaborar conjuntos de seleção é que, para determinados tipos de elementos, a modelagem do modelo espacial pode não garantir a identificação correta de todos os elementos contidos em uma determinada zona. Caso exista dois níveis do forro de gesso em um mesmo pavimento, por exemplo, o elemento do modelo espacial referente àquela zona pode não conseguir identificar conflitos com ambos os níveis de forro de gesso, deixando vários elementos fora do lote de produção.

Mesmo que o modelo espacial não tenha se mostrado útil para a elaboração de determinados conjuntos de seleção, o entendimento geométrico e espacial que ele fornece pode representar um ganho para a equipe de planejamento da obra. Na empresa estudada, geralmente são realizados esquemas 2D de lotes de produção, para auxiliar o entendimento do planejamento da obra. O modelo espacial se apresenta como um modo alternativo de elaborar esquemas explicativos de planejamento, que podem ser elaborados de maneira rápida e prática, sem exigir conhecimento avançado em *software* de modelagem e sem demandar acréscimo significativo de carga de trabalho.

Conforme os conjuntos de seleção foram sendo estabelecidos, eles foram nomeados de acordo com a classificação de produto dos mesmos. Desse modo, caso o trabalho apresentasse uma abordagem convencional de modelagem 4D, a partir do momento em que os conjuntos de seleção foram devidamente montados com base na classificação de localização e de elemento, bastaria vincular cada conjunto de seleção às tarefas do cronograma da obra para gerar a simulação 4D. Entretanto, os conjuntos de seleção criados seriam totalmente perdidos caso a obra recebesse uma revisão de modelo, pois os mesmos não foram elaborados por meio de regras de pesquisa para serem aplicados a outros modelos BIM. Como o objetivo da pesquisa é manter as associações após as revisões de projeto, optou-se por não elaborar a simulação por enquanto, e direcionar os esforços da pesquisa em como replicar essas associações para atualizações de modelo.

## 6.3 SEGUNDA FASE DO ESTUDO DE CASO

Considerando a premissa de que os projetistas alimentariam o modelo BIM apenas com a classificação de elementos, e que as demais informações de localização não seriam disponibilizadas nos modelos, a solução encontrada para garantir que a informação de localização seja perpetuada ao longo das revisões de projeto, foi a utilização de uma base de dados, que armazenasse todas as informações pertinentes ao código de produto desses elementos.

### 6.3.1 Elaboração da base de dados e estabelecimento da conexão com o modelo

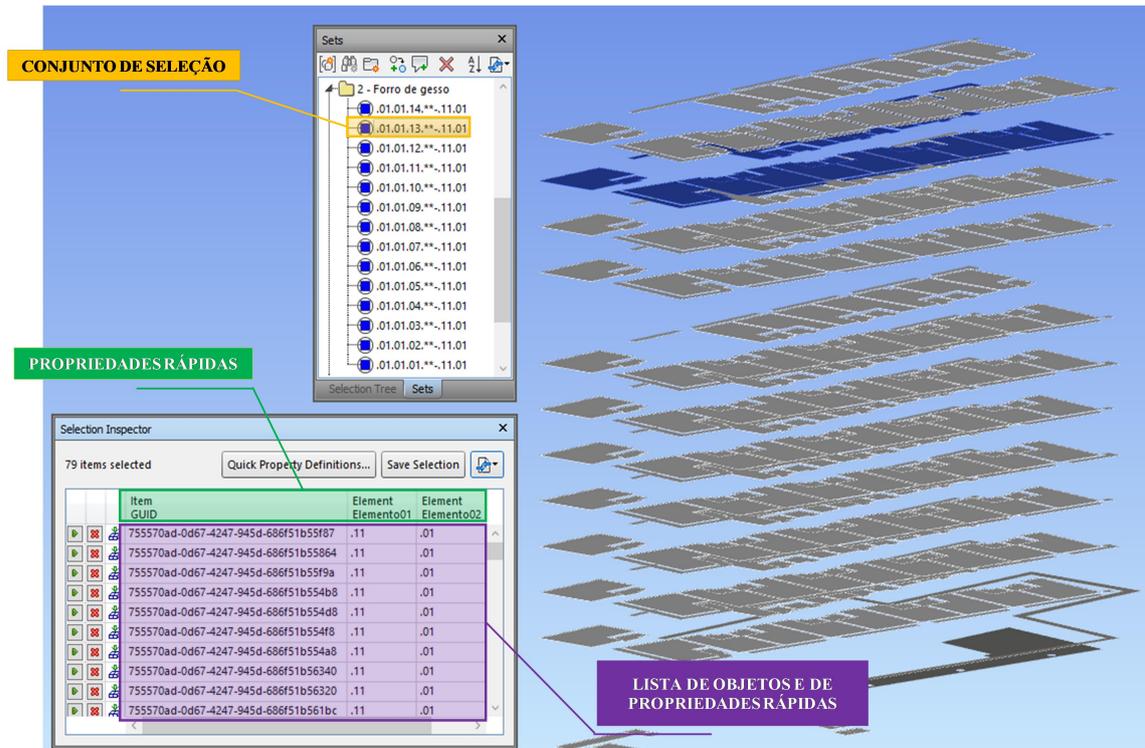
As bases de dados podem ser vinculadas aos modelos BIM no Navisworks por meio da ferramenta *DataTools*. Esta conexão entre o modelo BIM e a base de dados permite que sejam exibidos novos parâmetros em abas adicionais das propriedades dos objetos, possibilitando a geração de novos conjuntos de pesquisa e testes de interferências a partir dos parâmetros contidos na base de dados.

Para que as conexões possam ser estabelecidas de modo estruturado entre os elementos BIM e a base de dados, é necessário estabelecer um parâmetro de identificação comum a ambos, o qual exercerá a função de ponte de ligação para o intercâmbio de informações entre eles. Neste trabalho, o parâmetro *IfcGUID* foi inicialmente testado como parâmetro de identificação único dos elementos. Entretanto, na primeira tentativa de estabelecer conexão entre o modelo BIM e a base de dados, foi verificado que a conexão estabelecida não conseguiu diferenciar caracteres maiúsculos e caracteres minúsculos. Por este motivo, 19% dos elementos do modelo estrutural não foram identificados de maneira correta. A utilização do parâmetro *IfcGUID*, portanto, ficou inviabilizada devido às questões técnicas explanadas. De modo alternativo, foi escolhido o parâmetro GUID para ser utilizado como parâmetro único de identificação dos elementos, pois o mesmo não apresentou nenhum problema quanto à duplicidade dos códigos.

O software Navisworks possui uma ferramenta essencial para dar prosseguimento ao desenvolvimento da pesquisa: *Selection Inspector* (inspetor de seleção). Esta ferramenta consiste em exibir uma janela com a lista de todos os objetos selecionados e as propriedades rápidas associadas a eles (Figura 23). Além disso, é possível, por meio desta ferramenta, exportar os dados dos objetos e suas propriedades que aparecem na janela para um arquivo de planilha eletrônica no formato CSV. Para que haja uma correta estruturação da base de dados,

é necessário exportar os códigos de classificação de elemento e o parâmetro de identificação juntos à lista de elementos.

Figura 23 - Ferramenta Inspetor de Seleção



Fonte: elaborado pelo autor

O processo de estruturação da base de dados iniciou com a exportação de um arquivo CSV para cada conjunto de elementos separadamente. Todas estas planilhas em formato CSV foram alimentadas com os demais dados do código de produto e, mais tarde, inseridas na base de dados que estabelecerá a conexão com modelo BIM, no Navisworks. A Figura 24 apresenta um trecho do formato final da base de dados elaborada para o trabalho. Esta base de dados é composta, portanto, pelos dados extraídos diretamente do modelo BIM pelo Navisworks e pelos dados preenchidos manualmente pela equipe responsável pela manutenção da modelagem BIM 4D.

Figura 24 - Base de dados desenvolvida para a pesquisa

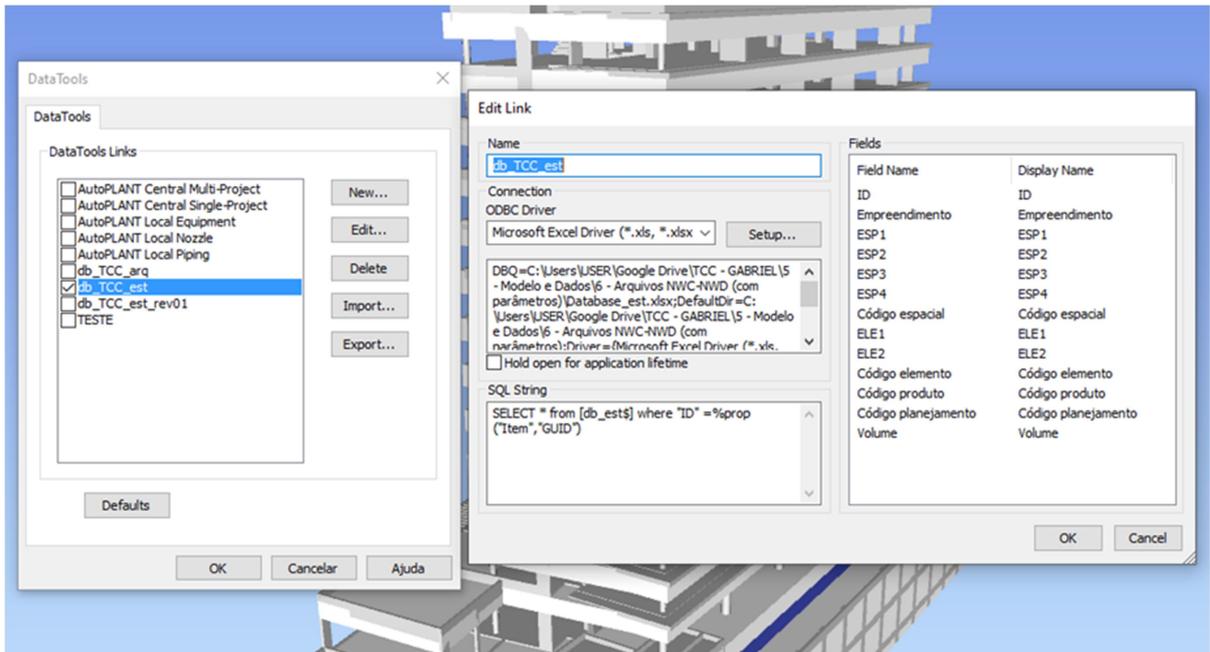
GUID	Elemento_01	Elemento_02	ESP1	ESP2	ESP3	ESP4	ELE1	ELE2	Código espacial	Código elemento	Código produto	Código planejamento
69279974-1ecc-40ab-a108-0e324eb064df	.01	.03	.01	.01	.01	.01	.01	.03	.01.01.01.01	.01.03	.01.01.01.01-.01.03	.01.01.01.01-.01.03
69279974-1ecc-40ab-a108-0e324eb067c9	.01	.03	.01	.01	.01	.01	.01	.03	.01.01.01.01	.01.03	.01.01.01.01-.01.03	.01.01.01.01-.01.03
69279974-1ecc-40ab-a108-0e324eb067c1	.01	.03	.01	.01	.01	.01	.01	.03	.01.01.01.01	.01.03	.01.01.01.01-.01.03	.01.01.01.01-.01.03
69279974-1ecc-40ab-a108-0e324eb0661c	.01	.03	.01	.01	.01	.01	.01	.03	.01.01.01.01	.01.03	.01.01.01.01-.01.03	.01.01.01.01-.01.03
7232724e-7094-45a2-ac07-5b7705f39afe	.01	.03	.01	.01	.01	.01	.01	.03	.01.01.01.01	.01.03	.01.01.01.01-.01.03	.01.01.01.01-.01.03
69279974-1ecc-40ab-a108-0e324eb06b35	.01	.03	.01	.01	.01	.01	.01	.03	.01.01.01.01	.01.03	.01.01.01.01-.01.03	.01.01.01.01-.01.03
69279974-1ecc-40ab-a108-0e324eb064b1	.01	.03	.01	.01	.01	.01	.01	.03	.01.01.01.01	.01.03	.01.01.01.01-.01.03	.01.01.01.01-.01.03
69279974-1ecc-40ab-a108-0e324eb06bda	.01	.03	.01	.01	.01	.01	.01	.03	.01.01.01.01	.01.03	.01.01.01.01-.01.03	.01.01.01.01-.01.03
69279974-1ecc-40ab-a108-0e324eb06bb4	.01	.03	.01	.01	.01	.01	.01	.03	.01.01.01.01	.01.03	.01.01.01.01-.01.03	.01.01.01.01-.01.03
69279974-1ecc-40ab-a108-0e324eb06a58	.01	.03	.01	.01	.01	.01	.01	.03	.01.01.01.01	.01.03	.01.01.01.01-.01.03	.01.01.01.01-.01.03
7232724e-7094-45a2-ac07-5b7705f3e93	.01	.03	.01	.01	.01	.01	.01	.03	.01.01.01.01	.01.03	.01.01.01.01-.01.03	.01.01.01.01-.01.03
7232724e-7094-45a2-ac07-5b7705f3ed26	.01	.03	.01	.01	.01	.01	.01	.03	.01.01.01.01	.01.03	.01.01.01.01-.01.03	.01.01.01.01-.01.03
7232724e-7094-45a2-ac07-5b7705f3edbf	.01	.03	.01	.01	.01	.01	.01	.03	.01.01.01.01	.01.03	.01.01.01.01-.01.03	.01.01.01.01-.01.03

**DADOS EXTRAÍDOS DIRETAMENTE DO MODELO**

**DADOS CONSTRUÍDOS E ESTRUTURADOS PELA EQUIPE RESPONSÁVEL PELO PLANEJAMENTO DA OBRA**

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 25 - Estabelecimento da conexão entre o modelo BIM e a base de dados por meio dos identificadores dos elementos BIM



Fonte: elaborado pelo autor

Tendo em vista que os códigos elaborados servirão como um elo para as regras de associações entre elementos e tarefas do plano de construção, é importante ressaltar que nem sempre o código de produto será o código utilizado para a modelagem 4D. O código de produto das vigas do 5º pavimento, por exemplo, é .01.01.05.\*\*-.02.02. No entanto, no cronograma, a tarefa associada a este produto é a supraestrutura do 5º pavimento, a qual abrange também os elementos de escada, laje e pilares. Portanto, para viabilizar a vinculação dos elementos às

tarefas de modo correto, foi necessário adotar um novo código, chamado de código de planejamento, o qual será utilizado especificamente para vincular as atividades aos elementos do modelo BIM.

Por meio da ferramenta *DataTools*, foi estabelecida a conexão entre a base de dados e o modelo BIM federado, carregado no *software* (Figura 25). Todas as informações inseridas na base de dados puderam ser visualizadas nas propriedades dos elementos BIM, pois a conexão permitiu a leitura dos dados diretamente em cada um dos elementos BIM. Deste modo, o elemento BIM do modelo passa a conter todas as informações essenciais para sua classificação com base no tipo de elemento e com base na sua localização.

### **6.3.2 Elaboração da simulação 4D**

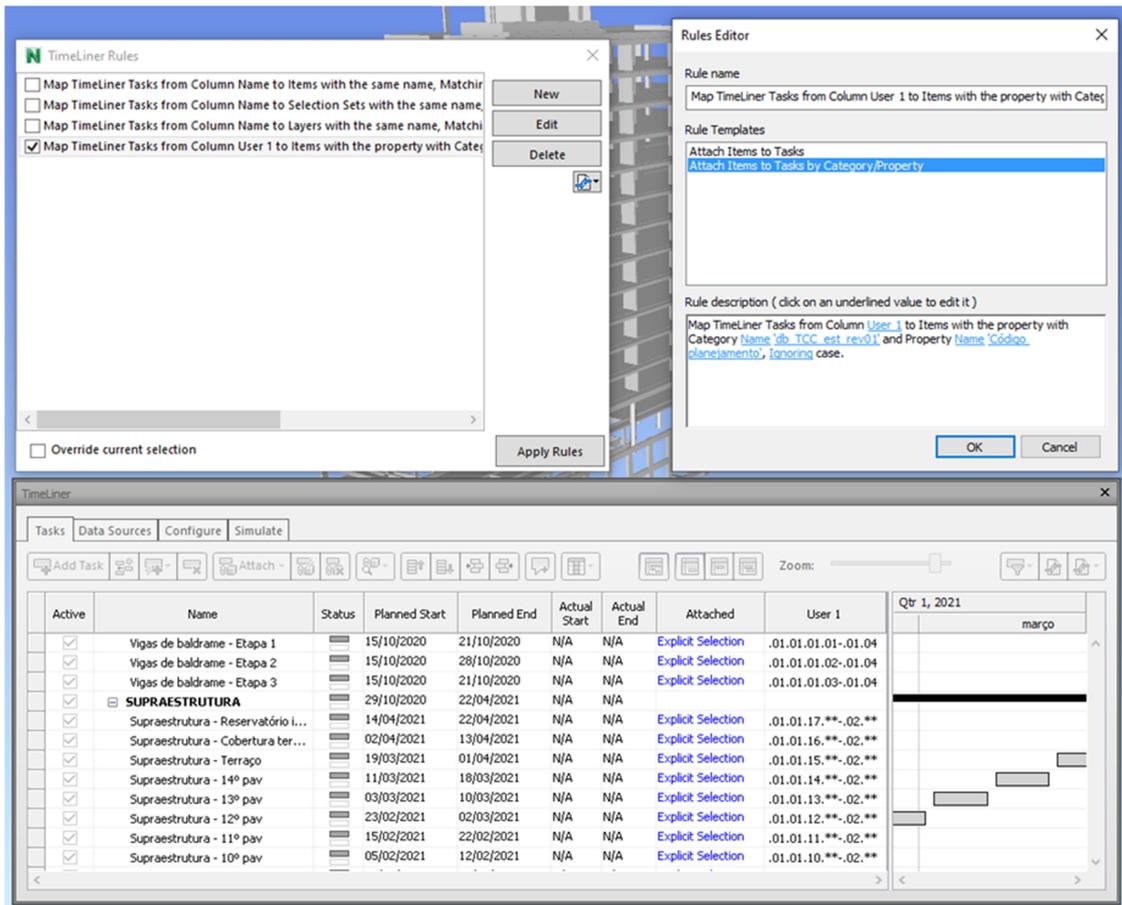
A elaboração da simulação 4D envolveu outros três passos remanescentes. O primeiro passo consistiu em alimentar o cronograma de obras com os códigos de planejamento. Estes códigos são referentes à classificação da representação semântica e da representação espacial. Tais informações são necessárias para que cada tarefa inserida no cronograma, quando o modelo for importado para o Navisworks, possua a informação de quais elementos serão vinculados à própria tarefa.

O segundo passo envolve a importação do cronograma de obras, em formato MPP, para o Navisworks. Deve-se atentar que, ao importar o cronograma para o Navisworks, é essencial garantir que as informações do código de planejamento sejam corretamente importadas. Em carência dessas informações, a simulação não será gerada.

O terceiro passo para a elaboração da simulação 4D envolve a criação da regra de vinculação dos elementos ao cronograma. A regra estabelecida para as vinculações consiste em identificar, de modo automático, quais elementos possuem o código de planejamento referente à tarefa do cronograma especificada. Por exemplo, a tarefa “Elevação de alvenaria – 7º pav.”, que possui o código de planejamento “01.01.07.\*\*-.03.01”, será vinculada a todos os elementos do modelo BIM que possuírem este código de planejamento em suas propriedades.

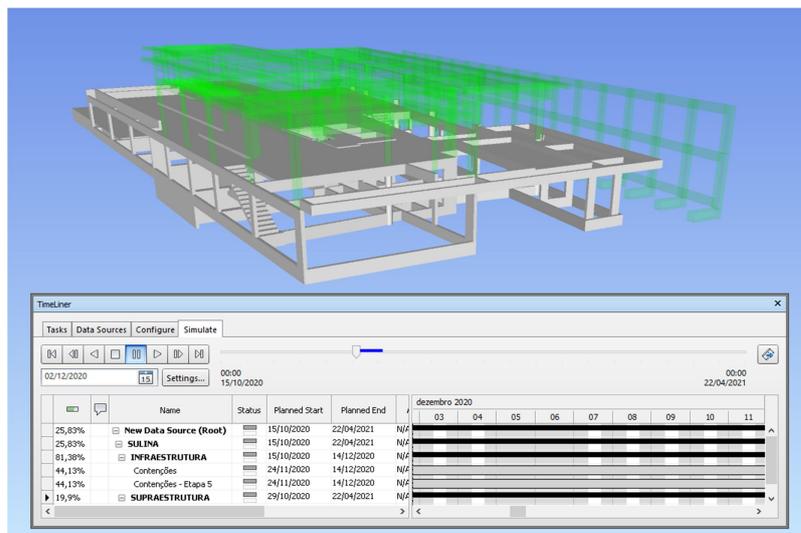
Algumas configurações referentes à simulação também podem ser ajustadas de modo personalizado para cada finalidade de simulação. Tais configurações envolvem a gestão visual de cores, filtros e velocidade de reprodução.

Figura 26 - Elaboração de regras para vinculação de elementos às tarefas do cronograma



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 27 - Simulação 4D do cronograma da obra



Fonte: elaborado pelo autor

Após o momento em que o *software* recebeu o comando para vincular os elementos com base nas regras apresentadas na Figura 26, uma possível grande limitação deste processo ficou evidente: a lentidão. A primeira vez em que a regra foi verificada, foi necessário aproximadamente oito horas para que todo o processo fosse finalizado. Mesmo diante das limitações encontradas, as regras foram aplicadas de modo bem sucedido e a simulação 4D pôde ser gerada e visualizada na ferramenta de simulação do Navisworks (Figura 27).

#### 6.4 AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

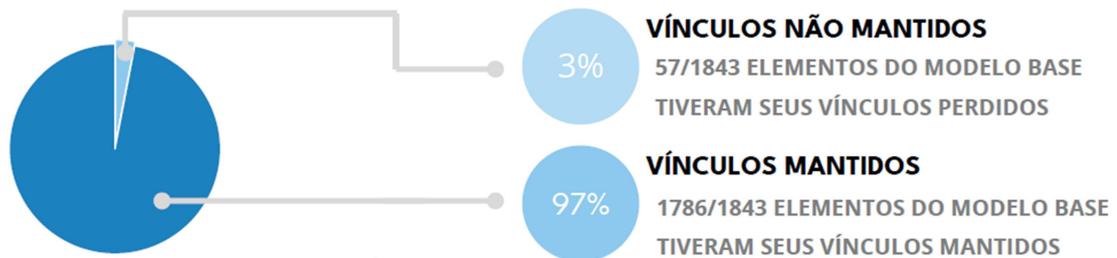
Com o objetivo de garantir a aplicabilidade do método proposto, foi importada, ao modelo federado no Navisworks, uma nova revisão do modelo BIM de estrutura. O modelo estrutural foi escolhido para a validação do método em função de apresentar um número inferior de elementos em relação ao modelo arquitetônico. Ademais, conforme constatado anteriormente, quanto maior o número de elementos de um modelo, maior é o tempo empregado pelo *software* para verificar as regras de vinculação e para estabelecer os vínculos entre os elementos do modelo BIM e as tarefas do cronograma.

Todos os elementos que mantiverem seus parâmetros de identificação únicos iguais à revisão anterior, deveriam apresentar as informações inseridas na base de dados em suas propriedades. Desse modo, as vinculações entre as tarefas do cronograma da obra e os elementos BIM, também poderiam ser reestabelecidas assim que as regras de vinculação fossem aplicadas. Visando uma melhor compreensão do processo de validação do método, os dois modelos BIM carregados no modelo federado em momentos distintos serão chamados diferentemente. O modelo estrutural a partir do qual foram gerados os conjuntos de seleção e extraídas as primeiras informações para a estruturação da base de dados será chamado de Modelo Base. O modelo estrutural revisado pelos projetistas e utilizado para a validação do método será chamado de Modelo Revisão.

Após o Modelo Revisão ter sido importado no *software* e as regras terem sido novamente aplicadas, foi identificado que 97% dos elementos do Modelo Base tiveram seus vínculos mantidos, após nova revisão dos projetistas (Figura 28). Este valor indica que a base de dados possui elevada eficiência quanto à manutenção dos vínculos entre elementos BIM e as tarefas do cronograma, após revisões no modelo. No entanto, ao analisar o Modelo Revisão, foi constatado que 5% de seus elementos não estavam vinculados às tarefas do cronograma da obra (Figura 29). Para identificar esses elementos e poder analisar quais foram os motivos

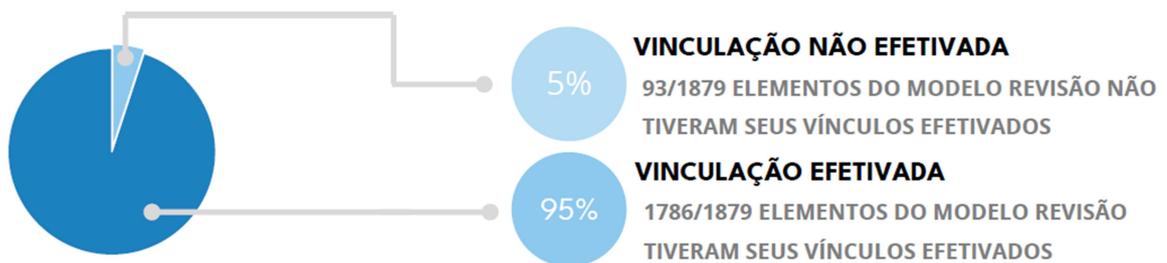
pelos quais as vinculações não foram feitas, foi aplicado um filtro para isolá-los na janela de visualização do *software*.

Figura 28 - Percentual de elementos do Modelo Base que tiveram vinculações mantidas após revisão de projeto



Fonte: elaborado pelo autor

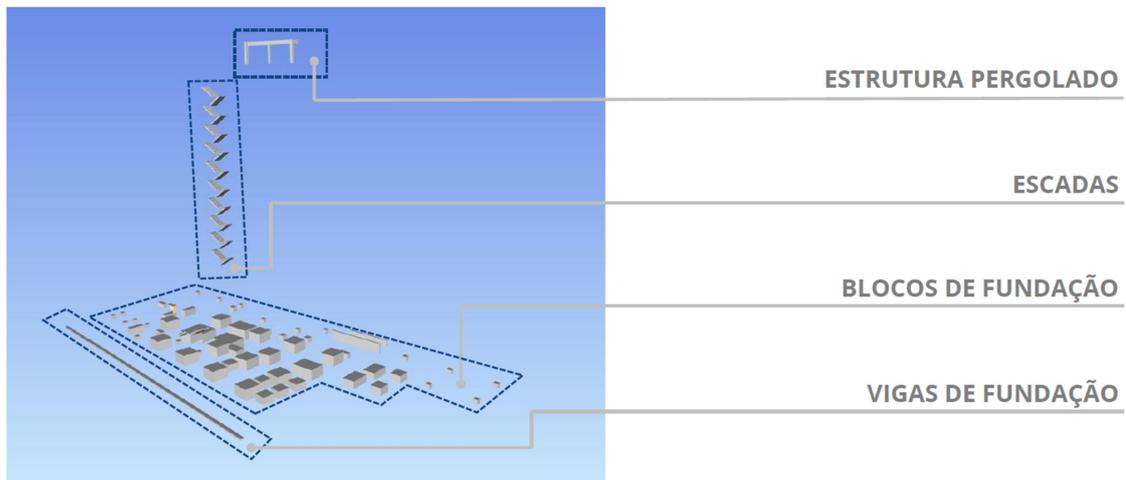
Figura 29 - Percentual de elementos que tiveram seus vínculos estabelecidos no Modelo Revisão



Fonte: elaborado pelo autor

A partir de uma análise visual, foram identificadas quatro mudanças significativas no Modelo Revisão em relação ao Modelo Base. No Modelo Base, os blocos de fundação não estavam modelados. Apenas as vigas de fundação haviam sido modeladas como parte dos elementos de infraestrutura. Após a atualização do projeto, os blocos de fundação foram adicionados ao Modelo Revisão (Figura 30). Este filtro permite visualizar todos os elementos que, por algum motivo, não estão vinculados a alguma tarefa do cronograma.

Figura 30 - Elementos não vinculados à base de dados



Fonte: elaborado pelo autor

Na etapa em que o Modelo Base havia sido publicado pelos projetistas, os projetos previam que os pergolados do *rooftop* seriam compostos de estrutura metálica e, por esse motivo, não faziam parte do Modelo Base. Entretanto, novas definições de produto foram adotadas em relação aos pergolados, os quais passaram a ser de concreto armado. Em decorrência disto, o Modelo Revisão passou a apresentar esses elementos que anteriormente não estavam no Modelo Base.

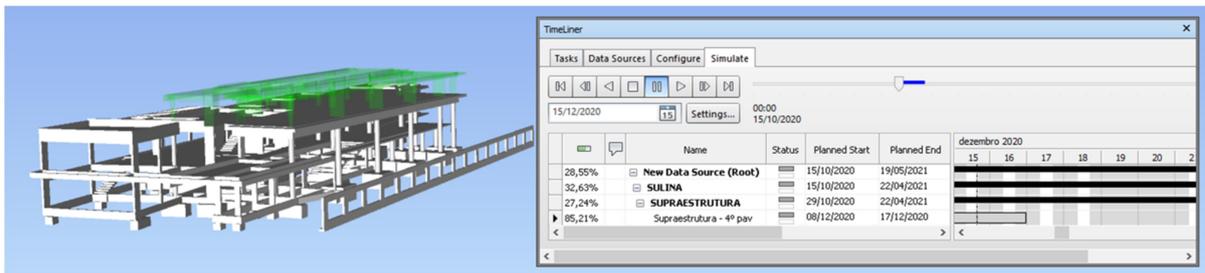
A supraestrutura do muro de contenção, junto ao terreno lindeiro, teve uma viga de fundação adicionada ao Modelo Revisão. Antes, o Modelo Base apresentava um muro de aproximadamente seis metros de altura. Esta configuração estrutural foi alterada para um muro de aproximadamente três metros de altura no Modelo Revisão. Esta modificação demandou a alteração da configuração das vigas de fundação também, exigindo a modelagem de uma nova viga, em detrimento das vigas anteriormente modeladas.

As modificações das escadas da edificação não tiveram sua origem identificada. Elas apresentaram alterações em seus parâmetros de identificação únicos, de modo a comprometer a conexão entre a base de dados e as escadas do Modelo Revisão. Quando essas alterações de GUID ocorrem, as conexões entre os elementos BIM e as tarefas se perdem. Portanto, deve ser acordado junto com a equipe projetista, que devem ser ajustados os modelos BIM, sem a exclusão ou criação de elementos, salvos os casos devidamente justificados.

Após a identificação de todos os elementos que foram adicionados ao modelo, foi necessário identificar quais elementos foram excluídos nesta atualização do Modelo Base para o Modelo Revisão. Esta verificação utilizou uma planilha de apoio com a lista de todos os códigos de GUID existentes no Modelo Revisão, para comparar com a base de dados, elaborada para o Modelo Base. Com base na comparação entre os dados, foi possível identificar quais elementos não estavam mais presentes no Modelo Revisão. Tais elementos tiveram seus dados removidos da base de dados.

Para finalizar esta etapa de validação, foi necessário repetir o processo apresentado na Seção 6.3.1, que consiste em alimentar a base de dados com as informações dos novos conjuntos de seleção criados e suas respectivas classificações. Feito isto, pôde-se aplicar as regras de associação entre os elementos e as tarefas e, conseqüentemente, gerar a simulação 4D do empreendimento novamente (Figura 31).

Figura 31 - Simulação 4D após revisão de modelo

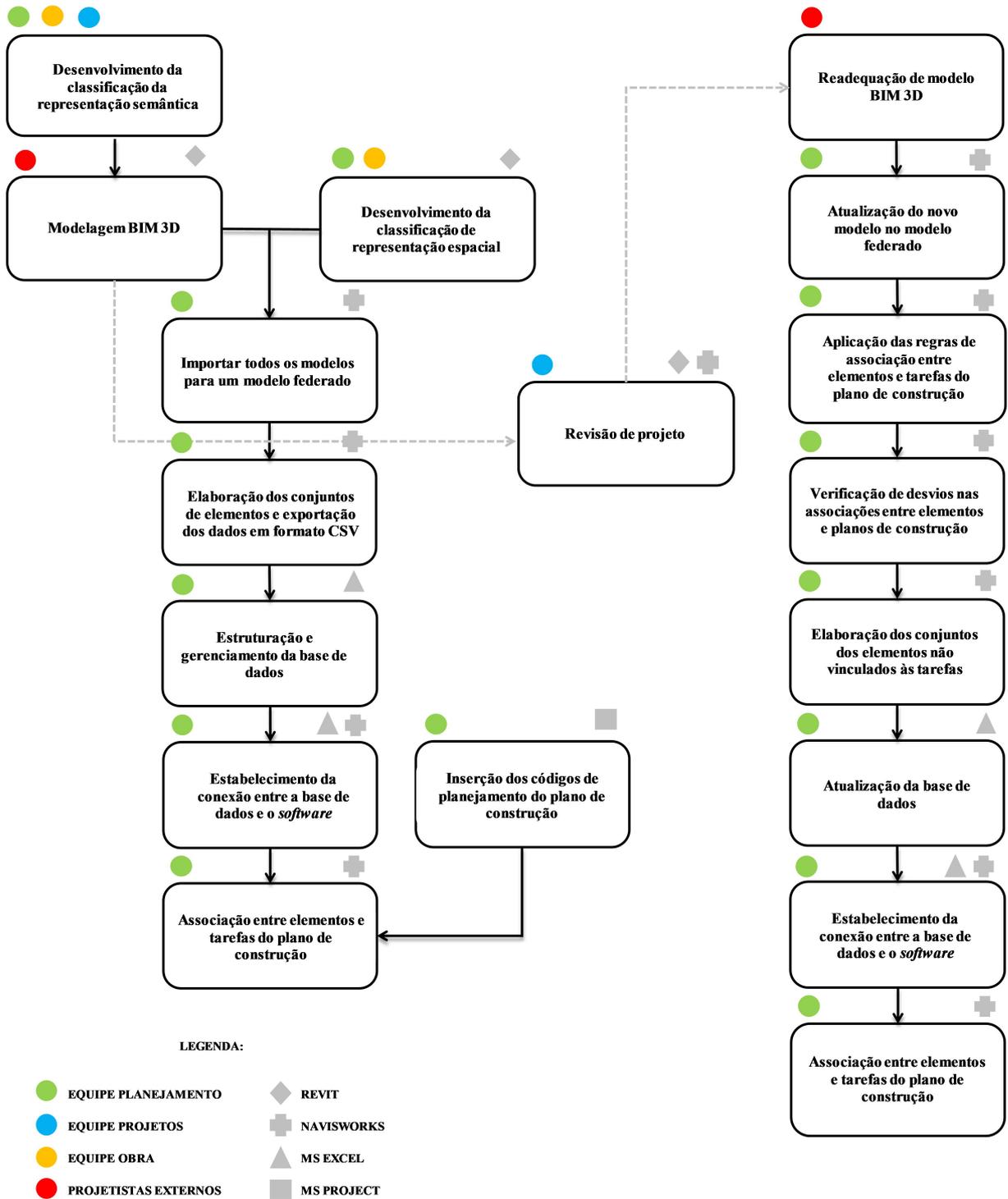


Fonte: elaborado pelo autor

## 6.5 PROPOSTA FINAL DE MODELAGEM 4D

Após passar pelas duas fases de pesquisa, bem como pela verificação da eficácia do método desenvolvido, o método de modelagem BIM 4D foi estruturado em sua forma final (Figura 32). Primeiramente, serão elucidadas as etapas para a geração dos conjuntos de elementos, estruturação da base de dados e associação das tarefas aos elementos. Na sequência, serão listados os passos para a manutenção do modelo BIM 4D .

Figura 32 - Resumo do método para geração e manutenção do modelo BIM 4D



Fonte: elaborado pelo autor

Em relação à elaboração dos conjuntos de elementos e estruturação do modelo BIM 4D:

- a) A empresa deve desenvolver uma classificação de representação semântica adaptada para o empreendimento. Esta classificação deve ser elaborada, preferencialmente, em conjunto com as equipes de planejamento, execução de obra e de projetos;
- b) A empresa deve enviar para as equipes que fornecem os projetos para o empreendimento a classificação da representação semântica em seu formato final;
- c) Os projetistas devem desenvolver os modelos BIM com os códigos da representação semântica e repassar tais modelos para a empresa estudada;
- d) A equipe de planejamento deve importar os modelos BIM para um modelo federado no Navisworks;
- e) A equipe de planejamento deve elaborar, com o apoio da equipe da obra, a classificação da representação espacial do empreendimento;
- f) A equipe de planejamento deve elaborar os conjuntos de elementos de acordo com o plano de construção desenvolvido para a obra;
- g) A equipe de planejamento deve estruturar a base de dados com todas as informações da classificação de produto (representação semântica e representação espacial) e o código de planejamento;
- h) A equipe de planejamento deve acrescentar no cronograma, desenvolvido no MS Project, o código de planejamento para ser associado aos elementos BIM;
- i) A equipe de planejamento deve importar para o Navisworks o cronograma da obra;
- j) A equipe de planejamento deve aplicar as regras de associação de elementos às tarefas;

Em relação à manutenção dos vínculos do modelo BIM 4D:

- a) A equipe projetista deve enviar para a empresa uma nova versão do modelo atualizado;
- b) A equipe de planejamento deve carregar este novo modelo no modelo federado já existente no Navisworks;
- c) A equipe de planejamento deve aplicar as regras de associação entre o cronograma e os elementos BIM;
- d) A equipe de planejamento deve verificar quais elementos não estão associados às tarefas do cronograma;
- e) A equipe de planejamento deve elaborar novos conjuntos de elementos para aqueles elementos que não foram vinculados às tarefas;
- f) A equipe de planejamento deve atualizar a base de dados, referente aos elementos que foram adicionados ou excluídos do modelo BIM;
- g) A equipe de planejamento deve aplicar novamente as regras para associar os elementos do modelo BIM às tarefas do cronograma.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil é um setor que possui elevado grau de incertezas e variabilidade em suas atividades desenvolvidas. Este tipo de ambiente requer que seus processos sejam cada vez mais eficazes, para atender as demandas de custos e de prazo em um contexto contemporâneo. As inovações tecnológicas têm ganhado espaço dentro da indústria da construção civil, as quais têm conferido ao setor inúmeras ferramentas para aperfeiçoar seus processos gerenciais. Um processo em específico chamou a atenção de muitas empresas, pois apresenta o potencial de reduzir a variabilidade e incertezas em torno da execução de obras de modo significativo. Este processo é o BIM 4D. De maneira simplificada, este processo consiste em associar objetos de um modelo BIM às tarefas de um cronograma de obra por meio de um aplicativo mediador. No entanto, autores pontuam que a modelagem 4D é um processo que requer uma elevada demanda de trabalho. Durante a elaboração deste estudo, também foi constatada a alta carga de trabalho inerente ao processo de modelagem 4D. Por conta disto, os modelos 4D geralmente são utilizados nas etapas iniciais do empreendimento, principalmente para a visualização e verificação da exequibilidade dos planos de construção.

Em paralelo ao planejamento e controle da produção, ocorre o processo de coordenação e compatibilização de projetos em BIM. Os dois processos combinados promovem atualizações nos modelos BIM e alterações nos planos de construção. Esta dinâmica de trabalho exige que sejam reestabelecidas as associações entre as tarefas e os elementos a cada alteração de projeto ou de plano de construção. Portanto, este trabalho propôs um fluxo de modelagem BIM 4D, baseado na estruturação do modelo BIM, para introduzir o contexto dinâmico das alterações de projeto ao longo do planejamento e controle da produção.

As diretrizes para a geração dos vínculos entre os elementos e as tarefas foram elaboradas a partir de um sistema de classificação com duas facetas hierarquicamente organizadas, a representação semântica e a representação espacial. Ademais, foram desenvolvidos modelos BIM 3D espaciais para auxiliar a elaboração dos conjuntos de elementos para a posterior vinculação destes conjuntos às tarefas do cronograma. A classificação da representação semântica desenvolvida apresenta potencial para ser replicado a demais empreendimentos da empresa, ou servir como base para futuras adaptações. Além disso, é importante destacar que

ainda não está disponível a norma brasileira de classificação dos resultados e elementos da construção. Vale ressaltar que uma abordagem interessante para o processo de modelagem 4D seria levar em consideração a própria norma quando ela for publicada. Caso ela não atenda às necessidades da empresa, recomenda-se readequar a classificação para ficar mais próxima o possível da estrutura da norma.

A inserção da classificação da representação semântica nos modelos BIM, segundo os fluxos estabelecidos pela pesquisa, ficaria sob a responsabilidade da equipe projetista. Esta demanda repassada aos projetistas não representa um acréscimo significativo de trabalho, pois a partir do momento em que forem inseridos os códigos referentes a esta faceta nas famílias do modelo BIM, os projetistas não teriam dificuldade de replicar tais famílias ao longo da modelagem. Além disso, é importante pontuar que as discussões desenvolvidas no presente trabalho foram específicas para os modelos de arquitetura e de estrutura. Portanto, como trabalhos futuros, sugere-se estender as análises para entender como a classificação pode ser utilizada para as demais disciplinas não abordadas.

Quanto à utilização do modelo espacial para elaboração dos conjuntos de elementos, a partir da ferramenta de detecção de interferências, o modelo se mostrou útil para alguns conjuntos de elementos e apresentou limitações para outros. Pode-se afirmar que tais mecanismos podem ser mais bem aproveitados para modelos de estrutura, pois geralmente possuem formatos e geometrias mais fáceis de serem identificadas nos testes de interferência. Além disso, acredita-se que, para obras com estruturas e configurações mais modulares (em comparação ao modelo do empreendimento estudado), tais como galpões industriais ou prédios garagem, o modelo espacial possa se mostrar ainda mais útil para a identificação dos conjuntos de elementos e para a manutenção do modelo BIM 4D. Independentemente da aplicabilidade do modelo espacial para o BIM 4D, é importante ressaltar que a elaboração deste modelo se apresenta como uma alternativa interessante para os convencionais esquemas de planejamento adotados para os empreendimentos da empresa. A geração deste modelo não se mostrou mais trabalhosa em comparação à elaboração dos esquemas, feitos durante as reuniões de planejamento executivo do empreendimento estudado.

O fluxo estabelecido para a manutenção do modelo BIM 4D cumpre de modo eficaz as expectativas iniciais do trabalho, pois além de conseguir manter os vínculos dos elementos às tarefas após as revisões de projetos, possibilitou o rastreamento de todas as modificações de projeto

que envolveram a inclusão ou exclusão de elementos no modelo BIM. Por mais que tenha cumprido o objetivo, o desenvolvimento do método exigiu elevado esforço e carga de trabalho atrelados aos processos expostos. Outro aspecto negativo verificado durante a segunda fase da pesquisa foi a limitação do *software* quanto à velocidade de execução das regras de vinculação.

Em suma, os resultados do trabalho foram positivos e podem servir de embasamento para demais pesquisas na área. Para trabalhos futuros, ficam duas sugestões principais. A primeira sugestão é para desenvolver estudos para integrar a gestão de custos no fluxo de modelagem apresentado. A segunda sugestão consiste em estudar soluções para automatizar o processo de atualização dos vínculos entre o modelo BIM e os planos de construção, por meio de uma ferramenta com um tempo de resposta mais rápido. Apenas a partir de um tempo de resposta mais ágil, o método elaborado conseguirá ser implementado nas empresas de construção civil.

## REFERÊNCIAS

- ABDI. **Classificação da Informação no BIM: Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC**. Brasília, DF, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15965-1 - Sistema de classificação da informação da construção Parte 1: Terminologia e estrutura**. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12006-2:2018 - Construção de edificação - Organização de informação da construção Parte 2: Estrutura para classificação**. Rio de Janeiro, 2018.
- AMORIM, S. R. L. DE; PEIXOTO, L. DE A. CDCON: classificação e terminologia para a construção. In: **Coletânea Habitare**. Porto Alegre: ANTAC, 2006. v. 6p. 118–219.
- AOUAD, G. et al. **Computer aided design guide for architecture, engineering and construction**. Routledge, 2013.
- ARANDA-MENA, G. et al. **National guidelines for digital modelling, 2009**
- AUTODESK. **Autodesk Navisworks Manage 2012 - User Guide**. Autodesk, 2011.
- AUTODESK. **Parâmetros compartilhados**. 2021. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products?sort=score>>. Acesso em: 6 abril, 2021.
- BAILEY, K. **Typologies and Taxonomies: an introduction to classification**. Thousand Oaks: Sage Publications, 1994.
- BALDWIN, A.; DAVID, B. Building Information Modelling (BIM). In: **A Handbook for Construction Planning and Scheduling**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2014. p. 192–203.
- BARBOSA, A. P. **Classificações Facetadas**. v. 1, n. 2, p. 73–81, 1972.
- BARBOSA, F. et al. Reinventing Construction: A Route To Higher Productivity. **McKinsey & Company**, n. February, p. 168, 2017.
- BUILDINGSMART. Information Delivery Manual Guide to Components and Development Methods. **buildingSMART**, p. 1–84, 2010.
- BUILDINGSMART. An Integrated Process for Delivering IFC Based Data Exchange. **buildingSMART International**, n. 1, p. 53, 2012.
- BUILDINGSMART. **Industry Foundation Classes 4.0.2.1 - Version 4.0 - Addendum 2 - Technical Corrigendum 1**. 2017. Disponível em: <[https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2\\_TC1/HTML/](https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/)>. Acesso em: 2 maio. 2021.
- BUILDINGSMART. **Industry Foundation Classes (IFC) – An Introduction**. 2021. Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>>. Acesso em: 26 abr.

2021a.

BUILDINGSMART. **What is openBIM?**. 2021 Disponível em:

<<https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/>>. Acesso em: 22 abr. 2021b.

BUTKOVIC, B.; HEESOM, D.; OLOKE, D. The need for multi-LOD 4D simulations in construction projects. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 24, n. March, p. 256–272, 2019.

DAVE, B. Developing a Construction Management System Based On Lean Construction And Building Information Modelling. Tese (Doutorado): University of Salford Manchester, Inglaterra, 2013.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2008.

EKHOLM, A.; HÄGGSTRÖM, L. Building classification for BIM: Reconsidering the framework. **Cib W78-W102 2011**, v. 2, n. ISO 2002, p. 26–28, 2011.

FERREIRA, E. A. et al. Criação Automática De Eap Em Bim a Partir De Programação Visual Computacional. **1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção**, p. 348–355, 2017.

FORGUES, D. et al. Rethinking the Cost Estimating Process through 5D BIM: A Case Study. In: **Construction Research Congress 2012**. [s.l: s.n.]. p. 778–786, 2012.

GRAABÆK, T. et al. **IFC GUIDE EXPORT - IFC2x3 (ENGLISH VERSION)Network**. HerlevMolio - Construction Information Centre, , 2020.

HAIATI, O.; VON HEYL, J.; SCHMALZ, S. BIM and sequence simulation in structural work - Development of a procedure for automation. **IGLC 2016 - 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, p. 73–82, 2016.

HARDIN, B.; MCCOOL, D. **BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows**. [s.l.] John Wiley and Sons, 2015.

HARTMANN, T.; GAO, J.; FISCHER, M. Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 134, n. 10, p. 776–785, out. 2008.

HEESOM, D.; MAHDJOUBI, L. Trends of 4D CAD applications for construction planning. **Construction Management and Economics**, v. 22, n. 2, p. 171–182, 2004.

ISO. **ISO 16739-1:2018 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema**, 2018.

Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/70303.html>>

KIM, H. et al. Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology. **Automation in Construction**, v. 35, p. 285–295, 2013.

KREIDER, R. G.; MESSNER, J. I. The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses.

**The Pennsylvania State University**, n. September, p. 0–22, 2013.

KUBICKI, S. et al. Assessment of synchronous interactive devices for BIM project coordination: Prospective ergonomics approach. **Automation in Construction**, v. 101, n. December 2018, p. 160–178, 2019.

MAHALINGAM, A.; KASHYAP, R.; MAHAJAN, C. An evaluation of the applicability of 4D CAD on construction projects. **Automation in Construction**, v. 19, n. 2, p. 148–159, mar. 2010.

MCCARTHY, T. J. et al. **Knowledge management in the designer/constructor interface**. Proceedings of the 8th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. Anais...2000

MCKINNEY, K. et al. Interactive 4D-CAD. n. January, 1996.

OMNICLASS. **OmniClass - Introduction and User's Guide**, 2006.

PEREIRA, R. Sistemas de classificação na construção: Síntese comparada de métodos. **Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto**, p. 1–149, 2013.

PHILIPP GERBERT, S. C. C. R. AND A. R. Shaping the Future of Construction A Breakthrough in Mindset and Technology. **World Economic Forum (WEF)**, n. May, p. 1–64, 2016.

REINHARDT, J.; GARRETT, J. H.; AKINCI, B. Framework for Providing Customized Data Representations for Effective and Efficient Interaction with Mobile Computing Solutions on Construction Sites. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 19, n. 2, p. 109–118, 2005.

ROMIGH, A.; KIM, J.; SATTINENI, A. 4D Scheduling: A Visualization Tool for Construction Field Operations. **53rd Associated Schools of Construction Annual International Conference Proceedings**, p. 395–404, 2017.

SACKS, R. et al. Construction with digital twin information systems. **Data-Centric Engineering**, v. 1, n. May 2021, 2020.

SCHENATTO, R. T. **Building information modeling: classificação de informação para o planejamento e controle da produção**. 2015. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil). Porto Alegre..

SCHLUETER, A.; THESELING, F. Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. **Automation in Construction**, v. 18, n. 2, p. 153–163, 2009.

SIGALOV, K.; KÖNIG, M. Recognition of process patterns for BIM-based construction schedules. **Advanced Engineering Informatics**, v. 33, p. 456–472, ago. 2017.

SLOOT, R. N. F.; HEUTINK, A.; VOORDIJK, J. T. Assessing usefulness of 4D BIM tools in risk mitigation strategies. **Automation in Construction**, v. 106, n. February, p. 102881,

2019.

STAUB-FRENCH, S.; KHANZODE, A. 3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned. **ITcon**, v. Vol. 12, n. September 2006, p. pg. 381-407, 2007.

STUMPF, A. L. et al. Object-Oriented Model for Integrating Construction Product and Process Information. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 10, n. 3, p. 204–212, jul. 1996.

TAO, F.; ZHANG, M.; NEE, A. Y. C. **Digital Twin Driven Smart Manufacturing**. [s.l.] Academic Press, 2019.

TAUSCHER, E. et al. **Automated Generation of Construction Schedules Based on the IFC Object Model**. Computing in Civil Engineering (2009). **Anais...**Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 19 jun. 2009Disponível em:  
<<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/41052%28346%2966>>

TRISTÃO, A. M. D.; FACHIN, G. R. B.; ALARCON, O. E. Sistema de classificação facetada e tesouros: instrumentos para organização do conhecimento. **Ciência da Informação**, v. 33, n. 2, p. 161–171, 2004.

WANG, W. C. et al. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. **Automation in Construction**, v. 37, p. 68–80, 2014.

WEBB, R. M.; SMALLWOOD, J.; HAUPT, T. C. The potential of 4D CAD as a tool for construction management. **Journal of Construction Research**, v. 05, n. 01, p. 43–60, mar. 2004.

**APÊNDICE A - Classificação da representação semântica (faceta de elemento)**

NOME DO ELEMENTO	CÓDIGO	NÍVEL 1	NÍVEL 2
<b>INFRAESTRUTURA</b>	<b>.01.**</b>	<b>.01</b>	<b>.**</b>
CONTENÇÃO	.01.01	.01	.01
FUNDAÇÃO	.01.02	.01	.02
BLOCO DE FUNDAÇÃO	.01.03	.01	.03
VIGA DE FUNDAÇÃO	.01.04	.01	.04
<b>SUPRAESTRUTURA</b>	<b>.02.**</b>	<b>.02</b>	<b>.**</b>
PILAR	.02.01	.02	.01
VIGA	.02.02	.02	.02
LAJE	.02.03	.02	.03
ESCADA	.02.04	.02	.04
COMPONENTE SUPLEMENTAR	.02.05	.02	.05
<b>PAREDE</b>	<b>.03.**</b>	<b>.03</b>	<b>.**</b>
ALVENARIA	.03.01	.03	.01
DRYWALL	.03.02	.03	.02
DIVISÓRIA LEVE	.03.03	.03	.03
DEMAIS COMPONENTES DE DIVISÓRIA	.03.04	.03	.04
<b>REVESTIMENTO INTERNO</b>	<b>.04.**</b>	<b>.04</b>	<b>.**</b>
REVESTIMENTO DE ARGAMASSA	.04.01	.04	.01
CAMADA DE TINTA	.04.02	.04	.02
REVESTIMENTO CERÂMICO	.04.03	.04	.03
REVESTIMENTO EM PEDRA	.04.04	.04	.04
REVESTIMENTO EM MADEIRA	.04.05	.04	.05
REVESTIMENTO VINÍLICO	.04.06	.04	.06
<b>REVESTIMENTO EXTERNO</b>	<b>.05.**</b>	<b>.05</b>	<b>.**</b>
REVESTIMENTO DE ARGAMASSA	.05.01	.05	.01
CAMADA DE TINTA	.05.02	.05	.02
REVESTIMENTO CERÂMICO	.05.03	.05	.03
REVESTIMENTO EM PEDRA	.05.04	.05	.04
REVESTIMENTO ESPECIAIS	.05.05	.05	.05
<b>IMPERMEABILIZAÇÃO</b>	<b>.06.**</b>	<b>.06</b>	<b>.**</b>
IMPERMEABILIZAÇÃO	.06.01	.06	.01
<b>ELEMENTO DE COBERTURA</b>	<b>.07.**</b>	<b>.07</b>	<b>.**</b>
<b>ELEMENTO COMPLEMENTAR DE FACHADA</b>	<b>.08.**</b>	<b>.08</b>	<b>.**</b>
BRISE E VENEZIANA	.08.01	.08	.01
TELA E PLACA	.08.02	.08	.02
GRELHAS	.08.03	.08	.03
<b>JANELAS</b>	<b>.09.**</b>	<b>.09</b>	<b>.**</b>
JANELA DE ALUMÍNIO	.09.01	.09	.01
JANELA DE PVC	.09.02	.09	.02
JANELA DE MADEIRA	.09.03	.09	.03
JANELA DE FERRO	.09.04	.09	.04
PELE DE VIDRO	.09.05	.09	.05
<b>PORTAS</b>	<b>.10.**</b>	<b>.10</b>	<b>.**</b>
PORTA DE ALUMINIO	.10.01	.10	.01
PORTA DE MADEIRA	.10.02	.10	.02
PORTA DE FERRO	.10.03	.10	.03
PORTA CORTA-FOGO	.10.04	.10	.04

<b>FORRO</b>	<b>.11.**</b>	<b>.11</b>	<b>.**</b>
FORRO DE GESSO	.11.01	.11	.01
FORRO DE MADEIRA	.11.02	.11	.02
FORRO DE ALUMÍNIO	.11.03	.11	.03
<b>INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS</b>	<b>.12.**</b>	<b>.12</b>	<b>.**</b>
REDES ENTERRADAS	.12.01	.12	.01
COLUNAS HIDRÁULICAS	.12.02	.12	.02
REDES SUSPENSAS	.12.03	.12	.03
TUBULAÇÕES EMBUTIDAS DRYWALL	.12.04	.12	.04
ELEMENTOS DE COMBATE A INCÊNDIO	.12.05	.12	.05
HIDRÔMETROS	.12.06	.12	.06
RESERVATÓRIO EM FIBRA	.12.07	.12	.07
BOMBAS HIDRÁULICAS	.12.08	.12	.08
<b>INSTALAÇÕES ELÉTRICAS</b>	<b>.13.**</b>	<b>.13</b>	<b>.**</b>
COLUNA MONTANTE	.13.01	.13	.01
CAIXAS DE DISTRIBUIÇÃO	.13.02	.13	.02
FAIXÃO	.13.03	.13	.03
ELETRODUTOS E CALHAS SUSPENSAS	.13.04	.13	.04
TUBULAÇÕES EMBUTIDAS DRYWALL	.13.05	.13	.05
BASE, CHAVE, TOMADAS E DISJUNTORES	.13.06	.13	.06
ESPELHOS E ACABAMENTOS	.13.07	.13	.07
PAINEL DE MEDIDORES	.13.08	.13	.08
LUMINÁRIAS E SENSORES	.13.09	.13	.09
<b>LOUÇAS, METAIS E TAMPOS</b>	<b>.14.**</b>	<b>.14</b>	<b>.**</b>
LOUÇAS	.14.01	.14	.01
METAIS	.14.02	.14	.02
TAMPOS	.14.03	.14	.03
MURETA BOX	.14.04	.14	.04
<b>INSTALAÇÕES AC E EXAUSTÃO</b>	<b>.15.**</b>	<b>.15</b>	<b>.**</b>
DUTOS AC	.15.01	.15	.01
DUTOS EXAUSTÃO	.15.02	.15	.02
<b>SERRALHERIA</b>	<b>.16.**</b>	<b>.16</b>	<b>.**</b>
GUARDA-CORPO FERRO	.16.01	.16	.01
GUARDA-CORPO ALUMÍNIO	.16.02	.16	.02
<b>MOBILIÁRIO</b>	<b>.17.**</b>	<b>.17</b>	<b>.**</b>
<b>IMPLANTAÇÃO</b>	<b>.18.**</b>	<b>.18</b>	<b>.**</b>
GRADIS	.18.01	.18	.01
PAVIMENTAÇÃO	.18.02	.18	.02
<b>PAISAGISMO E SERVIÇOS FINAIS</b>	<b>.19.**</b>	<b>.19</b>	<b>.**</b>
FLOREIRAS	.19.01	.19	.01
COMPOSTO ORGÂNICO	.19.02	.19	.02
VEGETAÇÃO	.19.03	.19	.03
DECK DE MADEIRA	.19.04	.19	.04
ELEMENTOS DE COMUNICAÇÃO VISUAL	.19.05	.19	.05

## **APÊNDICE B - Classificação da representação espacial (faceta espacial)**

NOME DO ESPAÇO	CÓDIGO
EMPREENDIMENTO	.01.**.**.**
EMPREENDIMENTO - TORRE	.01.01.**.**
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO	.01.01.01.**
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - SETOR 1	.01.01.01.01
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - SETOR 2	.01.01.01.02
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - SETOR 3	.01.01.01.03
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - LOJA	.01.01.01.04
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - BICICLETÁRIO	.01.01.01.05
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - ESCADARIA	.01.01.01.06
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - RESERVATÓRIO INFERIOR	.01.01.01.07
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - HALL	.01.01.01.08
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - RESÍDUOS	.01.01.01.09
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - ADM INTERNA	.01.01.01.10
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - ADM ESTACIONAMENTO	.01.01.01.11
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - ESTACIONAMENTO COBERTO	.01.01.01.12
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - GUARITA	.01.01.01.13
EMPREENDIMENTO - TORRE - TÉRREO - ÁREAS TÉCNICAS	.01.01.01.14
EMPREENDIMENTO - TORRE - 2º PAV	.01.01.02.**
EMPREENDIMENTO - TORRE - 2º PAV - LOUNGE	.01.01.02.01
EMPREENDIMENTO - TORRE - 2º PAV - ESPAÇOS GOURMET	.01.01.02.02
EMPREENDIMENTO - TORRE - 2º PAV - FITNESS	.01.01.02.03
EMPREENDIMENTO - TORRE - 2º PAV - ZEN	.01.01.02.04
EMPREENDIMENTO - TORRE - 2º PAV - TERRAÇO	.01.01.02.05
EMPREENDIMENTO - TORRE - 2º PAV - ESCADARIA	.01.01.02.06
EMPREENDIMENTO - TORRE - 2º PAV - APARTAMENTO ZELADOR	.01.01.02.07
EMPREENDIMENTO - TORRE - 2º PAV - COBERTURA EXTERNA	.01.01.02.08
EMPREENDIMENTO - TORRE - 2º PAV - LOJA	.01.01.02.09
EMPREENDIMENTO - TORRE - 3º PAV	.01.01.03.**
EMPREENDIMENTO - TORRE - 3º PAV - APARTAMENTOS	.01.01.03.01
EMPREENDIMENTO - TORRE - 3º PAV - CIRCULAÇÃO	.01.01.03.02
EMPREENDIMENTO - TORRE - 3º PAV - TERRAÇO	.01.01.03.03
EMPREENDIMENTO - TORRE - 3º PAV - COBERTURA EXTERNA FRENTE	.01.01.03.04
EMPREENDIMENTO - TORRE - 3º PAV - COBERTURA EXTERNA FITNESS	.01.01.03.05
EMPREENDIMENTO - TORRE - 4º PAV	.01.01.04.**
EMPREENDIMENTO - TORRE - 4º PAV - APARTAMENTOS	.01.01.04.01
EMPREENDIMENTO - TORRE - 4º PAV - CIRCULAÇÃO	.01.01.04.02
EMPREENDIMENTO - TORRE - 5º PAV	.01.01.05.**
EMPREENDIMENTO - TORRE - 5º PAV - APARTAMENTOS	.01.01.05.01
EMPREENDIMENTO - TORRE - 5º PAV - CIRCULAÇÃO	.01.01.05.02

EMPREENHIMENTO - TORRE - 6º PAV	.01.01.06.**
EMPREENHIMENTO - TORRE - 6º PAV - APARTAMENTOS	.01.01.06.01
EMPREENHIMENTO - TORRE - 6º PAV - CIRCULAÇÃO	.01.01.06.02
EMPREENHIMENTO - TORRE - 7º PAV	.01.01.07.**
EMPREENHIMENTO - TORRE - 7º PAV - APARTAMENTOS	.01.01.07.01
EMPREENHIMENTO - TORRE - 7º PAV - CIRCULAÇÃO	.01.01.07.02
EMPREENHIMENTO - TORRE - 8º PAV	.01.01.08.**
EMPREENHIMENTO - TORRE - 8º PAV - APARTAMENTOS	.01.01.08.01
EMPREENHIMENTO - TORRE - 8º PAV - CIRCULAÇÃO	.01.01.08.02
EMPREENHIMENTO - TORRE - 9º PAV	.01.01.09.**
EMPREENHIMENTO - TORRE - 9º PAV - APARTAMENTOS	.01.01.09.01
EMPREENHIMENTO - TORRE - 9º PAV - CIRCULAÇÃO	.01.01.09.02
EMPREENHIMENTO - TORRE - 10º PAV	.01.01.10.**
EMPREENHIMENTO - TORRE - 10º PAV - APARTAMENTOS	.01.01.10.01
EMPREENHIMENTO - TORRE - 10º PAV - CIRCULAÇÃO	.01.01.10.02
EMPREENHIMENTO - TORRE - 11º PAV	.01.01.11.**
EMPREENHIMENTO - TORRE - 11º PAV - APARTAMENTOS	.01.01.11.01
EMPREENHIMENTO - TORRE - 11º PAV - CIRCULAÇÃO	.01.01.11.02
EMPREENHIMENTO - TORRE - 12º PAV	.01.01.12.**
EMPREENHIMENTO - TORRE - 12º PAV - APARTAMENTOS	.01.01.12.01
EMPREENHIMENTO - TORRE - 12º PAV - CIRCULAÇÃO	.01.01.12.02
EMPREENHIMENTO - TORRE - 13º PAV	.01.01.13.**
EMPREENHIMENTO - TORRE - 13º PAV - APARTAMENTOS	.01.01.13.01
EMPREENHIMENTO - TORRE - 13º PAV - CIRCULAÇÃO	.01.01.13.02
EMPREENHIMENTO - TORRE - 14º PAV	.01.01.14.**
EMPREENHIMENTO - TORRE - 14º PAV - APARTAMENTOS	.01.01.14.01
EMPREENHIMENTO - TORRE - 14º PAV - CIRCULAÇÃO	.01.01.14.02
EMPREENHIMENTO - TORRE - 15º PAV	.01.01.15.**
EMPREENHIMENTO - TORRE - 15º PAV - HALL	.01.01.15.01
EMPREENHIMENTO - TORRE - 15º PAV - SANITÁRIO PCD	.01.01.15.02
EMPREENHIMENTO - TORRE - 15º PAV - RESERVATÓRIO SUPERIOR	.01.01.15.03
EMPREENHIMENTO - TORRE - 15º PAV - ÁREA EXTERNA	.01.01.15.04
EMPREENHIMENTO - TORRE - 15º PAV - PISCINA	.01.01.15.05
EMPREENHIMENTO - TORRE - RESERVATÓRIO SUPERIOR	.01.01.16.**
EMPREENHIMENTO - TORRE - RESERVATÓRIO DE INCÊNDIO	.01.01.17.**
EMPREENHIMENTO - TORRE - FACHADA	.01.01.18.**
EMPREENHIMENTO - TORRE - FACHADA - FRENTE	.01.01.18.01
EMPREENHIMENTO - TORRE - FACHADA - LATERAL 1	.01.01.18.02
EMPREENHIMENTO - TORRE - FACHADA - FUNDOS	.01.01.18.03
EMPREENHIMENTO - TORRE - FACHADA - LATERAL 2	.01.01.18.04
EMPREENHIMENTO - TORRE - FACHADA - CREMALHEIRA	.01.01.18.05
EMPREENHIMENTO - TORRE - FACHADA - 2º PAVIMENTO	.01.01.18.06
EMPREENHIMENTO - TORRE - FACHADA - TÉRREO	.01.01.18.07

EMPREENHIMENTO - IMPLANTAÇÃO	.01.02.**.**
EMPREENHIMENTO - IMPLANTAÇÃO - MURO LINDEIRO	.01.02.01.**
EMPREENHIMENTO - IMPLANTAÇÃO - FRENTE TORRE	.01.02.02.**
EMPREENHIMENTO - IMPLANTAÇÃO - ESTACIONAMENTO	.01.02.03.**
EMPREENHIMENTO - IMPLANTAÇÃO - ZONA 1	.01.02.03.01
EMPREENHIMENTO - IMPLANTAÇÃO - ZONA 2	.01.02.03.02
EMPREENHIMENTO - IMPLANTAÇÃO - ZONA 3	.01.02.03.03
EMPREENHIMENTO - IMPLANTAÇÃO - ZONA 4	.01.02.03.04