

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO & ORGANIZAÇÃO DO
CONHECIMENTO

BRUNO CESARINO SOARES

**USO DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO PARA
SUBSIDIAR A GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**

Belo Horizonte

2021

BRUNO CESARINO SOARES

**USO DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO PARA
SUBSIDIAR A GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão & Organização do Conhecimento, Escola de Ciência da Informação da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do grau de Doutor, área de concentração Ciência da Informação.

Linha de Pesquisa: Gestão & Tecnologia da Informação e Comunicação (GETIC)

Orientadora: Profa. Dra. Renata Maria Abrantes Baracho

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Franco Porto

BELO HORIZONTE

2021

S676u

Soares, Bruno Cesarino.

Uso da modelagem da informação da construção para subsidiar a gestão do ambiente construído [recurso eletrônico] / Bruno Cesarino Soares. - 2021.
1 recurso online (282 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Renata Maria Abrantes Baracho

Coorientador: Marcelo Franco Porto

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Ciência da Informação.

Referências: f. 212-229.

Apêndices: f. 230-282.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Ciência da informação – Teses. 2. Modelagem de informação da construção – Teses. 3. Gestão do conhecimento – Teses. 4. Representação do conhecimento (Sistemas especialistas) – Teses. 5. Normalização – Teses. I. Título. II. Baracho, Renata Maria Abrantes. III. Porto, Marcelo Franco. IV. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Ciência da Informação.

CDU: 659.2:69

Ficha catalográfica: Rosimeire Silva Campos de Lima CRB:6/3145

Biblioteca Profª Etelvina Lima, Escola de Ciência da Informação da UFMG.



FOLHA DE APROVAÇÃO

USO DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO PARA SUBSIDIAR A GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

BRUNO CESARINO SOARES

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GESTÃO E ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO, como requisito para obtenção do grau de Doutor em GESTÃO E ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO, área de concentração CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, linha de pesquisa Gestão e Tecnologia da Informação e Comunicação.

Aprovada em 13 de janeiro de 2021, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Renata Maria Abrantes Baracho Porto (Orientadora)
Escola de Arquitetura/UFMG [por videoconferência]

Prof(a). Marcelo Franco Porto (Coorientador)
Escola de Engenharia/UFMG [por videoconferência]

Prof(a). Roberta Vieira Gonçalves de Souza
Escola de Arquitetura/UFMG [por videoconferência]

Prof(a). Marcello Peixoto Bax
ECI/UFMG [por videoconferência]

Prof(a). Guilherme Ataíde Dias
UFPB [por videoconferência]

Prof(a). Mário Lucio Pereira Junior
PUC-MG [por videoconferência]

Prof(a). Rogério Amaral Bonatti
UNA [por videoconferência]

Belo Horizonte, 13 de janeiro de 2021.



ATA DA DEFESA DE TESE DO ALUNO BRUNO CESARINO SOARES

Realizou-se, no dia 13 de janeiro de 2021, às 14:30 horas, Videoconferência, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de tese, intitulada *USO DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO PARA SUBSIDIAR A GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, apresentada por BRUNO CESARINO SOARES, por videoconferência, número de registro 2015703769, graduado no curso de ENGENHARIA CIVIL, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em GESTÃO E ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Renata Maria Abrantes Baracho Porto - Escola de Arquitetura/UFMG [por videoconferência] (Orientadora), Prof(a). Marcelo Franco Porto - Escola de Engenharia/UFMG [por videoconferência] (Coorientador), Prof(a). Roberta Vieira Gonçalves de Souza - Escola de Arquitetura/UFMG [por videoconferência], Prof(a). Marcello Peixoto Bax - ECI/UFMG [por videoconferência], Prof(a). Guilherme Ataíde Dias - UFPB [por videoconferência], Prof(a). Mário Lucio Pereira Junior - PUC-MG [por videoconferência], Prof(a). Rogério Amaral Bonatti - UNA [por videoconferência].

A Comissão considerou a tese:

Aprovada

Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.
Belo Horizonte, 13 de janeiro de 2021.

Prof(a). Renata Maria Abrantes Baracho Porto

Prof(a). Marcelo Franco Porto

Prof(a). Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Prof(a). Marcello Peixoto Bax

Prof(a). Guilherme Ataíde Dias

Prof(a). Mário Lucio Pereira Junior

Prof(a). Rogério Amaral Bonatti

AGRADECIMENTOS

Agradeço

Primeiramente a Deus;

Aos meus pais e familiares, que sempre me motivaram a continuar com os estudos;

À minha orientadora Renata, pelo incentivo, paciência e aprendizado;

Ao meu coorientador Marcelo, por todo apoio ao longo do trabalho e aprendizado;

À Karla, por permanecer ao meu lado e me motivar nessa trajetória;

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A modelagem da informação da construção (Building Information Modeling - BIM), além de representar modelos tridimensionais, pode ser compreendida como uma base de dados para armazenar informações sobre todo o ciclo de vida de uma construção, sendo, portanto, repositório e fonte de consulta para o gerenciamento de empreendimentos envolvendo o ambiente construído. Os ativos que fazem parte do ambiente construído incluem projetos de arquitetura e de engenharia, desenhos técnicos, planilhas, cronogramas, relatórios, componentes da construção, seus elementos e diversos outros resultados dos serviços executados nas obras. A organização da informação sobre esses ativos tem como base a necessidade de representá-los de maneira única e eficiente em um ambiente BIM, mediante a utilização de um sistema de classificação padronizado. A pesquisa realizada teve como objetivo avaliar a utilização da modelagem BIM para subsidiar a gestão do ambiente construído, observando-se os instrumentos normativos e regulatórios pertinentes. O estudo envolveu uma análise sobre o uso de sistemas de classificação da informação da construção (Construction Information Classification System - CICS) que se aplicam à modelagem BIM, como o sistema definido pela norma técnica brasileira ABNT NBR 15965. A organização da informação utilizando um CICS como o proposto pela norma brasileira é um dos requisitos para subsidiar a transformação digital da indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Um protótipo computacional foi concebido e implementado para avaliar o uso de um CICS no contexto da modelagem BIM. O protótipo executa um mecanismo de verificação de regras em modelos BIM para avaliar sua conformidade com o uso de um CICS e foi implementado como um aplicativo de extensão (*add-in*) para uma plataforma de *software* BIM. O desenvolvimento seguiu um ciclo evolutivo conforme a abordagem Action Design Research (ADR). A formulação proposta foi avaliada e validada mediante um estudo de caso que consistiu na execução do protótipo implementado em modelos BIM do complexo imobiliário da antiga Escola de Engenharia da UFMG (EEUFMG) para verificar sua conformidade com o uso do CICS brasileiro. Com a solução desenvolvida também é possível avaliar a utilização de outros CICS. Os resultados mostraram que a formulação pode ser utilizada como subsídio para a geração de indicadores de qualidade da informação modelada mediante a metodologia BIM e um CICS. Esses indicadores podem ser avaliados ao longo do ciclo de vida do ambiente construído, permitindo o desenvolvimento de um sistema de informação ou, de forma mais abrangente, de um sistema de organização do conhecimento (Knowledge Organization System - KOS) aplicado à gestão do ambiente construído.

Palavras-chave: Modelagem da Informação da Construção. Gestão da Informação. Verificação de Regras. Sistemas de Classificação da Informação da Construção. Sistemas de Organização do Conhecimento.

ABSTRACT

Building information modeling (BIM), in addition to representing three-dimensional models, can be understood as a database to store information about the entire life cycle of a construction, therefore being a repository and source of consultation for the management of projects involving the built environment. The assets contained in a built environment include architectural and engineering projects, technical drawings, spreadsheets, schedules, reports, construction components, their elements and several other results of the services performed in the construction works. The organization of information about these assets is based on the need to represent them in a unique and efficient way in a BIM environment, using a standardized classification system. The research aimed to evaluate the use of BIM modeling to support the management of the built environment, observing the relevant normative and regulatory instruments. The study contains an analysis on the use of construction information classification systems (Construction Information Classification System - CICS) that apply to BIM modeling, such as the system defined by the Brazilian technical standard ABNT NBR 15965. The organization of information using a CICS as proposed by the Brazilian standard is one of the requirements to support the digital transformation of the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry. A computational prototype was conceived and implemented to evaluate the use of a CICS in the context of BIM modeling. The prototype performs a mechanism for checking rules in BIM models to assess their compliance with the use of a CICS and was implemented as an extension application (add-in) for a BIM software platform. The development followed an evolutionary cycle according to the Action Design Research (ADR) approach. The proposed formulation was evaluated and validated through a case study that consisted of the execution of the prototype implemented in BIM models of the building complex of the former UFMG School of Engineering (EEUFMG) to verify its compliance with the use of Brazilian CICS. With the developed solution it is also possible to evaluate the use of other CICS. The results showed that the formulation can be used as a subsidy for the generation of indicators of the quality of the information modeled using the BIM methodology and a CICS. These indicators can be evaluated throughout the life cycle of the built environment, allowing the development of an information system or, more broadly, a knowledge organization system (KOS) applied to the management of the built environment.

Keywords: Building Information Modelling - BIM. Information Management. Rules Checking. Construction Information Classification System - CICS. Knowledge Organization System - KOS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da fundamentação teórico-conceitual	26
Figura 2 - Modelo ecológico para o gerenciamento da informação.....	29
Figura 3 - Ciclos da gestão da informação.....	31
Figura 4 - Processo de modelagem da informação da construção - BIM.....	43
Figura 5 - Desenhos técnicos (vistas em 2D) obtidos partir de um modelo BIM...	44
Figura 6 - Modelos BIM especializados por disciplinas e combinados.....	48
Figura 7 - Etapas do processo de verificação de regras	56
Figura 8 - Relacionamentos entre as tabelas de classificação do Uniclass 2015 .	70
Figura 9 - Esquema geral das classes da norma ISO 12006-2.....	79
Figura 10 - Correspondência entre entidades das normas ISO 12006-2 e ABNT NBR 15965	80
Figura 11 - Relacionamento entre entidades da norma ABNT NBR 15965	81
Figura 12 - Evolução do detalhamento de uma família de parede - simplificado ..	85
Figura 13 - Evolução do detalhamento de uma família de parede - refinado.....	85
Figura 14 - Relacionamento entre as tabelas 2C, 3E e 3R da norma ABNT NBR 15965	87
Figura 15 - Visualização linear dos três estágios de maturidade do BIM.....	89
Figura 16 - Representação ontológica do BIM <i>Framework</i>	90
Figura 17 - Resumo geral do LITE <i>Framework</i>	96
Figura 18 - Biblioteca nacional BIM (BNBIM).....	109
Figura 19 - Diagrama da pesquisa	118
Figura 20 - Estágios e ciclos do processo de pesquisa adotado.....	120
Figura 21 - Exemplos de famílias no Revit.....	129
Figura 22 - Modelo BIM com uma instância de Família de parede selecionada .	131
Figura 23 - Ambiente de desenvolvimento integrado <i>Microsoft Visual Studio</i>	134
Figura 24 - Exemplo de execução de um aplicativo de extensão	136

Figura 25 - Planilhas disponibilizadas pelo aplicativo <i>Classification Manager</i>	141
Figura 26 - Instalação do aplicativo <i>Classification Manager</i>	143
Figura 27 - Menu adicionado pelo add-in BIM Interoperability Tools for Revit	144
Figura 28 - Planilha criada para carregar as tabelas de classificação	145
Figura 29 - Especificação de parâmetros.....	146
Figura 30 - Carregamento do CICS brasileiro no <i>software</i> Revit	146
Figura 31 - Parâmetros criados para serem utilizados em um modelo BIM.....	147
Figura 32 - Verificação da criação de parâmetros de tipo de família	148
Figura 33 - Verificação da criação de parâmetros de projeto.....	149
Figura 34 - Atribuição de classificação a um componente (objeto BIM).....	149
Figura 35 - Atribuição de classificação ao projeto (modelo BIM)	150
Figura 36 - Arquitetura de software do protótipo inicial	151
Figura 37 - Etapas do processo de verificação de regras	161
Figura 38 - Etapa de interpretação de regras	163
Figura 39 - Etapa de preparação de regras	164
Figura 40 - Arquitetura de <i>software</i> do protótipo (BIM CICS <i>Checker</i>)	166
Figura 41 - Classe <i>CICSCheckController</i>	167
Figura 42 - Classes do pacote <i>BIMCICSChecker.Command</i>	168
Figura 43 - Hierarquia de subclasses de <i>InformationAsset</i>	169
Figura 44 - Menu do protótipo com a incorporação do LITE <i>Framework</i>	172
Figura 45 - Tela de configurações do protótipo.....	172
Figura 46 - Tela de verificações do protótipo - classificações de objetos BIM	173
Figura 47 - Tela de verificações do protótipo - classificações do modelo BIM....	174
Figura 48 - Tela de verificações do protótipo - classificação de objetos BIM da categoria de famílias de janelas	175
Figura 49 - Tela de verificações do protótipo - classificação de um tipo de famílias de janelas	176

Figura 50 - Tela de verificações do protótipo - classificação de unidades por função	176
Figura 51 - Tela de relatório de verificações do protótipo	177
Figura 52 - Tela de detalhes do passo gerado a partir do relatório de verificações	178
Figura 53 - Telas de execução do aplicativo <i>LITE Framework Manager</i> no ambiente do <i>software</i> Revit.....	179
Figura 54 - Antiga EEUFMG - Edifício Arthur Guimarães	183
Figura 55 - Alterações propostas para o complexo imobiliário da antiga EEUFMG	185
Figura 56 - Modelagem BIM do projeto de reforma do complexo imobiliário da antiga EEUFMG	187
Figura 57 - Modelo BIM das construções do quarteirão Q26.....	188
Figura 58 - Modelo BIM das construções do quarteirão Q20.....	189
Figura 59 - Etapas e passos do processo de verificação de regras.....	191
Figura 60 - Preparação e execução do processo de verificação de regras	191
Figura 61 - Execução do processo de verificação de regras	192
Figura 62 - Execução do <i>Classification Manager</i> para tratar um modelo BIM	193
Figura 63 - Aplicação da classificação a um objeto BIM.....	194
Figura 64 - Visualização de códigos de classificação atribuídos a um objeto BIM	195
Figura 65 - Modelos BIM do projeto de reforma do complexo imobiliário que abrigava a antiga EEUFMG.....	196
Figura 66 - Tela de configurações do protótipo executado no modelo BIM do Edifício Artur Guimarães	197
Figura 67 - Tela de verificações do protótipo executado no modelo BIM do Edifício Artur Guimarães	198
Figura 68 - Tela de verificações do protótipo executado no modelo BIM do Edifício Artur Guimarães - classificação da categoria de janelas.....	198
Figura 69 - Tela de verificações do protótipo executado no modelo BIM do Edifício Artur Guimarães - classificação de um tipo de família de janelas	199
Figura 70 - Tela de relatório de verificações do protótipo executado no modelo BIM do Edifício Artur Guimarães.....	200

Figura 71 - Tela de salvamento das medições em um passo ao longo do ciclo de vida do modelo BIM do Edifício Artur Guimarães	201
Figura 72 - Execução do protótipo no modelo BIM de edificações do Q20.....	202
Figura 73 - Execução do protótipo no modelo BIM do edifício concebido para abrigar a Biblioteca (antigo Pavilhão Mário Werneck)	203

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dado, informação e conhecimento	29
Quadro 2 - Etapas do processo de verificação de regras	57
Quadro 3 - Princípios orientadores do sistema OmniClass.....	65
Quadro 4 - Tabelas do sistema OmniClass	66
Quadro 5 - Categorias da ISO 12006-2:2015 e tabelas do OmniClass.....	67
Quadro 6 - Tabelas do OmniClass e da ISO 12006-2:2015.....	68
Quadro 7 - Tabelas ISO 12006-2:2015, Uniclass 2015 e OmniClass	71
Quadro 8 - Princípios da especificação funcional do Uniclass 2015.....	72
Quadro 9 - Estrutura de classes inicial do CICS brasileiro.....	76
Quadro 10 - Recursos e resultados para várias etapas do ciclo de vida de uma construção.....	100
Quadro 11 - Princípios de especialização aplicados às classes de objetos.....	101
Quadro 12 - Partes da norma ABNT NBR 15965 e tabelas de classificação.....	102
Quadro 13 - Objetivos da Estratégia BIM BR.....	106
Quadro 14 - Órgãos que compõem o Comitê Gestor da Estratégia BIM BR	107
Quadro 15 - Fases de implementação do BIM no Brasil.....	108
Quadro 16 - Tipos de artefatos (de <i>design</i>)	113
Quadro 17 - Aplicações da DSR	114
Quadro 18 - Métodos para avaliação de artefatos	115
Quadro 19 - Componentes do ciclo elaborado da ADR	116
Quadro 20 - Comparação entre tabelas ABNT NBR 15965 e outros CICS	123
Quadro 21 - Graus de integração e níveis de maturidade no LITE <i>Framework</i> ..	156
Quadro 22 - Semelhanças entre modelagem BIM e engenharia de <i>software</i>	180
Quadro 23 - Modificações propostas para as edificações da antiga EEUFMG...	186

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre sistemas de classificação	62
Tabela 2 - Exemplo de cronograma utilizando a tabela 3R.....	86
Tabela 3 - Resultados da execução do protótipo	204

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira De Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADR	Action Design Research
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AI	Artificial Intelligence
API	Application Programming Interface
AR	Action Research
BCXML	Building and Construction Extensible Mark-Up Language
BDS	Building Description System
BEP	BIM Execution Plan
BIM	Building Information Modeling
BNBIM	Biblioteca Nacional BIM
CAAD	Computer-Aided Architectural Design
CAD	Computer-Aided Design
CAE	Computer-Aided Engineering
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CASE	Computer-Aided Software Engineering
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CEE	Comissão de Estudo Especial
CG	Computação Gráfica
CI	Ciência da Informação
CICS	Construction Information Classification System
CMM	Capability Maturity Model
CMMI	Capability Maturity Model Integration

CMU	Carnegie-Mellon University
COBie	Construction Operation Building Information Exchange
CPIC	Construction Industry Project Information Committee
DLL	Dynamic-Link Library
DoI	Degree of Integration
DS	Design Science
DSR	Design Science Research
DWF	Drawing Web Format
DWG	AutoCAD Drawing File
DXF	Drawing Exchange Format
EDI	Electronic Data Interchange
EEUFMG	Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais
ENH	Normas Europeias Harmonizadas
ETA	Avaliações Técnicas Europeias
FAST	Faceted Analytic-Synthetic Theory
GBXML	Green Building Xtensible Markup Language
GC	Gestão do Conhecimento
GI	Gestão da Informação
GIC	Gestão da Informação e do Conhecimento
GIS	Geographic Information Systems
HTML	Hipertext Markup Language
IA	Inteligência Artificial
IAI	Industry Alliance for Interoperability
ICT	Information and Communication Technology
IDE	Integrated Development Environment
IFC	Industry Foundation Classes
IFD	International Framework for Dictionaries

IL	Intermediate Language
IPD	Integrated Project Delivery
ISO	International Organization for Standardization
KMS	Knowledge Management System
KOS	Knowledge Organization System
KR	Knowledge Representation
LCA	Life Cycle Assesment
LITE	Lifecycle Information Transformation and Exchange
LMS	Learning Management System
LOA	Level of Acuracy
LOI	Level of Information
MDIC	Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MDP	Model Development Specification
MPS	Model Progression Specification
MVC	Model-View-Controller
NBIMS-US	The National BIM Standard-United States
NBR	Norma Técnica Brasileira
NBS	National Building Specification
ND	Nível de detalhe
NIBS	National Institute of Building Sciences
NP	Normas Portuguesas
OO	Orientação/Orientado(a) a Objetos
PAS	Publicly Available Specifications
PIB	Produto Interno Bruto
POO	Programação Orientada a Objetos
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SI	Sistemas de Informação

SIG	Sistemas de Informação Geográfica
STEP	Standard Exchange of Product Model Data
TAD	Tipo Abstrato de Dados
TCF	Teoria da Classificação Facetada
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TRT	Tribunal Regional do Trabalho
UML	Unified Modeling Language
UNSPSC	United Nations Standard Products and Services Code®
XML	Extensible Markup Language

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Problema	19
1.2	Questão de pesquisa	20
1.3	Objetivos	21
1.4	Justificativa	22
1.5	Estrutura da tese	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL	24
2.1	Gestão e organização da informação e do conhecimento	26
2.1.1	<i>Sistemas de classificação da informação</i>	32
2.2	Gestão da informação sobre o ambiente construído	35
2.2.1	<i>Modelagem da Informação da Construção (BIM)</i>	35
2.2.1.2	Interfaces de Programação de Aplicativos (API) em BIM	54
2.2.1.3	Verificação de regras em modelos BIM	55
2.2.1.4	Gestão da informação em BIM	59
2.2.2	<i>Sistemas de classificação da informação da construção (CICS)</i>	60
2.2.2.1	O Sistema OmniClass	64
2.2.2.2	O Sistema Uniclass	69
2.2.2.3	O Sistema brasileiro (ABNT NBR 15965)	76
2.2.3	<i>Gerenciamento do ciclo de vida do ambiente construído</i>	88
2.3	O arcabouço normativo e regulatório brasileiro sobre BIM	97
2.3.1	<i>ISO 12006</i>	99
2.3.2	<i>ABNT NBR 15965</i>	102
2.3.2.1	ABNT NBR 15965-1:2011 - Sistema de classificação da informação da construção - Parte 1: Terminologia e estrutura	103
2.3.2.2	ABNT NBR 15965-2:2012 - Sistema de classificação da informação da construção - Parte 2: Características dos objetos da construção	103
2.3.2.3	ABNT NBR 15 965-3:2014 - Sistema de classificação da informação da construção - Parte 3: Processos da construção	103
2.3.2.4	ABNT NBR 15965-7:2015 - Sistema de classificação da informação da construção - Parte 7: Informação da construção	104
2.3.3 A	<i>Estratégia BIM BR</i>	104
2.3.3.1	Decreto nº 9.377/2018	105
2.3.3.2	Decreto nº 9.983/2019	106
2.3.3.3	Decreto nº 10.306/2020	107
2.3.3.4	A Biblioteca Nacional BIM (BNBIM)	108
3	METODOLOGIA	111
4	DESENVOLVIMENTO	121
4.1	Diagnóstico	121
4.1.1	<i>Análise do CICS brasileiro</i>	122
4.1.2	<i>Seleção da plataforma de software BIM</i>	127
4.1.3	<i>Análise do uso de aplicativos de extensão</i>	131
4.1.4	<i>Avaliação e resultados parciais</i>	137
4.2	Concepção inicial	138
4.2.1	<i>Análise do uso do CICS OmniClass</i>	141

4.2.2	<i>Preparação do ambiente de software</i>	143
4.2.3	<i>Protótipo inicial</i>	150
4.2.4	<i>Avaliação e resultados parciais</i>	152
4.3	Diagnóstico complementar	153
4.3.1	<i>Análise do uso do LITE Framework</i>	154
4.3.2	<i>Avaliação e resultados parciais</i>	158
4.4	Concepção	160
4.4.1	<i>Processo de verificação de regras</i>	161
4.4.1	<i>Protótipo utilizando o LITE Framework</i>	164
4.4.2	<i>Avaliação e resultados parciais</i>	169
4.5	Implementação	171
4.5.1	<i>Desenvolvimento do protótipo</i>	172
4.5.2	<i>Avaliação e resultados parciais</i>	179
4.6	Validação - Estudo de Caso: antiga EEUFMG	181
4.6.1	<i>Contextualização: antiga Escola de Engenharia da UFMG (EEUFMG)</i>	182
4.6.2	<i>Criação de modelos BIM</i>	186
4.6.3	<i>Tratamento dos modelos BIM</i>	190
4.6.4	<i>Execução do protótipo</i>	195
4.6.5	<i>Resultados e avaliação</i>	203
5	DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	206
	REFERÊNCIAS	212
	APÊNDICE A - Protótipo inicial	230
	APÊNDICE B - Implementação do LITE Framework	244

1 INTRODUÇÃO

A demanda por aplicações das tecnologias da informação e comunicação (TIC) tem evoluído exponencialmente nos últimos anos. O aumento da capacidade computacional disponível permite o processamento e o armazenamento de volumes de dados cada vez maiores. Essa crescente geração e transmissão de dados também demanda o uso extensivo de redes de computadores. Destacam-se nesse cenário de grandes volumes de dados e informações, a Ciência da Computação e a Ciência da Informação.

Essas áreas do conhecimento contribuem para a formação de uma base de aplicação das TIC em contextos organizacionais, viabilizando o adequado e eficiente desenvolvimento de Sistemas de Informação. Assim, elas são solicitadas para auxiliar na solução de problemas práticos que envolvem diversas outras áreas e campos do saber.

A Ciência da Informação, que abrange a organização, o tratamento e a recuperação da informação, fornece subsídios para compreender e estudar aspectos relacionados ao fluxo da informação em variados contextos do ambiente organizacional, fundamentando, assim, a construção de Sistemas de Informação. Os Sistemas de Informação são ambientes que proporcionam o processamento de dados e, utilizando recursos de TIC, podem deixar os fluxos de informação e os processos de trabalho cada vez mais digitais e automáticos. Essas áreas e suas subáreas têm sido de fundamental importância para a transformação digital da indústria contemporânea.

A aplicação das TIC a processos de projeto na área da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) destaca-se por permitir a representação da geometria das construções mediante recursos de computação gráfica (CG). Com isso, a utilização de computadores para automatizar processos como a concepção e a elaboração de projetos ou desenhos técnicos na área de AEC provocou uma mudança de paradigma. Os desenhos técnicos, que eram tradicionalmente elaborados manualmente em pranchetas, foram substituídos de forma gradual por representações digitais bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D). Tendo em vista esse cenário, surge a necessidade de se utilizar os recursos computacionais disponíveis para gerar, tratar e recuperar diversos tipos de informação envolvidos na área de AEC, que vão além das relações geométricas entre os componentes construtivos.

A modelagem da informação da construção (Building Information Modeling - BIM) gera modelos que, além de serem representações tridimensionais, podem funcionar como bases de dados para armazenar informações sobre todo o ciclo de vida de uma construção. Esses modelos, chamados de modelos BIM são, portanto, repositórios e fontes de consulta para o gerenciamento de projetos de empreendimentos envolvendo o ambiente construído. Os ativos que compõem um ambiente construído podem ser produtos ou recursos digitais, como projetos de arquitetura e engenharia, desenhos técnicos, planilhas, cronogramas e relatórios, ou físicos, como componentes da construção, seus elementos e diversos outros resultados dos serviços executados na obra. A base para a organização da informação sobre esses ativos é a necessidade de serem representados de maneira única e eficiente em um ambiente digital, mediante a utilização de um sistema de classificação padronizado.

Avaliar a utilização da modelagem BIM para subsidiar a gestão do ambiente construído é o propósito da presente tese. A organização da informação utilizando um sistema de classificação da informação da construção (Construction Information Classification System - CICS) é um dos requisitos para subsidiar a transformação digital da indústria da AEC. O escopo da pesquisa abrange uma investigação sobre o uso dos CICS no contexto da modelagem BIM e o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de informação voltado para avaliar modelos BIM com relação a esse uso. O estudo realizado envolve uma análise dos CICS existentes, considerando sua adequação ao uso da modelagem BIM. Destacam-se, nesse contexto, os CICS aderentes ao modelo especificado pela organização internacional de padronização (International Organization for Standardization - ISO), norma técnica internacional 12006-2 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015), como o OmniClass, o Uniclass e o sistema brasileiro, definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Norma Técnica Brasileira (NBR) 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Um protótipo computacional foi concebido e implementado para avaliar o uso de um CICS realizando a verificação de regras em modelos BIM, observando-se também os demais instrumentos regulatórios pertinentes. O protótipo foi desenvolvido de forma evolutiva como um aplicativo de extensão (*add-in*) para uma plataforma de *software* BIM. A criação de artefatos seguiu as prescrições da pesquisa em ciência do projeto (Design Science Research - DSR), e a abordagem Action Design Research

(ADR) foi utilizada. A adoção dessa abordagem metodológica fez com que o desenvolvimento seguisse um ciclo evolutivo e trouxe rigor científico ao processo de construção dos artefatos envolvidos na pesquisa. Um estudo de caso foi utilizado para avaliar a formulação desenvolvida e trouxe relevância prática à pesquisa aplicada.

O estudo de caso consistiu na aplicação do protótipo implementado sobre modelos BIM que representam edificações que fazem parte do complexo imobiliário da antiga Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EEUFMG). Os resultados obtidos com os testes de execução do protótipo trouxeram subsídios para a geração de indicadores de qualidade da informação modelada com o uso da metodologia BIM e de um CICS. Esses indicadores, bem como outras informações que possam ser recuperadas e armazenada em modelos BIM podem ser utilizados na elaboração de um sistema de informação aplicado à gestão do ambiente construído. Uma visão mais abrangente, considerando os possíveis usuários da informação, suas fontes e outros aspectos da gestão da informação e do conhecimento (GIC) envolvidos na metodologia de modelagem BIM, permite utilizar o grande volume de dados e informação que permeia o ciclo de vida do ambiente construído para conceber um sistema de organização do conhecimento (Knowledge Organization System - KOS) sobre o ambiente construído.

1.1 Problema

O uso de sistemas computacionais para auxiliar a elaboração de projeto ou desenho assistido por computador (Computer-Aided Design - CAD) é uma prática consolidada mundialmente na área de AEC. Entretanto, as atuais ferramentas de TIC permitem que os processos de projeto façam mais do que o simples uso de computadores para a geração de componentes gráficos como desenhos técnicos de arquitetura e engenharia. Os processos que utilizam a modelagem BIM podem incorporar em seus resultados várias informações, e não apenas uma representação realista das formas geométricas utilizando como base a tecnologia CAD. Assim, a elaboração de projetos pode ser aperfeiçoada por meio da incorporação de diversos recursos informacionais ao processo de modelagem BIM, como especificações técnicas dos componentes do ambiente construído, detalhamento das relações entre esses componentes e outros documentos gerados ou utilizados para o acompanhamento do processo construtivo. Nesse processo, as representações

gráficas dos componentes construtivos dos projetos ou modelos digitais, ou objetos BIM, podem ser modeladas visualmente, mas também de uma forma paramétrica.

Os modelos BIM representam os componentes e elementos dos sistemas construtivos, que evoluem dinamicamente e interoperam com outros repositórios e sistemas de informação. É possível identificar fontes de informação externas e internas aos processos de elaboração de projetos e de execução de obras na área de AEC. A modelagem BIM funciona, então, como uma base para a representação digital de dados e informações sobre todo o ciclo de vida do ambiente construído. Dessa forma, o adequado uso da modelagem BIM traz bastante complexidade e robustez à elaboração de projetos de arquitetura e engenharia e ao gerenciamento dos processos construtivos. Assim, um potencial problema que se coloca nesse cenário é a necessidade de maior eficiência na utilização da tecnologia disponível para proporcionar a inclusão, o tratamento e a recuperação de dados e informações nos modelos digitais gerados nos processos de modelagem BIM.

1.2 Questão de pesquisa

O uso das tradicionais tecnologias CAD está limitado à geração de desenhos e entidades gráficas baseada em geometria bidimensional (2D) ou tridimensional (3D). Na modelagem BIM, a representação dos componentes e elementos de uma construção compõe intrinsecamente um modelo 3D, que é constituído por instâncias, ou objetos BIM. Esses objetos, entretanto, não são apenas simples representações geométricas. Eles são modelos de informação dos componentes construtivos, como paredes, vigas, colunas, peças e instalações hidráulicas e elétricas, equipamentos, mobiliário, entre outros. O uso de objetos BIM permite a organização da informação, pois cada objeto contém um conjunto de características e comportamento próprios. Assim, com a modelagem BIM tem-se um melhor aproveitamento dos recursos informacionais e de TIC, o que pode beneficiar a gestão do ciclo de vida do ambiente construído, desde a concepção e elaboração dos projetos, passando pelo acompanhamento da execução da obra e indo até eventuais manutenções, demolições ou reutilizações. Tendo em vista esse cenário, a questão de pesquisa é:

Como o uso da modelagem da informação da construção (BIM) pode trazer melhorias para qualidade da informação, da gestão e da organização da informação e do conhecimento sobre o ambiente construído?

1.3 Objetivos

O objetivo geral da pesquisa é propor e avaliar uma ferramenta para verificar a aderência do uso da modelagem da informação da construção (BIM) ao arcabouço normativo e regulatório brasileiro sobre esse tema, dando subsídios para melhorar qualidade da informação, a gestão e a organização da informação e do conhecimento sobre o ambiente construído.

Os objetivos específicos são:

- a) Analisar o uso da modelagem BIM com relação ao arcabouço normativo e regulatório vigente, tendo em vista as normas brasileiras e demais legislações e regulamentações que se aplicam a esse processo;
- b) Avaliar o uso dos CICS, em especial o sistema brasileiro, definido pela ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), considerando suas características, propriedades e definições relativas aos componentes do ambiente construído, bem como seus elementos, resultados da construção e demais entidades e aspectos que possam ser classificados;
- c) Criar subsídios para a geração de indicadores de qualidade da informação a partir da verificação da conformidade de modelos BIM com relação ao uso de um CICS, tendo em vista o arcabouço normativo e regulatório brasileiro vigente;
- d) Elaborar estudo de caso sobre o complexo imobiliário da antiga EEUFMG utilizando a formulação proposta para verificar a conformidade de modelos BIM com relação ao uso do CICS brasileiro;
- e) Validar a formulação proposta considerando os procedimentos metodológicos adotados e os artefatos desenvolvidos.

1.4 Justificativa

A pesquisa traz uma fundamentação teórico-conceitual, feita mediante revisão da literatura e estudo e do arcabouço normativo e regulatório brasileiro sobre o uso da modelagem BIM, que inclui a legislação, a normalização e a regulamentação existente sobre esse processo. Destacam-se, como parte do arcabouço normativo, a tradução da norma técnica internacional 12006-2 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015), que define uma estrutura padrão para um CICS, e a norma técnica brasileira ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), que estabelece um CICS voltado para a utilização no contexto da modelagem BIM no Brasil. Também se destaca a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modeling (BIM), ou Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018 (BRASIL, 2018) e atualizada pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019 (BRASIL, 2019). Essa estratégia tem como finalidade promover e difundir o uso da modelagem BIM e traz algumas diretrizes para a implantação dessa metodologia nacionalmente. Além de proporcionar a disseminação do uso da modelagem BIM no Brasil, difundir seus benefícios e, para isso, propor atos normativos e estabelecer parâmetros para compras e contratações públicas com uso dessa metodologia, faz parte dos objetivos dessa estratégia o desenvolvimento de uma plataforma digital e de uma biblioteca digital nacional voltada para fomentar o uso da modelagem BIM. Um marco inicial para a adoção da modelagem BIM oficialmente no Brasil foi dado com o Decreto nº 10.306, de 02 de abril de 2020 (BRASIL, 2020), que promove gradualmente a utilização do BIM em obras públicas e serviços de engenharia realizados por órgãos e entidades da administração pública no Brasil. Nota-se, dessa forma, a importância de estudos envolvendo a modelagem BIM no contexto brasileiro, e, com isso, destaca-se a relevância prática da pesquisa realizada.

Tendo em vista esse cenário, os estudos realizados na pesquisa foram de fundamental importância para compreender o arcabouço normativo e regulatório vigente, que abrange as normas e demais legislações e regulamentações que se aplicam a ao processo de modelagem BIM. Os procedimentos de pesquisa levaram ao desenvolvimento de um protótipo que permite uma verificação automática de regras em modelos BIM. As regras verificadas pelo protótipo são relativas ao uso de um CICS como o brasileiro, definido pela norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO

BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Assim, um estudo e uma análise aprofundada dos CICS foi essencial para o desenvolvimento do protótipo. Os resultados da execução desse protótipo mostraram que a partir da formulação proposta é possível medir aspectos de qualidade da informação armazenada nos modelos BIM. A formulação pode auxiliar, assim, a geração de indicadores de qualidade da informação utilizada nos processos de modelagem BIM, o que permite subsidiar e aprimorar a gestão do ambiente construído mediante o uso dessa metodologia o que está alinhado com a Estratégia BIM BR.

Outro aspecto que se destaca nos desenvolvimentos realizados na pesquisa é que o uso da formulação proposta pode ajudar a compreender como a modelagem BIM pode otimizar o uso dos recursos da construção, evitando a geração desnecessária de informação ou a sua falta. Além disso, as medidas de qualidade da informação podem ser utilizadas para auxiliar outros contextos ou aspectos organizacionais relacionados ao setor de AEC, como os processos de tomada de decisão envolvendo o ambiente construído e os empreendimentos imobiliários.

1.5 Estrutura da tese

Para melhor compreensão do presente estudo, esta tese está organizada em 5 capítulos. No Capítulo 1 apresentam-se a introdução ao tema, os objetivos e a justificativa pela escolha do tema.

No Capítulo 2 apresenta-se a fundamentação teórico-conceitual.

No Capítulo 3 são apresentados e detalhados aspectos que levaram à metodologia adotada, bem como os procedimentos metodológicos utilizados.

No Capítulo 4 são desenvolvidos os procedimentos metodológicos, incluindo as análises realizadas, a concepção da solução proposta, que foi implementada computacionalmente como um protótipo. Também neste capítulo é apresentado o estudo de caso realizado, que consistiu na aplicação e validação da formulação e dos artefatos construídos.

No Capítulo 5 são feitas discussões e as considerações finais.

Em seguida estão as referências utilizadas e no final encontram-se apêndices com detalhamentos de alguns desenvolvimentos realizados, como a implementação computacional da primeira versão do protótipo e do LITE *Framework*.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-CONCEITUAL

As referências utilizadas vieram de estudos realizados pelo autor e foram pesquisadas em bases de publicações científicas resultando nesta fundamentação teórico-conceitual.

Com relação aos termos BIM e CICS, foi feita inicialmente uma busca no portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por ambos, juntos. De forma a suplementar a busca, foi pesquisado o equivalente ao termo BIM em suas escritas por extenso tanto em português: *Modelagem da Informação da Construção* quanto nas versões em inglês, seja a adotada nos Estados Unidos e no Canadá: *Building Information Modeling* ou a utilizada no Reino Unido: *Building Information Modelling*. Para o termo CICS, foram pesquisados como termos equivalentes suas escritas por extenso, tanto em português: *Sistemas de Classificação da Informação da Construção* quanto em inglês: *Construction Information Classification Systems*.

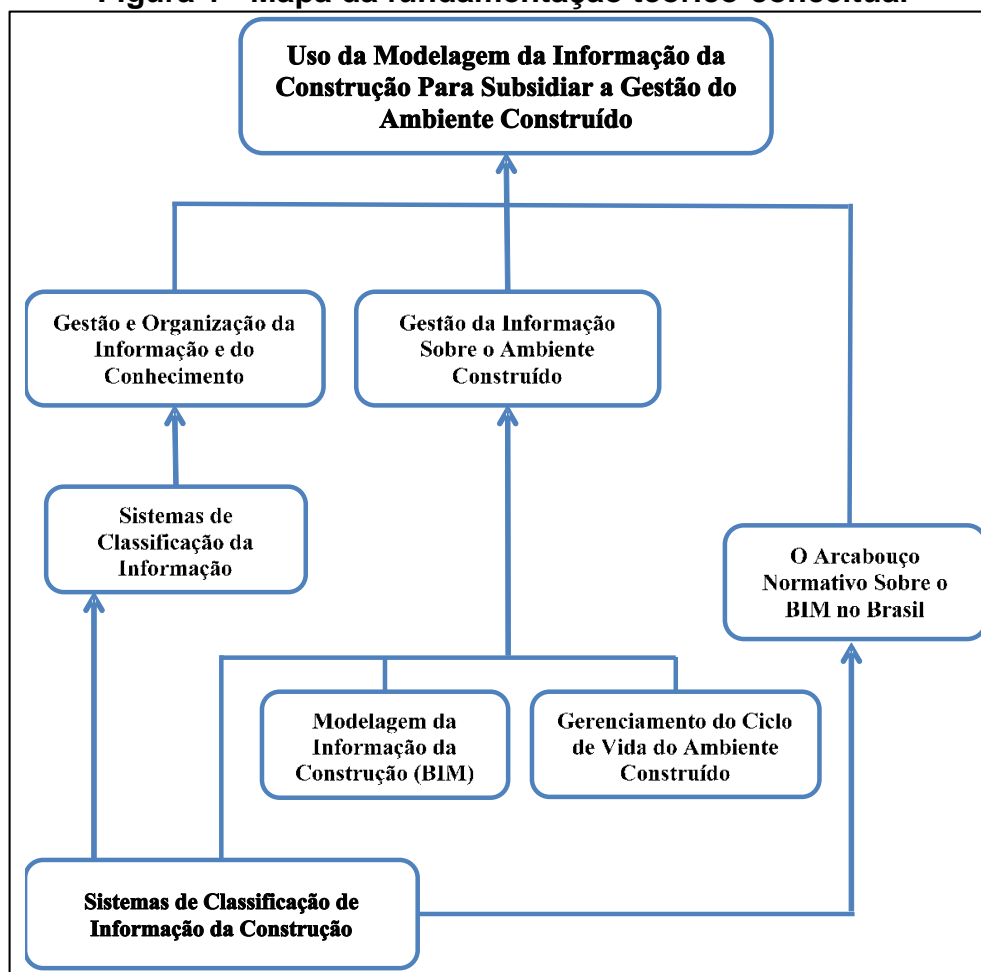
Após a execução das buscas, foram removidos os trabalhos identificados em duplicidade, bem como os que não tinham nenhuma relação com os temas pesquisados. Entre os trabalhos resultantes em que aparecem esses dois termos simultaneamente (ou alguma de suas equivalentes descrições por extenso), foram selecionados os mais relevantes, a partir de uma análise do título, do resumo e do conteúdo. As descrições dos termos equivalentes foram simplificadas para recuperar trabalhos relevantes, mas que não utilizam a nomenclatura exatamente igual à que foi pesquisada. Por exemplo, a *string* de busca *Building Information Modeling AND Construction Information Classification Systems* não retornou nenhum resultado, mas a busca por *Building Information Modeling AND Construction Classification Systems* retornou quatro resultados, entre os quais dois deles foram diretamente considerados relevantes para a presente consulta (AL-KASASBEH; ABUDAYYEH; LIU, 2020; ZANCHETTA *et al.*, 2017) e um deles (MIGILINSKAS; GALDIKAS; ŠARKA, 2013), apesar de não abordar o tema de sistemas de classificação da informação do ambiente construído diretamente, tinha entre suas citações outro trabalho (LOU; GOULDING, 2008), que foi considerado relevante e adicionado como referência na presente pesquisa.

Os trabalhos relevantes encontrados nas buscas foram selecionados e adicionados às referências utilizadas na pesquisa. Buscou-se abranger o estado da arte sobre o uso dos CICS aplicados à modelagem BIM. Os termos CICS e BIM também foram pesquisados isoladamente. Ressalte-se que os resultados da busca pelo termo CICS foram criteriosamente selecionados, pois muitos deles não faziam referências a essa sigla no contexto do ambiente construído ou dos processos construtivos, bem como do uso da metodologia BIM, da tecnologia CAD ou de outros assuntos relacionados com os objetivos da pesquisa. A busca pelo termo BIM retornou 39.737 resultados e a busca por *Building Information Modeling* resultou em 5.213 trabalhos, o que deixou o processo de seleção e triagem de referências relevantes para o levantamento da revisão da literatura sobre o tema bastante complexo. Com isso, para a caracterização do termo BIM, assim como de outros assuntos a ele relacionados, foram selecionadas algumas publicações resultantes de pesquisa no portal da CAPES consideradas relevantes, mas também foram referenciados trabalhos obtidos a partir de outras fontes mediante citações em outros trabalhos previamente selecionados.

As referências utilizadas abrangem artigos científicos, trabalhos acadêmicos, relatórios técnicos, entre outros, e abordam temas como o uso das TIC, em especial as tecnologias de computação gráfica aplicadas ao ambiente construído, padrões de troca e manipulação de dados e informações, e o desenvolvimento de *software* e sistemas de informação, buscando aplicações relevantes para o ambiente construído. Nesse contexto, trabalhos como os de Baracho (2007, 2016), Björk e Laakso (2010), Eastman *et al.* (2005, 2009, 2011, 2014), Jacoski (2003, 2008), Succar (2009, 2010, 2020), Succar e Kassem (2015), Succar, Sher e Williams (2012) e Tammik (2020) são referenciados ao longo do detalhamento dos assuntos abordados nas próximas seções, que exploram a aplicação de processos de TIC e de Gestão da Informação e do Conhecimento (GIC) à indústria da construção e ao gerenciamento do ciclo de vida do ambiente construído.

A Figura 1 apresenta a fundamentação teórico-conceitual formada por três pilares: gestão e organização da informação e do conhecimento, gestão da informação sobre o ambiente construído e o arcabouço normativo e regulatório sobre a metodologia de modelagem BIM no Brasil com foco nos sistemas de classificação de informação da construção (CICS).

Figura 1 - Mapa da fundamentação teórico-conceitual



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1 Gestão e organização da informação e do conhecimento

Com o crescente desenvolvimento das TICs, é imprescindível a gestão adequada dos fluxos de informação nas organizações. Nesse contexto, “o imperativo tecnológico determina a Ciência da Informação (CI), como ocorre também em outros campos” (SARACEVIC, 1996). Além de a CI estar inexoravelmente ligada à tecnologia da informação, conforme Saracevic (1996), a aplicação de conhecimentos desse campo, como a GIC, tem se tornado cada vez mais um importante componente na elaboração de estratégias organizacionais. Considerando esse papel transformador e tecnológico, esta subseção apresenta um levantamento da literatura sobre a aplicação de conceitos da Ciência da Informação no contexto organizacional, tendo em vista sua posterior vinculação ao problema e à questão de pesquisa investigados, que envolvem o gerenciamento de informações e o uso de tecnologias da informação e comunicação por organizações que lidam com o ambiente construído.

Barbosa (2008) apresenta e discute os conceitos de informação e conhecimento no contexto empresarial ou organizacional, assim como as similaridades e diferenças entre a Gestão da Informação (GI) e a Gestão do Conhecimento (GC), passando pela origem e evolução dessas disciplinas. Nesse trabalho, o autor discute o papel das TIC e de outras disciplinas nos processos de GIC, mostrando a necessidade de distinguir os termos conceituais relacionados à GIC e às TIC, bem como de estabelecer seus relacionamentos. A GI e a GC são comparadas, e destaca-se que a GI tem foco na informação ou o conhecimento registrado enquanto a GC destaca o conhecimento pessoal. Outro aspecto relevante é o impacto da cultura organizacional sobre os Sistemas de Informação (SI), o que evidencia as distinções entre cultura informática e cultura informacional, sendo a primeira mais tecnológica e a segunda mais pessoal. Assim, a cultura organizacional exerce maiores impactos sobre a GC do que sobre a GI. Segundo o autor, nesse contexto torna-se bastante relevante a utilidade da informação, uma vez que as TIC têm potencializado a produção e a disseminação de informações. Considerando a existência de um aumento substancial da demanda por informação nas organizações, Barbosa (2008) apresenta ainda uma discussão sobre os resultados dos investimentos em TIC feitas nelas.

A compreensão do processo de geração e transmissão do conhecimento nas organizações pode ser feito por meio da definição de Espiral do Conhecimento, proposta por Nonaka e Takeuchi (1997). Fazem parte dessa Espiral do Conhecimento as seguintes etapas: socialização, externalização, combinação e internalização. A socialização é a transformação de conhecimento tácito em novo conhecimento tácito. Um exemplo disso é quando ocorre a conversão de parte do conhecimento tácito no conhecimento tácito de terceiros, por meio de diálogos, interações presenciais ou reuniões “face a face” (MACHADO; LIMA; FRANCISCO, 2005). A externalização é a transformação do conhecimento tácito em explícito. Quando alguém gera um documento formal em uma organização, ou certos tipos de registros em um sistema de informação, por exemplo, há uma conversão de parte do conhecimento tácito individual em conhecimento explícito. A combinação é a transformação de conhecimento explícito existente em novo conhecimento explícito. Esse processo consiste, por exemplo, na agregação de partes de conhecimento explícito já existente em uma organização para a geração de novos registros de conhecimento explícito da organização. A internalização é a transformação de conhecimento explícito existente

em conhecimento tácito. Por exemplo, quanto um indivíduo estuda um manual técnico ele converte partes do conhecimento explícito da organização em conhecimento tácito individual. A Espiral do Conhecimento é então composta por ciclos sucessivos ao longo do tempo, envolvendo a socialização, a externalização, a combinação e a internalização em termos individuais e organizacionais.

Conforme abordagem de Takeuchi e Nonaka (2008), o conhecimento é algo que pode ser gerenciado em nível individual e nos ambientes de compartilhamento de dados e informações, ou seja, em organizações. A GIC pode ser vista, então, como um conjunto de medidas gerenciais compostos por atividades que se aplicam diretamente aos processos organizacionais, agregando valor à cadeia produtiva de maneira dinâmica. As ações adotadas internamente nas organizações com vistas a alcançar vantagens competitivas são as estratégias organizacionais. Vale lembrar que, para se relacionar adequadamente com as estratégias, as ações e atividades que compõem a GIC devem estar alinhadas aos objetivos estratégicos.

Segundo Davenport (1998), o processo de gestão da informação é um conjunto estruturado de atividades que incluem o modo como as empresas ou organizações determinam as exigências e realizam a obtenção a distribuição e a utilização da informação e do conhecimento. Ao descrever o processo de GI, o autor ressalta que somente informações pertinentes a cada setor são divulgadas localmente. Vale ressaltar que essa filtragem na divulgação da informação é necessária ao funcionamento normal das atividades da organização, dando suporte aos seus colaboradores nos processos decisórios. O autor reconhece a dificuldade da definição do termo “informação”. Quando comparada com as definições de “dados” e de “conhecimento”, a compreensão fica ainda mais imprecisa. As diferentes conotações para os termos dado, informação e conhecimento também são discutidos por diversos outros autores, como Demurjian (2008), que aborda ainda o conceito de engenharia em uma descrição do método conhecido como engenharia da informação. O processo “dados-informação-conhecimento”, em uma proposta mais abrangente é apresentado por Davenport (1998).

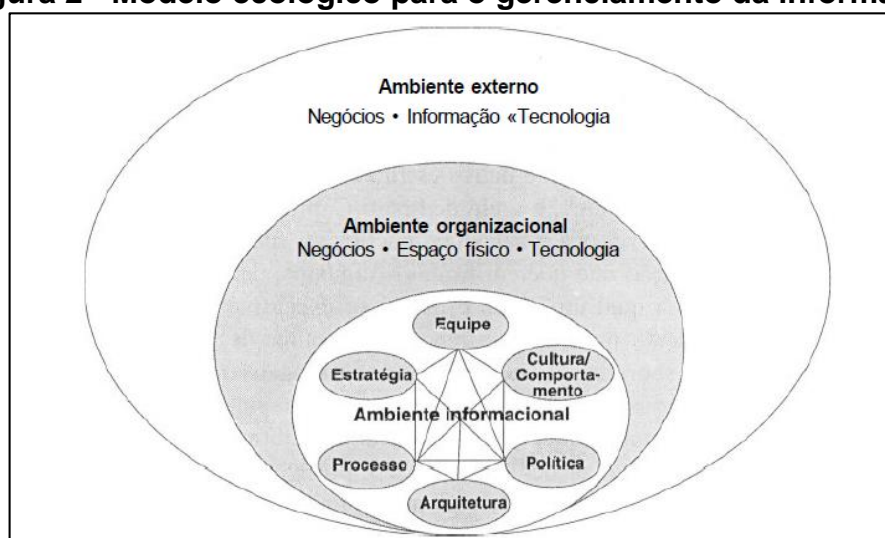
As definições de Davenport (1998) para dado, informação e conhecimento são apresentadas no Quadro 1, conforme adaptação de Alvarenga Neto (2005).

Quadro 1 - Dado, informação e conhecimento

Dado	Informação	Conhecimento
Simples observações sobre o estado do mundo:	Dados dotados de relevância e propósito:	Informação valiosa da mente humana:
Facilmente estruturado, obtido por máquina e transferível; Frequentemente quantificado.	Requer unidade de análise; Exige consenso em relação ao significado e, necessariamente, a mediação humana.	Inclui reflexão, síntese, contexto; De difícil estruturação, captura em máquinas e transferência; Frequentemente tácito.

Fonte: Adaptado de Alvarenga Neto (2005) e Davenport (1998).

O modelo holístico da Ecologia da Informação apresentado por Davenport (1998) é composto por três ambientes: o ambiente informacional, o ambiente organizacional e o ambiente externo, conforme apresentado na Figura 2. A ideia do termo ecologia está ligada à administração holística da informação. Dessa forma, uma administração ou gestão da informação mais abrangente é feita quando se considera a ecologia da informação, o que envolve mais aspectos do que a simples aplicação de tecnologia a problemas informacionais e pelo uso de métodos de máquina, ou de engenharia, para dar utilidade aos dados. A noção de ecologia traz também aspectos comportamentais e humanos ao tratamento da informação, como estratégia, política e interação com o fluxo de trabalho e seus processos com vistas a produzir ambientes informacionais melhores.

Figura 2 - Modelo ecológico para o gerenciamento da informação

Fonte: Davenport (1998).

Como ilustrado no círculo mais interno da Figura 2, o ambiente informacional pode ser decomposto em seis fatores, quais sejam: a estratégia da informação; a política da informação; a cultura e o comportamento em relação à informação; a equipe da informação (*staff*); o processo de administração informacional; e a arquitetura da informação. Davenport (1998) também destaca a importância do que chama de “modelo de valor agregado” da informação, composto pelos seguintes atributos informacionais: verdade, orientação, escassez, acessibilidade e peso. A verdade ou veracidade da informação representa o nível de confiança do usuário na informação. A orientação da informação se refere à direção apontada pela informação para o caminho das ações que precisam ser realizadas pela organização. A escassez da informação é a medida de sua atualidade e do quanto ela não está também disponível aos concorrentes. A acessibilidade se relaciona com a disponibilidade da informação, na medida em que os usuários possam utilizá-la e compreendê-la. O peso da informação se refere ao engajamento da informação, ou seja, uma medida dos traços que dão consistência à informação, tornando-a mais convincente e com maior probabilidade de uso.

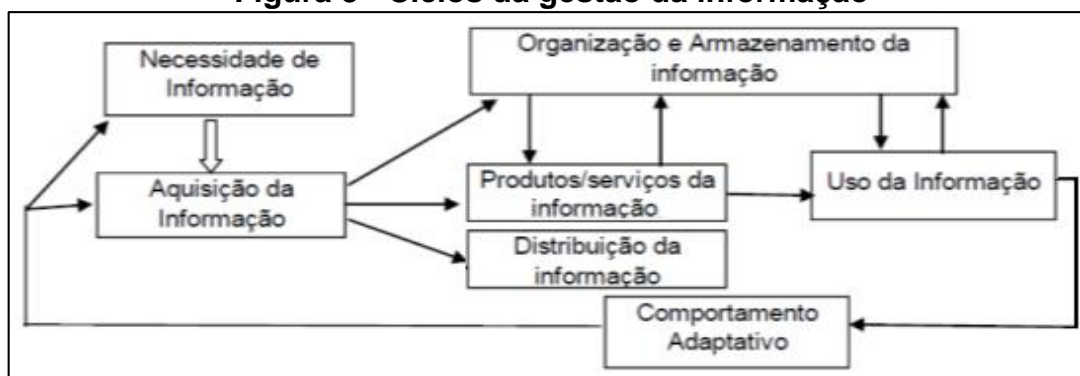
Choo (2003) apresenta um modelo para o processo de GIC com base na proposta de Davenport (1998), contendo o conceito de “organizações do conhecimento”, que são as que usam a informação estrategicamente. Essas organizações atuam em três vertentes distintas: a construção de sentido, a criação de conhecimento e a tomada de decisão. Conforme o autor, essas três vertentes estão também imbricadas. Uma melhor compreensão do conceito de construção do sentido pode ser feita mediante a sua estruturação em três etapas, quais sejam a identificação ou levantamento das necessidades de informação, a busca de informação e o uso da informação, conforme apresentado por Alvarenga Neto (2005).

Segundo Alvarenga Neto, Barbosa e Cendon (2006), no modelo proposto por Choo (1998), a criação de conhecimento nas organizações do conhecimento é proporcionada pela aprendizagem organizacional, e a tomada de decisão é constrangida pelo princípio da racionalidade limitada, conforme a visão de March e Simon (1975). Tendo em vista a aplicação da teoria da racionalidade limitada aos processos de GIC, Alvarenga Neto, Barbosa e Cendon (2006) comentam que várias decorrências podem ser enumeradas da teoria das decisões, exemplificando que algumas limitações, como as decorrentes dos processos de refinamento da busca de alternativas e da incompleta capacidade de processamento de informações, podem

levar a tomada de decisões não otimizadas. Assim, no contexto da GIC, nota-se que a teoria da racionalidade limitada remete à incerteza associada ao processo de tomada de decisão quando do uso da informação. Steingraber e Fernandez (2013), apesar de derem enfoque aos desdobramentos voltados para a área da Economia, exploram em mais detalhes a formação da teoria da racionalidade limitada de Simon (1957).

As etapas do processo de GI, também chamado de ciclo da gestão da informação por Choo (1998), são a identificação das necessidades de informação, a aquisição da informação, a organização e o armazenamento da informação, o desenvolvimento de produtos e serviços de informação, a distribuição da informação e o uso da informação. Alguns autores destacam a importância de uma análise do processo de GI considerando essas etapas (DUARTE; SILVA; COSTA, 2007; VIEIRA, 2014). A Figura 3 mostra as etapas do ciclo de gestão da informação proposto por Choo (1998, 2003), com destaque para o comportamento adaptativo como possibilidade de reinício (VIEIRA, 2014).

Figura 3 - Ciclos da gestão da informação



Fonte: Adaptado de Vieira (2014) e Choo (2003).

No contexto organizacional, os processos de negócio, ou de trabalho, se relacionam com os elementos da GIC. Uma compilação de trabalhos que se relacionam à GI, à inovação e à inteligência competitiva é apresentada por Plachta (2012). Nesse trabalho é destacado o papel das TIC para criar e mapear fluxos informacionais, gerenciar repositórios e a utilizar sistemas de informação com vistas à integração de processos de trabalho de uma organização.

Baracho (2016) apresenta um suporte ao termo arquitetura da informação no contexto da ciência da informação, que tem como questão central a forma de obtenção de informações de forma mais objetiva e em menos tempo. O trabalho aponta para

uma solução que valida a necessidade de utilização da arquitetura da informação em um contexto de inovação, com foco nas necessidades do usuário.

Os sistemas de classificação da informação, e suas bases conceituais relacionadas com a gestão da informação e do conhecimento, no contexto da Ciência da Informação, são discutidos na subseção seguinte, incluindo suas relações com os sistemas de informação e com os sistemas de organização do conhecimento (KOS).

2.1.1 *Sistemas de classificação da informação*

O processo de classificação é clássico e vem sendo discutido há bastante tempo. Em 1933, por exemplo, surge a Teoria da Classificação Facetada (TCF), também chamada de Classificação em Facetas de Ranganathan, de Classificação de Dois Pontos (*Colon Classification*) ou de Teoria da Classificação Analítico-Sintética (Faceted Analytic-Synthetic Theory - FAST) (DA SILVA, 2011, 2018).

Da Silva (2011) estudou o sistema facetado desde a década de 1960 e considera que ele carece de uma nomeação explícita das relações entre termos. Esse tema, que é uma constante na organização do conhecimento, pode ser encontrado em tesouros e ontologias. Apesar do objetivo de caracterizar os sistemas de classificação no contexto da Web, vale destacar o seguinte trecho de Vickery (2008), em que as diferenças entre um termo em que seria apropriada a utilização da classificação facetada e outro que poderia utilizar apenas uma classificação hierárquica é citado:

Como podemos distinguir entre a operação “pré-fabricação de uma construção” e a entidade “construção pré-fabricada”? Em um catálogo classificado, esses [termos] podem ser distintos de forma notacional. Por exemplo, o primeiro tópico pode ser expresso ligando as duas facetas: “construção” e “pré-fabricação”, e o segundo tópico (adjetivado), como uma “construção (pré-fabricada)”. Na Web, com facetas independentes, isso não pode ser feito. Provavelmente, é melhor tratar “construção pré-fabricada” como uma subclasse na faceta de “construção”. (VICKERY, 2008, p. 153, tradução nossa).¹

¹ How do we distinguish between the operation “building prefabrication” and the entity “prefabricated building”? In a classified catalogue these might be distinguished notationally. For example the first topic could be expressed by linking the two facets as “building-prefabrication”, and the second (adjectival) topic as “building (prefabricated)”. On the Web, with independent facets, this cannot be done. It is probably best to treat “prefabricated building” as a subclass in the buildings facet.

Tomando como exemplo o termo apresentado em Vickery (2008), uma “construção pré-fabricada” no sentido de uma “pré-fabricação” como um insumo para o processo de “construção” (*building prefabrication*) poderia ser desmembrada em dois aspectos distintos, a construção e a pré-fabricação, o que levaria sua classificação a usar duas facetas. Já o termo “construção pré-fabricada” no sentido de uma “edificação pré-fabricada” (*prefabricated building*) deveria ser classificado como uma “construção”, especializada pelo adjetivo “pré-fabricada”, em uma estrutura hierárquica.

Uma revisão do significado do termo Ontologia com o objetivo de fornecer um esclarecimento sobre ele na Ciência da Informação, fazendo uma análise comparativa dos diferentes significados desse conceito na Filosofia na Ciência da Computação é apresentada por Almeida (2013, 2014). O autor comenta que em seu campo original, a Filosofia, a ontologia pode ser considerada um ramo da metafísica que estuda a existência de categorias de entidades e seus relacionamentos, conforme Lowe (2007). Esse termo pode ter dois usos na Ciência da Computação, conforme exemplificado pelo autor.

O primeiro uso se refere à modelagem de artefatos computacionais, como modelos de banco de dados ou sistemas de representação de conhecimento (Knowledge Representation - KR). Esses modelos devem ser desenvolvidos de acordo com algumas diretrizes de implementação, como os processos de engenharia de *software*. Vale ressaltar que a engenharia de *software* é similar à civil, mas empregada na construção de um *software* ou sistema de informação, conforme detalhado por Pressman (2005) e Paula Filho (2009). Nesse contexto, processos ontológicos e de classificação podem ser utilizados para gerar os artefatos digitais que permitem a construção de um sistema de *software*, como abordado mais adiante neste trabalho.

O segundo uso, que se refere a um tipo de teoria que explica fenômenos mediante o uso de fatos e regras, mantém a noção originária de Ontologia, vinda da Filosofia, em que ela representa uma disciplina cujos princípios orientam a criação de um inventário das coisas do mundo e das relações entre eles em um domínio particular. Este último sentido de ontologia poderia então, conforme o autor, ajudar a conectar vários campos, em uma perspectiva interdisciplinar. Também ressalta a semelhança, ou o paralelismo, entre projetos de engenharia de *software* envolvendo ontologias e teorias da Ciência da Informação, como classificação facetada,

vocabulários controlados e lexicografia, também conforme Vickery (2008). Almeida (2013, 2014) reitera ainda que isso poderia levar alguns autores, como Soergel (1999), a afirmarem que o termo ontologia seria um novo nome para as coisas já estudadas ou conhecidas.

Soergel (1999) menciona que a classificação tem sido usada há muito tempo em bibliotecas e sistemas de informação para fornecer orientação aos usuários e esclarecer sua necessidade de informação, bem como estruturar os resultados de pesquisas. O autor fornece uma explicação detalhada sobre o termo ontologia, apresentando um resumo dos efeitos de suas muitas funções, bem como de outros termos relacionados, como classificação, tesauros e dicionário. Como ressaltado por ele, as classificações evoluíram com pouca comunicação e compartilhamento de aprendizado, pois surgiram em distintas comunidades de pesquisa e da prática, como comunidades de linguística, Inteligência Artificial (IA) e engenharia de *software*. O resultado dessa multiplicidade de funções é que as classificações foram desenvolvidas de forma fragmentada, e esse seria o motivo de as classificações muitas vezes serem chamadas de ontologias.

Tendo em vista a necessidade da organização do conhecimento de maneira diversa e abrangente, em sistemas de organização do conhecimento (KOS), Soergel (2015) apresenta uma forma abrangente e consistente para a estruturação e a representação dos dados reais ou do próprio conhecimento, e não dos metadados. Vale ressaltar que metadados se referem a dados que remetem ou descrevem aspectos do conteúdo ou dado principal. O autor discute a aplicação da organização do conhecimento em bases de conhecimento para responder a perguntas e compreender aspectos como sistemas cognitivos e o uso de recursos de TIC para extração de informação, análise de dados (*data analytics*), criação de sistemas de informação nas organizações, entre outros.

A compreensão dos sistemas de classificação foi fundamental, pois o processo proposto e o experimento realizado na presente pesquisa tiveram como base a primeira norma brasileira sobre a modelagem BIM, a ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Vale ressaltar que ela contém a especificação de um sistema de sistema de classificação da informação da construção (CICS) aderente à norma internacional ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015). Mais detalhes sobre a modelagem BIM e do uso dos CICS são apresentados a seguir.

2.2 Gestão da informação sobre o ambiente construído

Na AEC, atores como projetistas, construtoras, fornecedores, prestadores de serviços ou qualquer outro participante da cadeia produtiva da construção têm um alinhamento estratégico relacionado com a gestão eficiente do processo construtivo, e, conseqüentemente, do ambiente construído. A constante demanda pela utilização dos espaços físicos e a restrita disponibilidade de recursos para investimento em construção e manutenção de edificações, também faz com que os proprietários ou mesmo locatários de imóveis se preocupem com a gestão dos ativos que compõem o ambiente construído. Assim, nota-se a relevância da gestão do ambiente construído em contextos organizacionais.

O estudo sobre os processos de gestão e a organização da informação e do conhecimento (GIC), explorados na subseção anterior, abrangendo a organização e o tratamento da informação, os fluxos e os processos informacionais formam a base teórica para a presente pesquisa, que também lida com a gestão da informação sobre o ambiente construído. A seguir são abordados os subtópicos modelagem da informação da construção (BIM), sistemas de CICS e gerenciamento do ciclo de vida do ambiente construído.

2.2.1 Modelagem da Informação da Construção (BIM)

Nesta subseção é apresentada a modelagem da informação da construção (BIM), bem como algumas de suas aplicações, que envolvem processos de organização, tratamento e recuperação da informação para a indústria de AEC. Além de processos associados com a GI, essa área envolve o uso extensivo de recursos de TIC, como a computação gráfica e diversas ferramentas de *software*. Assim, o uso da metodologia de modelagem BIM e tecnologias correlatas busca facilitar o intercâmbio de informação entre as diferentes fontes e usuários de informação existentes em um processo construtivo. Trabalhos que exploram esses tópicos foram identificados e comentados a seguir.

Primeiramente, vale destacar que os projetos relacionados ao ambiente construído podem envolver diversas atividades, como nova construção, aquisição, ampliação, reforma ou aluguel de edificações. Um projeto pode se referir a qualquer intervenção no ambiente construído, em um contexto extenso. Assim, o termo projeto

tem um sentido amplo. Entretanto, no contexto da indústria de AEC, projeto tem também um sentido mais próximo de concepção ou desenho (*design*) do ambiente a ser construído. Com isso, o termo projeto pode se referir ao conjunto de desenhos técnicos, documentos e informações complementares utilizados nessa concepção, sendo este um sentido mais estrito. Como apresentado nesta subseção, a modelagem da informação da construção (BIM) abrange tanto os projetos no sentido estrito, quanto no sentido amplo, passando por todo o ciclo de vida do ambiente construído.

As ferramentas de projeto ou desenho auxiliado por computador (CAD) são aplicações computacionais com as quais é possível elaborar desenhos compostos por elementos geométricos, ou seja, com representação visual gráfica. Essas ferramentas são soluções tecnológicas concebidas para dar apoio à elaboração de projetos de engenharia em formato digital, e surgiram na década de 1950, quando se tornou possível a criação dos primeiros gráficos 2D monocromáticos utilizando um computador. Posteriormente, essa tecnologia passou a utilizar ambientes de computação gráfica (CG) mais robustos, permitindo representações em 3D.

O processo de elaboração de projetos utilizando a tecnologia CAD em atividades de engenharia civil e arquitetura permite a criação e a manipulação de desenhos técnicos que constituem as representações gráficas, como plantas, vistas de fachadas ou de cortes, bem como o detalhamento de outros aspectos do ambiente construído. Vale ressaltar, entretanto, que as ferramentas CAD se aplicam a diversos tipos de projetos e atividades, como outras especialidades de engenharia, bem como aplicações industriais e outras disciplinas que precisem utilizar desenhos ou representações gráficas com precisão.

As ferramentas computacionais ou sistemas CAD sofreram uma grande evolução com o advento de tecnologias e técnicas computacionais para representação tridimensional, juntamente com a padronização da linguagem gráfica feita pela IBM na década de 1970 (THE STORY OF COMPUTER GRAPHICS, 1999).

As informações sobre os problemas e soluções técnicas de arquitetura e engenharia podem estar contidas em diversos tipos de documentos, como relatórios, planilhas, esquemas de detalhamento e desenhos técnicos. Os desenhos técnicos são representações gráficas dos projetos, seja em 2D, como plantas e cortes, ou em 3D, como visualizações de modelos tridimensionais ou maquetes digitais. Assim, as ferramentas CAD, que permitem a elaboração de desenhos com o auxílio de computadores, são úteis para representar adequadamente os projetos de arquitetura

e engenharia que envolvem a visualização de informação gráfica detalhada. Com isso, essas ferramentas, que utilizam a CG para manipular e apresentar visualmente objetos de desenho, representados por parametrizações vetoriais ganharam destaque.

Entre as ferramentas ou plataformas computacionais que impulsionaram a adoção e a evolução da tecnologia CAD, destaca-se o *software* AutoCAD (AUTODESK, 2020a), lançado em 1982. A partir da década de 1990, a redução dos custos de *hardware* e *software* e o desenvolvimento da usabilidade dos sistemas operacionais ajudou a difundir os computadores de uso pessoal. A tecnologia CAD passou então a ser amplamente adotada pelo setor de AEC, pela área ambiental e por diversos outros ramos da indústria, como a montagem de equipamentos mecânicos e elétricos. Assim, o processo de elaboração de projetos ou desenhos técnicos com o auxílio de computadores, ou seja, com o uso de tecnologias e ferramentas CAD, tem se tornando bastante abrangente e multidisciplinar. Vale destacar que os avanços das TIC permitem inclusive a execução de ferramentas CAD diretamente na *internet*, a exemplo do aplicativo Web do AutoCAD (AUTODESK, 2020b). A evolução dos sistemas CAD é discutida por Björk e Laakso (2010), que apresentam uma visão geral sobre a padronização do uso dessa tecnologia na indústria de AEC, e a aplicação de soluções que usam a tecnologia CAD a essa indústria é discutida e detalhada em Eastman *et al.* (2005).

A conjugação da tecnologia CAD com a engenharia auxiliada por computador (Computer-Aided Engineering - CAE) contribuiu para a acelerar e o aprimorar os processos de elaboração e gerenciamento de projetos de engenharia. Mais informações passaram a ser geradas e utilizadas ao longo do processo de projeto, sejam elas internas ou externas a seus ambientes organizacionais. Com isso surgiu também a necessidade de integrar essas informações. Nesse contexto, Jacoski (2003) aborda o fluxo da informação no processo de projeto utilizando a tecnologia CAD, bem como um levantamento sobre as características dos sistemas de classificação e a especificação de produtos e serviços da construção existentes na época.

A utilização da tecnologia de desenho ou projeto auxiliado por computador (CAD) surgiu com a procura por inovações computacionais aplicadas à engenharia. A elaboração de desenhos técnicos, esquemáticos e detalhamentos são exemplos de uso da tecnologia CAD. Esses desenhos fazem parte da concepção de projetos de

arquitetura e de engenharia. O uso de ferramentas CAD teve barreiras iniciais para sua adoção, pois os projetistas, de uma forma geral, estavam habituados a utilizar as pranchetas para gerar os desenhos técnicos em um processo bastante artesanal. Os tipos de conhecimento (tácito e explícito), e suas formas de transmissão ou etapas (socialização, externalização, combinação e internalização), conforme descrito pela Espiral do Conhecimento proposta por Nonaka e Takeuchi (1997) podem ser úteis para uma análise desse processo.

Na elaboração de projetos utilizando pranchetas, as habilidades pessoais eram muito importantes, e grande parte do conhecimento utilizado era do tipo tácito. Assim, o conhecimento era transmitido e disseminado em processos de socialização. O advento da tecnologia CAD e sua adoção pela comunidade de projetistas aumentou as possibilidades de geração e de armazenamento de dados pois as representações gráficas dos projetos passou a utilizar arquivos de desenho técnico em formato digital. Assim, as possibilidades de externalizar e combinar conhecimento aumentaram nas organizações que passaram a utilizar a tecnologia CAD, pois os arquivos gerados com o uso dessa tecnologia são mais facilmente manipulados por ferramentas computacionais. A internalização do conhecimento também foi favorecida, pois mais conhecimento explícito passou a ser gerado e disponibilizado para que outras pessoas pudessem acessá-lo. Com isso, nota-se uma ampliação do potencial de uso de práticas de GIC. A informação textual também pode ser armazenada e recuperada em arquivos que usam a tecnologia CAD, entretanto vale destacar que não há um padrão definido para organizar e tratar os dados que podem ser salvos nesses arquivos.

Como exemplo de aplicações da GIC à tecnologia CAD, Baracho (2007) desenvolveu um modelo conceitual, um esquema de classificação e um protótipo de sistema para organização e recuperação da informação em desenhos técnicos de engenharia. O protótipo criado interpretou o conteúdo de desenhos em formato CAD, permitindo assim a indexação e a extração de metadados textuais para sua posterior classificação em três categorias: tipo, processo e forma. Metadados visuais, ou gráficos, também foram automaticamente localizados, indexados e armazenados em uma tabela. A recuperação da informação foi feita por meio da seleção de uma imagem-chave a partir de um conjunto definido de categorias e o método de busca utilizou um banco de dados contendo os arquivos de desenhos e os metadados textuais e visuais. Desenhos técnicos foram utilizados para especificar projetos de prevenção e combate a incêndio e pânico foram testados e analisados. Além de

comprovaram a eficiência da solução proposta, os resultados mostraram que o protótipo criado pode ser adaptado para aplicação em qualquer área da engenharia, e o modelo desenvolvido pode servir para outras situações em que exista a necessidade de recuperação de imagens.

Outras abordagens, como o método da engenharia da informação (Information Engineering Method - IEM) também têm aplicação na área do tratamento de informações utilizando sistemas CAD (CLARK, 1992; JOHNSON; MALMGREN; PERSSON, 2007; MARTIN, 1986). Além de mostrarem uma aplicação desse método a um estudo de caso, o descrevem como um processo que proporciona um aumento gradual do nível de detalhe, indo de uma abstração até fatos ou aspectos concretos, e comentam que sua aplicação é facilitada pelas ferramentas de engenharia de *software* auxiliada por computador (Computer-Aided Software Engineering - CASE). As ferramentas CASE utilizam um ambiente de *software* para gerar diagramas que representam os requisitos, a análise e o projeto de um sistema de informação computadorizado. Uma linguagem de modelagem padronizada, bastante utilizada pelas ferramentas CASE, é a Unified Modeling Language (UML) (FURLAN, 1998; QUATRANI, 1998). Vale ressaltar que, por mais que se complementem, a engenharia da informação (Information Engineering) é uma abordagem distinta da engenharia de *software* (Software Engineering), pois esta última é utilizada para gerar documentos e dar suporte aos processos de desenvolvimento de um *software*, envolvendo as fases de levantamento de requisitos, a análise do sistema, o projeto da solução e a implementação, passando pela elaboração de diversos artefatos, que fazem parte das entregas de um *software*, incluindo os que servem para o gerenciamento do processo de desenvolvimento, conforme detalhado em Pressman (2005) e em Paula Filho (2009).

As aplicações ou ferramentas computacionais que integram a tecnologia CAD aos sistemas produtivos, e assim auxiliam e permitem a automação das linhas de produção, em um processo conhecido como manufatura auxiliada por computador (Computer-Aided Manufacturing - CAM), também se desenvolveram com o advento do uso de *software* na indústria. A tecnologia CAM, que trata de automação de processos computacionais para a geração de peças industriais, geralmente é associada ao uso de sistemas CAD, pois as peças projetadas são representadas por desenhos técnicos. Exemplos de sistemas que utilizam as tecnologias CAD/CAM são abordados por Shalloway e Trott (2004) ao apresentarem exemplos de utilização de

padrões de projeto de *software* (GAMMA *et al.*, 2000; SHALLOWAY; TROTT, 2004).

A CAE busca avaliar a possibilidade de execução e de especificação do funcionamento dos produtos de engenharia, sendo complementar ao CAD, e envolve simulações com o uso de ferramentas computacionais para execução de procedimentos e cálculos de engenharia, muitas vezes utilizando projetos ou desenhos elaborados via CAD. Os sistemas de informação utilizados na indústria de AEC são exemplos de ferramentas computacionais aplicadas à engenharia, ou seja, de sistemas de CAE, ou, mais especificamente, de sistemas de informação especialistas, criados para manipular a informação a ser usada nos processos construtivos. Com o desenvolvimento das TIC, esses sistemas passaram a incorporar cada vez mais, em seu próprio ambiente, recursos e ferramentas de computação gráfica, incluindo assim o uso da tecnologia CAD. Iniciativas para realizar a interoperabilidade entre sistemas CAD e CAE e integrar soluções que utilizam essas tecnologias ocorreram ao longo dos anos, levando ao surgimento de métodos que se consolidaram como padrões tecnológicos. Nesse contexto, o trabalho de Hamri *et al.* (2020) destacam que CAD e CAE são duas disciplinas significativamente diferentes e apresenta uma nova abordagem para reduzir as lacunas entre elas. O autor descreve diversos procedimentos de tratamento e transformação de dado em que foi utilizado o formato ou padrão STandard Exchange of Product model data (STEP) (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016).

O termo *Building Information Model* foi citado pela primeira vez no relatório intitulado *An object-oriented environment for representing building design and construction data* (GARRETT JUNIOR; BASTEN; BRESLIN, 1989), conforme Gaspar (2019), que faz uma análise abrangente sobre o significado atribuído ao termo BIM ao longo dos anos. Aish (1986) apresenta um termo similar, *Building Modelling*, ao abordar uma ideia semelhante ao que hoje denomina-se BIM. O termo *Building Information Model* também é utilizado no artigo intitulado *Modelling Multiple Views on Buildings* (VAN NEDERVEEN; TOLMAN, 1992), nesse caso, com o significado similar no citado por Garrett Junior, Basten e Breslin (1989).

Entretanto, há indícios de que as origens do conceito de modelagem da informação da construção (BIM) surgiram com os trabalhos de pesquisadores das décadas de 1970 e 1980 (AISH, 1979, 1986; ARAI; IWATA, 1988; BJÖRK, 1989; EASTMAN, 1974, 1975; EASTMAN *et al.*, 1974). Eastman (1974) abordou um conceito com significado semelhante ao que se tem como referência para o termo

BIM, mas usando o termo Computer-Aided Architectural Design (CAAD). Eastman *et al.* (1974), ao descreverem o projeto de um sistema computacional para armazenar e manipular informações de projeto de construção em um nível de detalhe que permite o projeto, construção e análise operacional dos espaços que constituem o ambiente construído, denominado Building Description System (BDS), sugeriram as seguintes funcionalidades associadas a esse sistema:

- (1) um meio de fácil inserção gráfica de elementos com geometria arbitrariamente complexos;
- (2) uma linguagem gráfica interativa para edição e composição de arranjos de elementos;
- (3) recursos gráficos para produzir e imprimir desenhos de alta qualidade em perspectiva ou ortográficos; e
- (4) uma capacidade de classificação e ordenação da base de dados por atributos, por exemplo, tipo de material, fornecedor ou composição de um conjunto de dados para análise. (EASTMAN *et al.*, 1974, p. 1, tradução nossa).²

Um protótipo funcional para o BDS é apresentado por Eastman (1975), que, trabalhando junto à Universidade de Carnegie-Mellon (Carnegie-Mellon University - CMU), já mencionava na época que essa representação poderia ser vantajosa para a programação da obra e a aquisição de materiais (EASTMAN, 1975, p. 50). O BDS incluía as ideias de um projeto paramétrico e da derivação de desenhos em 2D a partir de um modelo 3D e teria evoluído levando ao surgimento do termo *Building Product Model*, mais utilizado nos EUA, e o termo *Product Information Model*, com utilização mais ampla na Europa. Posteriormente, esses termos teriam convergido para o conceito de modelagem da informação da construção (BIM) com a conotação que se tem hoje.

Nota-se, dessa forma, que o significado do termo modelagem da informação da construção (BIM) vem sofrendo uma evolução constante. Segundo Gaspar (2019), o significado de BIM tem passado de uma conotação mais tecnológica para temas relacionados a processos e gestão de todas as atividades que estruturam o setor da construção civil. BIM se refere à criação de modelos digitais de informação sobre uma construção, abrangendo inicialmente a concepção de projetos de arquitetura e de engenharia. Essa visão do processo de modelagem se concentra em informações

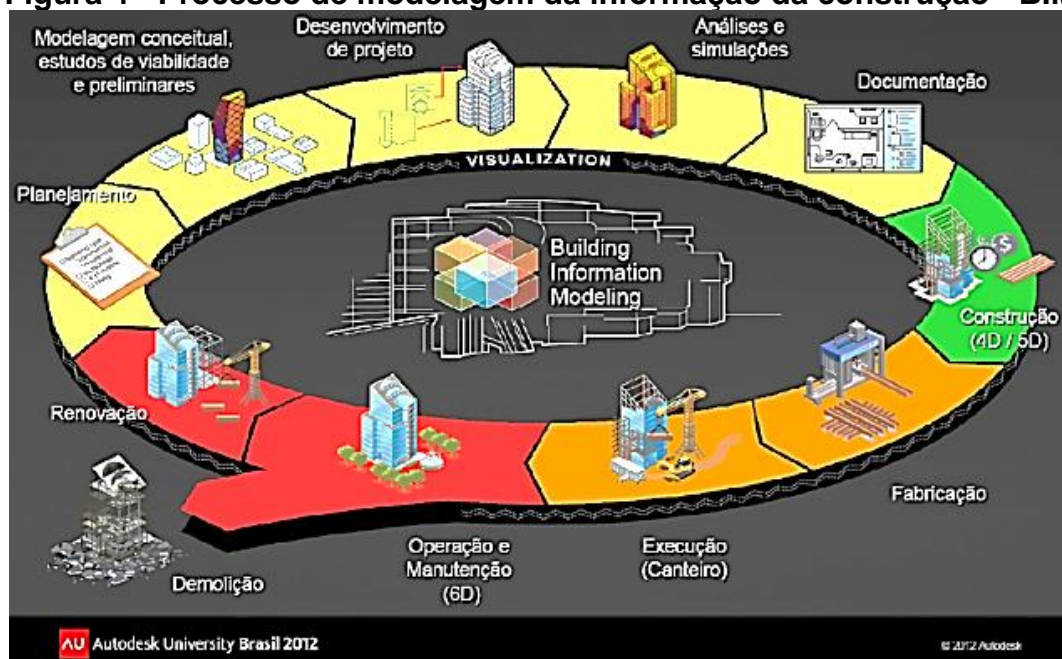
²“(1) a means for easy graphic entering of arbitrarily complex element shapes; (2) an interactive graphic language for editing and composing element arrangements; (3) hardcopy graphic capabilities that can produce perspective or orthographic drawings of high quality; and (4) a sort and format capability allowing sorting of the data base by attributes, for example, material type, supplier, or composing a data set for analysis.”

mais estáticas, voltadas para especificar os resultados esperados de uma construção. Os modelos BIM são repositórios de informações, e, portanto, precisam ser atualizados durante a execução da obra. Assim, a informação envolvida no processo de modelagem BIM é dinâmica, abrangendo aspectos relacionados aos processos construtivos, como o planejamento da obra, as subcontratações e as especificações de estruturas temporárias, entre outros. O termo BIM pode ser compreendido de uma forma mais abrangente como um conjunto de processos que envolvem tanto a modelagem quanto o gerenciamento de toda a informação sobre o ambiente construído, a infraestrutura que o suporta, os processos construtivos utilizados, a operação a manutenção das edificações e instalações, e até mesmo o reinício do ciclo de vida dos ativos envolvidos, seja para uma demolição ou para uma renovação.

A seguir são detalhados alguns processos e produtos envolvidos na modelagem BIM, que pode ser considerada um novo padrão da indústria. A análise apresentada teve como referência trabalhos em que foram discutidas aplicações, características, recomendações, conceitos e tecnologias relacionadas ao uso da modelagem BIM (EASTMAN *et al.*, 2011; FLEMMING; ERHAN; ÖZKAYA, 2004; ISIKDAG; UNDERWOOD, 2010; JACOSKI, 2003; 2008; LAISERIN; 2018; SOARES; BONATTI; BARACHO, 2018; PEREIRA JUNIOR; BARACHO, 2015; PORTO *et al.*, 2015).

A metodologia de modelagem da informação da construção (BIM), gera e utiliza informações necessárias em um projeto de construção, que ficam armazenadas em um modelo digital, que é o modelo BIM. As representações dos desenhos técnicos, como plantas e cortes, são tratadas como subprodutos, podendo ser gerados em tempo real. Com essa metodologia e todas as tecnologias que ela utiliza é possível simular aspectos como a evolução das fases da obra, desde o projeto, passando pela operação e manutenção e podendo chegar à sua demolição ou desmonte. Nota-se na Figura 4 o ciclo de vida do processo de modelagem BIM (MELLO, 2012) que os processos de modelagem BIM abrangem toda a vida útil de uma edificação ou construção.

Figura 4 - Processo de modelagem da informação da construção - BIM



Fonte: Mello (2012).

Segundo Laiserin (2018), o processo de geração de modelos digitais de construções (modelos BIM) vem se tornando cada vez mais complexos. Os processos BIM podem ser utilizados na automação da apresentação de documentos, na análise de conflitos, no planejamento, na elaboração de cronogramas, na análise de custos e na orçamentação, entre outros. Assim, o BIM, além de permitir a solução de problemas de projeto para a indústria de AEC, passa a ser um grande repositório de informações, que podem estar estaticamente armazenadas ou serem obtidas dinamicamente e em diversos graus de detalhamento, podendo e variar ao longo do tempo e de acordo com as fases da obra. O uso da tecnologia BIM para modelar edifícios digitais traz desafios e oportunidades para a realidade brasileira (BRYDE; BROQUETAS; VOLM, 2013; WATSON, 2011). Dessa forma, o BIM pode ser entendido como um agente transformador da gestão das informações da construção e está se consagrando e ganhando destaque como ferramenta para elaboração e gestão de projetos de Arquitetura e Engenharia no Brasil (PEREIRA JUNIOR; BARACHO, 2015; PORTO; FRANCO; BARACHO, 2015).

A Figura 5 ilustra como as informações necessárias para projetar uma construção ficam contidas em um modelo digital ou virtual em um ambiente BIM, sendo os desenhos técnicos, como plantas e cortes, tratados como subprodutos, podendo ser gerados em tempo real.

Figura 5 - Desenhos técnicos (vistas em 2D) obtidos partir de um modelo BIM



Fonte: Adaptado de WORDPRESS (2021).

Assim, o conceito de BIM como modelo digital de uma construção abrange não só sua geometria e as relações espaciais, mas também diversas propriedades construtivas e informações sobre seus componentes, como quantidades, custos, ou detalhes técnicos fornecidos por fabricantes.

Permitir a criação de um ambiente único para elaborar projetos, desenhos, armazenar e processar os dados utilizados em uma construção é um dos propósitos das aplicações computacionais ou plataformas de *software* BIM. Essas aplicações são ferramentas que proporcionam a ampliação da capacidade de automação dos processos de elaboração e gerenciamento de projetos ou desenhos técnicos. O uso de ferramentas computacionais pode trazer ganhos de eficiência e produtividade para as organizações, possibilitando a geração de benefícios para diversas áreas, como a gestão da informação e do conhecimento, o gerenciamento de projetos e a integração entre sistemas. Esses ganhos também se aplicam à indústria AEC e ao uso da modelagem BIM, que traz ainda a possibilidade de automatizar processos como o acompanhamento da execução de uma obra ou, mais genericamente, a automação de todo o processo produtivo envolvido em uma construção. A digitalização do processo construtivo utilizando o BIM tem como base um modelo digital da construção, elaborado em um ambiente gráfico seguindo um fluxo de trabalho que agrega informação a esse modelo. Diversas informações são geradas e utilizadas nesse processo, e podem abranger os dados necessários para viabilizar representações gráficas (2D e 3D), análises construtivas de planejamento e de

acompanhamento da obra, classificação de componentes, definição de cronogramas de execução e sequenciamento das atividades (4D), cálculo do esforço necessário para a execução das fases de implantação e quantificação de custos (5D).

As plataformas de *software* ou ferramentas computacionais BIM podem ser usadas para modelar a geometria do ambiente construído, que é composta por objetos ou instâncias de componentes padronizados, como portas, paredes e janelas. Esses objetos, por sua vez, podem ser mais ou menos detalhados, ou seja, podem conter mais informações específicas, ou serem apenas componentes genéricos usados na concepção inicial dos espaços. Os objetos BIM também podem ser substituídos ao longo do desenvolvimento do projeto e existem inclusive diversas bibliotecas de componentes BIM de acesso público. Entretanto, o uso de objetos ou componentes BIM deve ser feito com critério, considerando-se os sistemas de classificação da informação da construção e outros aspectos como materiais e parâmetros contidos nesses objetos, como discutido mais adiante neste trabalho. Nota-se que as ferramentas computacionais de modelagem BIM utilizam a CG e outros recursos de TIC para permitir a manipulação de modelos digitais de uma edificação ou construção. Com isso, a maioria dessas plataformas de *software* BIM utiliza intrinsecamente os paradigmas da programação orientada a objetos (POO).

A orientação a objetos (OO) é uma forma de estruturar a arquitetura interna de sistemas de informação computadorizados em que “objetos” são as estruturas de dados fundamentais, e representam as entidades envolvidas nesses sistemas, bem como seus atributos e relacionamentos. Ressalte-se que a OO é uma abordagem clássica na área de Engenharia de *Software* (FURLAN, 1998, QUATRANI, 1998). A utilização adequada dos conceitos de POO é um assunto bastante discutido e as muitas das melhores práticas se encontram consolidadas na forma de padrões de projeto de *software* (GAMMA *et al.*, 2000; SHALLOWAY; TROTT, 2004). Além disso, a norma ISO 12006-3 sugere uma estrutura para a utilização da OO no contexto da modelagem BIM (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007). Muitas ferramentas de *software* BIM utilizam em suas estruturas internas a OO, bem como alguns padrões de projeto de *software* e princípios ontológicos para permitir uma adequada organização e manipulação de objetos gráficos, seus relacionamentos. Essas ferramentas, que têm como base a geometria 3D e implementam representações digitais e paramétricas em um ambiente de CG, são aplicações computacionais bastante complexas.

Um padrão de projeto de *software* comum nas ferramentas ou plataformas de *software* BIM é conhecido como Model-View-Controller (MVC). O MVC é uma solução computacional padronizada que, mediante o uso de classes ou de objetos controladores (*controllers*), permite visualizações (*views*) simultâneas de múltiplas representações, que podem também ser multidimensionais (2D ou 3D), geradas a partir de diferentes pontos de vista, e utilizando diferentes perspectivas. Essas visualizações são geradas mediante o acesso a um único modelo (*model*), que contém todos os dados e permite a recuperação da informação necessária. Assim, o padrão MVC é bastante útil quando existe um modelo único de dados ou informação, que é controlado ou manipulado a partir de múltiplas visualizações.

O MVC é composto por três outros padrões de projeto de *software* em sua arquitetura interna. Esses três padrões, denominados Observador (*Observer*), Estratégia (*Strategy*) e a Composição (*Composite*), são explicados em detalhes por Gamma *et al.* (2000). Isikdag e Underwood (2010) discutem os padrões de projeto e apresentam detalhes de sua aplicação no desenvolvimento de sistemas que possuem plataformas de *software* de CG, abordando inclusive o uso do IFC (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018a). Os autores comentam, por exemplo, que muitas hierarquias parte-todo podem ser representadas pela estrutura espacial do BIM. Essas estruturas podem ainda ser definidas como estruturas compostas, ou seja, utilizam também o padrão *Composite*. Tendo em vista que as plataformas de CG comerciais, geralmente criados com o uso dos princípios e padrões de projeto de *software*, bem como as boas práticas de programação e as melhores práticas de arquitetura de *software*, e que eles podem ainda utilizar diversos outros recursos tecnológicos para gerar, armazenar transformar e transferir dados e informações, a seguir são apresentados alguns padrões tecnológicos relacionados à metodologia BIM.

A modelagem BIM é multidisciplinar e se aplica a todos os aspectos do ciclo de vida do ambiente construído. As plataformas de *software* BIM, portanto, devem permitir a modelagem de mais de uma disciplina ou sistemas construtivos simultaneamente. Algumas ferramentas de *software*, entretanto, são especializadas em certos sistemas ou processos construtivos e possuem funcionalidades e componentes específicos para criar modelos voltados para determinadas disciplinas. Por exemplo, há modelos que representam a arquitetura de uma construção, mas há também modelos específicos para os sistemas estruturais, hidráulicos e elétricos.

Esses modelos precisam, então, ser combinados, o que pode gerar conflitos ou interferências. A análise e a compatibilização desses conflitos entre modelos ou disciplinas são processos bastante utilizados na modelagem BIM.

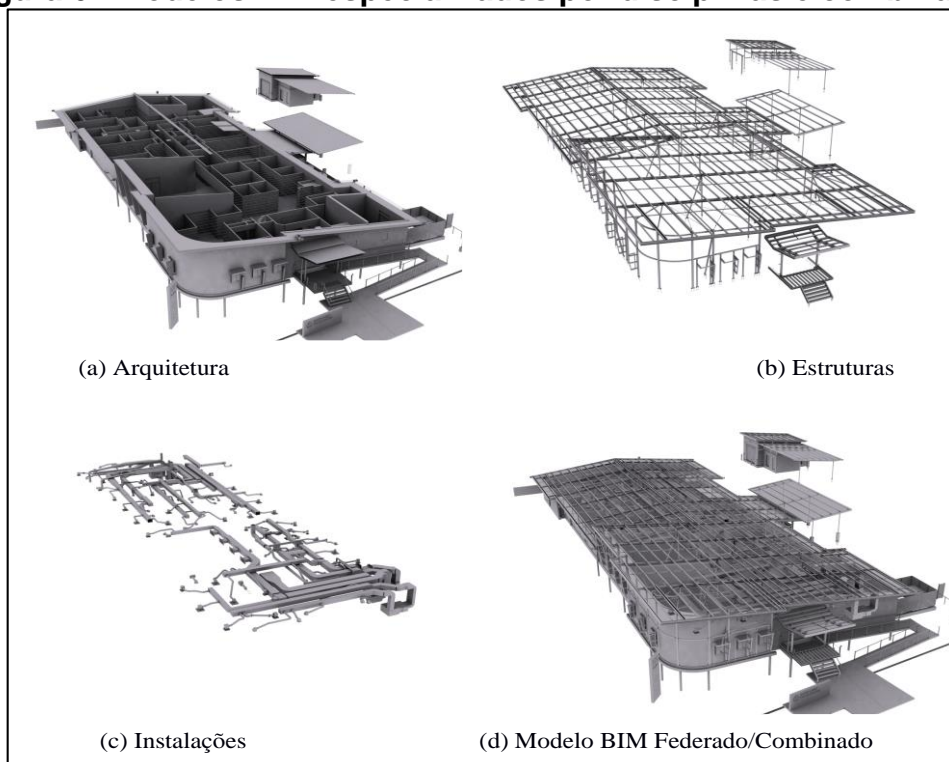
Entre as plataformas ou ferramentas computacionais de modelagem BIM existentes atualmente, destacam-se as soluções das empresas Nemetschek (Scia Engineer, Allplan), Autodesk (Revit), Bentley (OpenBuildings), Graphisoft (ArchiCAD, BIMcloud), Tekla (Tekla Structures), Cype (CYPECAD), TecnoMETAL (TecnoMETAL BIM Suite), Dassault Systèmes (CATIA), Gehry Technologies/Trimble (Digital Project), entre outras. Existem também algumas plataformas de *software*, como o Autodesk AutoCAD Civil 3D e as soluções criadas pelas empresas brasileiras TQS e AltoQi, que surgiram como ferramentas CAE e, além de utilizem a tecnologia CAD, evoluíram para se tornarem compatíveis com os usos da metodologia BIM. Além disso, há aplicações computacionais que recuperam e utilizam a informação contida em modelos BIM, mas não os alteram, como as ferramentas de compatibilização de projetos, de verificações de regras e de análises de conflitos, como o Solibri Model Checker e o Autodesk Navisworks.

A Figura 6 apresenta quatro modelos BIM criados para representar uma construção, sendo eles o modelo de arquitetura (a), o modelo estrutural (b), o modelo de instalações (c) e o modelo federado ou combinado (d) (STEEL; DROGEMULLER; TOTH, 2012). Ressalte-se que para resolver eventuais conflitos e interferências entre os componentes construtivos é necessário gerar um modelo BIM federado ou combinado, que realiza a compatibilização.

As ferramentas de *software* BIM especializadas por disciplinas costumam utilizar um modelo BIM de base ou de referência, que geralmente é o modelo de Arquitetura. Essas ferramentas permitem a complementação desses modelos ou até a criação de modelos complementares, contendo componentes ou objetos BIM mais específicos, daí a necessidade de se realizar a compatibilização e a coordenação de modelos BIM. A coordenação é feita por um modelo federado, que faz referência aos outros modelos especializados, ou por um modelo combinado, que une esses modelos, permitindo assim a integração de todo o modelo BIM. A compatibilização de projetos ou modelos BIM pode ser feita manualmente, mediante o uso das funcionalidades existentes nas plataformas de modelagem BIM. No entanto, esse processo é bastante complexo e pode ser automatizado, por exemplo, com aplicações específicas, como o Autodesk Navisworks (AUTODESK, 2020c), ou com aplicativos

de extensão (*plug-ins* ou *add-ins*), por meio dos quais se pode ampliar a funcionalidade das plataformas BIM para realizar ações específicas, utilizando algoritmos criados com linguagens de programação de computadores de alto nível.

Figura 6 - Modelos BIM especializados por disciplinas e combinados



Fonte: Steel, Drogemuller e Toth (2012).

A compatibilização de modelos BIM procura verificar a existência de conflitos entre os sistemas construtivos que são os projetos ou modelos específicos gerados para as diversas disciplinas envolvidas nos processos BIM. Para isso, muitas vezes é necessária a transformação da informação dos modelos BIM, o que pode ser feito mediante a conversão ou exportação dos dados contidos nos modelos para arquivos de formato neutro ou padronizado, como o IFC (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018a). O IFC se trata de um formato neutro e aberto, criado para proporcionar o intercâmbio de dados entre plataformas ou ferramentas de *software* de BIM. A interoperabilidade está presente no uso da modelagem BIM e permite a integração entre os diversos sistemas de informação utilizados por organizações da área de AEC. Vale ressaltar que o estudo aprofundado da interoperabilidade no contexto da modelagem BIM vai além dos objetivos desta pesquisa, mas esse é um tema bastante discutido na literatura (ANDRADE; RUSCHEL, 2009; JACOSKI, 2003, 2008; LAAKSO; NYMAN, 2016).

Nesta subseção são apresentados alguns padrões da indústria que se aplicam ao uso da metodologia BIM, tendo em vista os atuais recursos de TIC. As discussões sobre a padronização do uso dos sistemas de CG aplicados à indústria de AEC e tecnologias relacionadas possibilitaram o surgimento de algumas técnicas e padrões de armazenamento e transmissão de dados. Muitas dessas técnicas e padrões também são reflexos da aplicação das boas práticas de programação ao desenvolvimento de sistemas que utilizam plataformas gráficas como base, a exemplo da maioria das ferramentas de *software* que permitem o gerenciamento do ambiente construído.

O padrão conhecido como STEP teve seu início em 1984 e se concentrou em uma solução para transferência de dados entre ambientes de *software* de empresas de diversos setores da indústria varejista, incluindo a área de AEC. Segundo Jacoski (2003), com o uso desse padrão os dados são transferidos em arquivos de texto, em que sua estrutura é definida por uma especificação unificada. Os dados são codificados e os arquivos mantêm informações sobre o contexto associado, o que possibilita uma comunicação efetiva e flexível entre os sistemas computacionais. De acordo com Andrade e Ruschel (2009), o padrão ISO-STEP surgiu a partir de um esforço da Organização Internacional de Padronização (ISO) em criar um padrão internacional de troca de dados. A especificação desse padrão é feita pela norma ISO 10303-21:2016 - *Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure* (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016).

O formato DWG (AutoCAD DraWinG File) é utilizado para armazenar arquivos de desenho gerados pelo *software* AutoCAD sendo um formato proprietário da empresa Autodesk (AUTODESK, 2020a). Para oferecer interoperabilidade entre o AutoCAD e outros aplicativos CAD, foi lançado o formato Drawing eXchange Format (DXF), que utiliza o padrão textual ASCII. No entanto, devido à simplicidade do formato DXF, alguns problemas podem ocorrer quando ele é utilizado para a transferência de dados. Assim, a necessidade de encontrar novos padrões de transferência eletrônica de arquivos CAD, considerando o ambiente Web, foi lançado o formato DWF (Drawing Web Format), que tem como principal objetivo ser um padrão leve, que serve bem como formato de apresentação de dados *on-line*. Isikdag e Underwood (2010) comentam que as formas de se implementar os padrões existentes na modelagem

BIM surgiram do resultado da evolução de padrões de armazenamento e troca de arquivos de desenho, como o formato DXF, e de modelos de informação semânticos da indústria de AEC, que são, em sua maioria, baseados no padrão STEP (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016), a exemplo dos trabalhos de Eastman *et al.* (2005, 2007).

Tao, Li e Yu (2018) apresentam uma abordagem para utilizar os sistemas CAD/CAE de forma integrada a uma avaliação do ciclo de vida (Life Cycle Assessment - LCA). O LCA é um método utilizado para a quantificação de impactos ambientais de produto ao longo de seu ciclo de vida. Os autores, além de reiterar que as tecnologias CAD e CAE são comumente usadas na modelagem geométrica e na análise de engenharia, respectivamente, destacam que o rápido desenvolvimento e a ampliação dessas ferramentas aumentam também a necessidade de comunicação entre elas. Destaque é dado, ainda, para a existência de tradutores integrados em ferramentas CAD e CAE, que proporcionam o intercâmbio de dados. Vale ressaltar que os procedimentos e métodos de integração entre tecnologias e formatos de trocas de dados implicam em desenvolvimentos adicionais ou na criação de extensões para que as tecnologias existentes se tornem mais facilmente interoperáveis, muitas vezes são incorporados a elas ao longo dos anos, mediante novas versões.

Com isso, nota-se que os sistemas CAD tiveram importante papel no desenvolvimento dos sistemas CAE e vice-versa, e esse processo também acaba por desencadear no desenvolvimento de novas tecnologias e metodologias, como é o caso da modelagem BIM, que incorpora a tecnologia CAD e alguns procedimentos de CAE, além de diversos outros aspectos relativos às informações que permeiam todo o ciclo de vida do ambiente construído. Com a aplicação cada vez mais expressiva das TIC aos processos construtivos, a integração entre os sistemas CAD/CAE tem se tornado mais viável e eficiente, em um processo que converge para a utilização de ferramentas computadorizadas ou automatizadas para realizar, digitalmente.

Um formato que surgiu para se tornar um padrão internacional aberto para os modelos de informação da construção é o IFC (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018a). O IFC é um padrão para trocas de arquivos BIM, consistindo em um esquema de dados de referência, representados como definições de nomes e descrições de propriedade e quantidade. Assim, seu esquema ou estrutura de dados contém especificações para criação de representações dos componentes de uma construção, ou seja, classes representando objetos BIM, como

portas, janelas, paredes, bem como informações acessórias e conceituais ou metadados (informações geoespaciais, identificação de fabricantes, das organizações e dos processos). O esquema de dados conceitual do IFC e um formato de arquivo de troca para dados BIM são especificados pela norma ISO 16739-1:2018, intitulada *IFC for data sharing in the construction and facility management industries - Part 1: Data schema* (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018a).

O escopo das definições do IFC é dividido em três blocos principais. O primeiro traz as definições que são necessárias durante as fases do ciclo de vida das edificações, o segundo, trata das definições exigidas pelas várias disciplinas envolvidas nas fases do ciclo de vida da edificação, e o terceiro contém as definições do formato de troca BIM, incluindo a estrutura do projeto, os componentes físicos e espaciais, os itens de análise, os processos, os recursos, os controles, os atores e a definição de contexto. O esquema conceitual do IFC é definido na linguagem de especificação de dados chamada EXPRESS e o formato de arquivo de troca padrão, que utiliza a codificação do tipo texto não criptografado (*clear text*). O IFC possui várias implementações, mas todas elas precisam seguir os “requisitos de troca” (*exchange requirements*). Formatos alternativos de arquivos de troca também podem ser usados se estiverem em conformidade com o esquema conceitual.

O desenvolvimento do IFC foi influenciado pelo grande sucesso na adoção do STEP (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016) por outras indústrias, e se tornou uma base para a utilização do BIM de forma aberta (*open BIM*), tendo em vista o inicial desenvolvimento desse conceito na época. O IFC foi definido pela International Alliance for Interoperability (IAI - anteriormente denominada Industry Alliance for Interoperability) (UNITED KINGDOM & IRELAND, 2013), uma organização sem fins lucrativos de ação orientada criada em 1995 por algumas entidades, empresas e pesquisadores. Esse padrão surgiu em 1997 e teve como objetivo inicial suprir a falta de integração entre diferentes aplicações, ferramentas ou plataformas de *software* comerciais e sistemas informatizados voltados para a área da AEC. O padrão IFC vem sendo adotado por grandes empresas desenvolvedoras de *software* para a área de AEC como a Autodesk Inc., a Bentley Systems, a Graphisoft e Nemetschek. O desenvolvimento atual do modelo IFC está sob a responsabilidade do *Model Support Group*, coordenado pelo BuildingSMART (BUILDINGSMART, 2008).

A estrutura do IFC permite a organização de dados e informações relacionados a projetos de construção, o que possibilita o seu compartilhamento ao longo de todo o desenvolvimento dos projetos, incluindo as aplicações técnicas, conforme Jacoski (2008). Andrade e Ruschel (2009) destacam que a partir da versão IFC2x3, o modelo de dados do padrão IFC passou a conter entidades ou classes capazes de lidar com informação georeferenciada, utilizada no contexto dos sistemas de informações geográficas (Geographic Information Systems - GIS). Laakso e Nyman (2016) apresentam uma revisão sistemática da literatura abrangente sobre a pesquisa relacionada ao IFC entre 1997 e 2007 e com isso buscaram verificar o potencial do IFC para alavancar a interoperabilidade em BIM. A pesquisa realizada pelos autores recuperou 170 artigos de conferências, mostrando que as publicações sobre o tema têm sido parte integrante da avaliação técnica e do desenvolvimento do IFC. Destaque é dado para o fato de que a estrutura de classes e entidades do padrão IFC não foi baseada em nenhuma ontologia pré-existente dentro da área da construção civil, e esse aspecto se tornou relevante para discussão internacional, na medida em que os sistemas de classificação de partes (ou da informação) da construção se tornam cada vez mais padronizados.

A linguagem Extensible Markup Language (XML) é utilizada para o armazenamento de dados e transferência eletrônica de documentos. A linguagem XML foi originalmente elaborada para o processamento de documentos pelo World Wide Web Consortium (W3C) (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM, 2011), que também controla e mantém o padrão HiperText Markup Language (HTML). O padrão XML começou a ser desenvolvido em 1996, mas o W3C só recebeu sua padronização em 1998, quando o tornou de domínio público. Os arquivos gerados com esse padrão têm várias aplicações, que envolvem o armazenamento, transformação, transmissão e apresentação de dados. Esse padrão é amplamente adotado como formato de arquivos para troca de dados e informações na Web, proporcionando a interoperabilidade entre sistemas de *software* nesse meio. Por ser uma linguagem genérica, a XML utiliza metadados para descrever e permitir a validação de sua estrutura. Assim, a personalização de arquivos em formato XML pode ser utilizada para criar diversos padrões e tecnologias relacionadas ao uso da modelagem BIM. Por exemplo, o formato Building and Construction eXtensible Mark-up Language (bcXML), e o Green Building Xtensible Markup Language (gbXML), sendo este último relacionado a aspectos de sustentabilidade. Com isso, é possível armazenar e utilizar

informações como a incidência da luz solar e parâmetros como a posição do sol sua intensidade, o que permite elaborar estudos de insolação térmica, análises de eficiência energética, e aspectos de desempenho da construção, como consumo de energia e sustentabilidade (AUTODESK, 2020a).

A Entrega Integrada de Projeto (Integrated Project Delivery - IPD) é uma metodologia caracterizada pela colaboração eficiente entre os diversos participantes de um projeto de construção (AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS, 2007; AUTODESK, 2020b). Segundo American Institute of Architects (AIA, 2007), no núcleo do processo de projeto integrado (IPD) estão as equipes que realizam o trabalho colaborativo, e buscando a integração e a produtividade, compostas por participantes-chave do projeto. Assim, a abordagem IPD incentiva a contribuição mútua e a identificação antecipada de potenciais problemas no projeto, contando com princípios como respeito e confiança mútua.

Algumas mudanças nos processos contratuais são necessárias, pois os participantes são beneficiados e recompensados por suas contribuições. Por exemplo, se um participante contribui para a redução do custo global do projeto, mesmo que essa redução não seja dos custos dos seus entregáveis, ele é recompensado por isso. Dessa forma, incentiva-se a busca por inovação e colaboração, além da utilização de uma comunicação aberta e de tecnologias apropriadas. O uso da experiência e do conhecimento é incentivado mediante o envolvimento proativo dos participantes e o resultado é a eficiência do projeto, da construção e da operação do ambiente construído. Isikdag e Underwood (2012) comparam a modelagem BIM à IPD, que é uma abordagem globalmente compartilhada do gerenciamento do ciclo de vida de entregas de projetos na indústria de AEC. Segundo o autor, a metodologia BIM tem uma abrangência maior do que a IPD, pois está última tem o escopo concentrado no projeto de construção, enquanto a modelagem BIM abarca todo o ciclo de vida dos ativos, incluindo fases posteriores à entrega da obra, como a eventual demolição da construção.

Muitas das plataformas de *software* BIM existentes atualmente oferecem ferramentas para estender suas funcionalidades e criar novas aplicações dentro de seus ambientes, aumentando assim seu poder ou forma de uso e ampliando as capacidades do BIM. Uma forma de realizar essa extensão é com o uso de interfaces de programação de aplicativos, como discutido na próxima subseção.

2.2.1.2 Interfaces de Programação de Aplicativos (API) em BIM

Os conceitos e padrões tecnológicos apresentados nas seções anteriores, inclusive os mecanismos de verificação de regras, são úteis para auxiliar no desenvolvimento de aplicações que se integram aos sistemas de computação gráfica, especialmente às plataformas de *software* BIM. Algumas dessas plataformas oferecem ferramentas para estender suas funcionalidades ou executar automaticamente um conjunto de funções já existentes. A extensão da funcionalidade de um *software* pode ser feita mediante a criação de aplicativos de extensão (*plug-ins* ou *add-ins*), e que podem ser *scripts*, também conhecidos como Macros, ou aplicativos externos, mas que são executadas dentro do ambiente do *software* principal. Os códigos-fonte dos aplicativos de extensão contêm algoritmos elaborados para aumentar as capacidades do BIM, e são desenvolvidos com o uso de linguagens de programação de computadores. Esses algoritmos acessam os componentes paramétricos dos modelos BIM, e com isso recuperam informação e manipulam os objetos BIM, podendo, por exemplo, alterar valores de atributos e relacionamentos entre esses objetos, ou até mesmo instanciar novos objetos.

O acesso aos códigos-fonte dos *softwares* BIM, ou seja, às plataformas BIM, é feito por meio de classes e métodos que se comunicam com o código-fonte desses *softwares*, em um contexto de POO. Esse conjunto de classes e métodos é disponibilizado pelos *softwares* BIM em pacotes chamados de Interfaces de Programação de Aplicativos (Application Programming Interface - API).

As APIs podem ser disponibilizadas em diversos formatos, como arquivos contendo códigos-fonte, arquivos executáveis e bibliotecas de vínculo dinâmico (Dynamic-Link Library - DLL), formulários e interfaces gráficas próprias para a criação de *scripts* ou até mesmo ambientes ou aplicações de programação visual, como o Dynamo (SENA, 2019).

O uso de APIs permite o acesso aos objetos BIM, e com isso pode-se recuperar informações úteis em diversos contextos. Essas múltiplas informações contidas nos modelos BIM permitem então diversas análises, como a verificação de características específicas dos materiais e equipamentos utilizados nas instalações, requisitos de uso da edificação, análise de interferência, identificação e resolução de conflitos, prazos estimados para manutenção, os valores de consumo de água e energia elétrica entre outros.

Soluções computacionais, como exemplos de aplicativos de extensão para o *software* Autodesk Revit®, para auxiliar a elaboração de soluções para problemas de Engenharia utilizando a tecnologia BIM são apresentados por Tammik (2020), que disponibiliza, inclusive, diversos trechos de códigos-fonte.

Silva *et al.* (2017) apresentaram, mediante um estudo quantitativo, uma avaliação do estado da arte dos aplicativos de extensão (*plug-ins* ou *add-ins*) existentes na época para o *software* Revit. A análise foi feita por meio de uma categorização dos propósitos dos aplicativos de extensão encontrados nos principais repositórios para essa ou plataforma BIM disponíveis. Os autores fizeram então uma comparação entre os usos identificados e as necessidades de profissionais brasileiros da indústria de AEC, consultados mediante um questionário. A análise se concentrou em aplicativos de extensão voltados para o auxílio dos profissionais no atendimento dos requisitos da Norma Brasileira de Desempenho, ABNT NBR 15575-1:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) e no cumprimento de disposições para Certificação Ambiental. Os propósitos identificados pelos autores foram Estruturas (*Structural*), Instalações (MEP), Desempenho (*Performance*), Produtividade (*Productivity*), Conversão (*Conversion*) e Componentes (*Component*). Nota-se, entretanto, que entre essas categorias não constam termos relacionados ao uso de um sistema de classificação da informação da construção (CICS).

2.2.1.3 Verificação de regras em modelos BIM

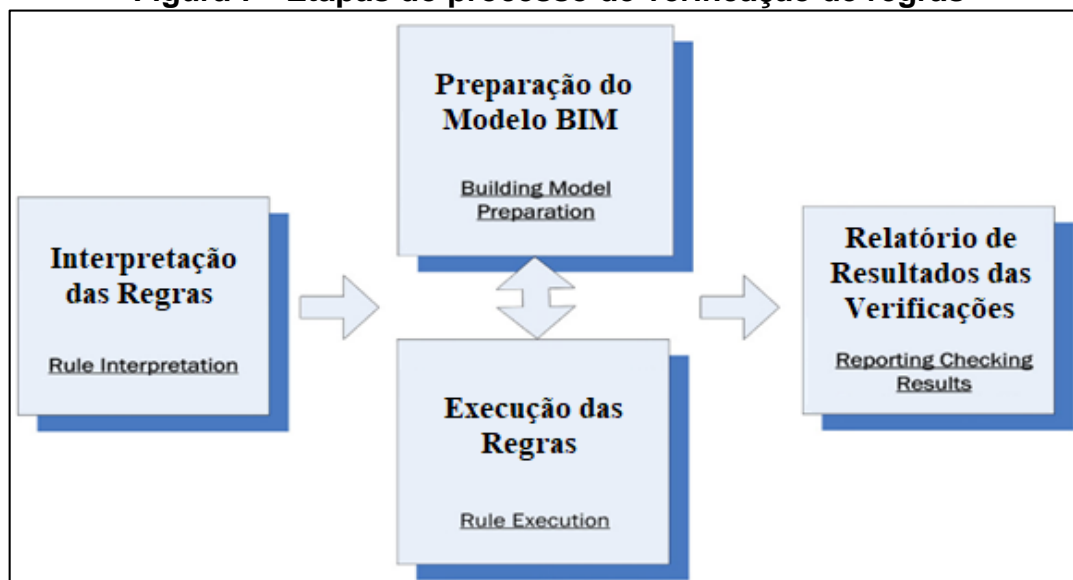
Antes do surgimento do termo BIM já existiam soluções computacionais voltadas para a verificação de regras de projetos de engenharia e arquitetura. O trabalho de Lopez, Elam e Reed (1989) é um exemplo de solução para análise de conformidade de engenharia em projetos, tendo como base os sistemas CAD, bem como outras TIC disponíveis na época. Os autores já mencionavam que sistemas de engenharia do futuro seriam divididos em diversos componentes e que precisariam ser integrados, e apresentaram uma solução de verificação de projetos baseada em regras e em modelos de representação do conhecimento. A melhor maneira de manter um acoplamento fraco entre sistemas integrados seria uma abordagem baseada em regras, conforme explicam os autores.

O processo de verificação da conformidade de projetos com relação a códigos (*code conformance checking*), de verificação de códigos (*code checking*), ou, de

forma mais genérica, de verificação de regras (*rule checking*) vem evoluindo nos últimos anos e esse se aplica aos ambientes de *software* BIM. Nesse contexto, alguns trabalhos envolvendo a verificação automática de códigos ou de regras aplicada à modelagem BIM foram consultados para compreender o funcionamento dessa abordagem (EASTMAN *et al.*, 2009; FRANÇA; SCHEER, 2017; MAINARDI NETO, 2016; MANZIONE, 2017; PORTO *et al.* 2017; SOLIHIN; EASTMAN, 2015).

Eastman *et al.* (2009) listaram quatro etapas para sistematizar o processo de verificação automática de regras em modelos BIM, como mostrado na Figura 7. Essas etapas são descritas no Quadro 2. De acordo com o modelo de processo apresentado por Eastman *et al.* (2009), na etapa de interpretação das regras é feita a interpretação da estrutura lógica das regras para sua aplicação. Na etapa de preparação do modelo BIM, as informações a serem recuperadas, necessárias para a execução da verificação de regras, são extraídas e derivadas dos modelos. Na etapa de execução, as regras são aplicadas aos modelos BIM. Ressalte-se que essa etapa interage com a etapa de preparação, tendo como base valores recuperados e derivados dos modelos BIM. Na etapa de geração do relatório, os resultados das verificações são exibidos ao projetista verificador ou outro demandante da informação.

Figura 7 - Etapas do processo de verificação de regras



Fonte: Adaptado de Eastman *et al.* (2009).

Quadro 2 - Etapas do processo de verificação de regras

Etapa		Descrição	Detalhes e Exemplos
1	Interpretação das Regras (<i>Rule Interpretation</i>)	Traduz bases ou fontes escritas de regras para um conjunto de regras implementáveis computacionalmente	Métodos de tradução regras em formato de texto, seja por meio de programação de computadores ou empregando outros procedimentos sistematizados, como lógica de predicados. Ontologias de nomes e propriedades podem ser usadas para a definição de regras, que são então escritas em códigos-fonte de computador ou tabelas paramétricas.
2	Preparação do Modelo BIM (<i>Building Model Preparation</i>)	Extrai e deriva dados do modelo BIM para verificação	Geração de visões ou vistas específicas dos modelos (<i>model views</i>), dando suporte, por exemplo, à derivação de propriedades implícitas usando objetos BIM aprimorados (<i>enhanced objects</i>), de novos modelos ou de visões ou vistas de modelos e análises baseados em desempenho. Também se aplica à visualização de parâmetros de regras de <i>layout</i> .
3	Execução das Regras (<i>Rule Execution</i>)	Aplica regras ao modelo BIM	Verificação sintática de visões ou vistas específicas dos modelos (<i>model views</i>) ou o gerenciamento de extração e envio de visões ou vistas para análise, considerando a integralidade ou completude da verificação de regras e/ou a consistência de versões do modelo.
4	Relatório de Resultados das Verificações (<i>Reporting Checking Results</i>)	Relata os resultados de volta ao verificador	Relatório gráfico contendo as instâncias de regras verificadas e referência às regras utilizadas.

Fonte: Adaptado de Eastman *et al.* (2009).

Solihin e Eastman (2015) apresentaram uma conceituação teórica sobre o uso de regras para verificação automática. Como exemplos práticos foram considerados alguns ambientes de *software* BIM, como o *Solibri Model Checker*. Foram apresentadas as seguintes classificações para os tipos de regras utilizadas no processo de verificação automática, de acordo com o nível de complexidade:

- a) verificações com base em dados explícitos;
- b) verificações com base em valores de atributos derivados simples;
- c) verificações com base na estrutura de dados estendida;
- d) verificações e sugestões de ações ou soluções corretivas.

Mainardi Neto (2016) apresentou uma solução para verificação de regras em projetos de infraestrutura utilizando BIM. Na solução implementada, que utilizou o *software Solibri Model Checker*, foram tomados como referência os passos do processo de verificação de regras proposto por Eastman *et al.* (2009). Uma

classificação dos tipos de regras a serem verificadas é apresentada pelo Mainardi Neto (2016), em que novas categorias de regras foram sugeridas para atender aos diversos níveis de complexidade de regras encontradas nos modelos BIM utilizados.

Porto *et al.* (2017) apresentaram um aplicativo que realiza a verificação automática de conformidade de projetos de construção usando uma plataforma de modelagem 3D para BIM. Os códigos verificados consistem em Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Minas Gerais, que regulamentam, entre outros aspectos, as cargas de incêndio em edifícios e áreas perigosas. Os algoritmos de verificação foram implementados utilizando a linguagem de programação C# e as interfaces de programação de aplicativos (API) do *software* Autodesk Revit. Ressalta-se que esse trabalho foi uma importante fonte de consulta, pois na presente pesquisa também foi utilizada a API do *software* Revit e a linguagem de programação C#, mas a aplicação gerada foi executada em outra versão desse *software* BIM e de forma conjugada com outras ferramentas e soluções.

Manzione (2017) apresentou uma revisão sistemática da literatura das publicações envolvendo os termos BIM, *rule checking* e *code checking*. Foi feita uma análise das publicações encontradas, classificadas de acordo com as seguintes categorias: Regras codificadas em linguagem computacional, Experimentos com plataformas de *software* comerciais, Linguagens baseadas em lógica, Ferramentas para extração e tradução das regras em linguagem computacional, Ontologia, Ferramentas de pesquisa e checagem de dados em RDF, Ferramentas automáticas para extração das regras de textos comuns, Linguagem orientadas por domínio específico, Teorias, Tabelas paramétricas e Semântica. Grande parte dos estudos levantados pelo autor indicavam o uso de regras codificadas em linguagem computacional, como a BERA e BIMRL, por meio de APIs. Entretanto, a linguagem BER se aplica a APIs não abertas do Solibri Model Checker, conforme conclui o autor, que também comentou que muitas das referências encontradas fizeram o uso de “desenvolvimento de *plugins* acoplados a aplicativos comerciais como o Revit, Tekla e Solibri. Deles somente o Revit possui sua API aberta, sendo, portanto, uma oportunidade para o desenvolvimento de aplicações sobre esse aplicativo” (MANZIONE, 2017). O autor verificou que a adequação do IFC para utilizar linguagens semânticas é uma tendência de inovação, e também sugeriu, com base nas lacunas verificadas, pesquisas na área de novas linguagens para a verificação de regras usando web semântica e ontologias e sobre a etapa de preparação de regras.

França e Sheer (2017) apresentaram uma revisão da literatura sobre publicações que tratam da verificação de códigos ou regras (*code/rules checking*) aliado ao uso do BIM. Foram analisadas publicações até o ano de 2016 e mediante uma compilação dos diferentes usos possíveis para a verificação automática de regras os autores concluíram que há diferentes formas de classificação de regras, mas ambas partem de regras mais simples e evoluem em uma escala de complexidade. Vale ressaltar que na presente pesquisa foram utilizadas apenas verificações de regras que se encaixam como regras do tipo simples em qualquer uma das metodologias de classificação analisadas em França e Scheer (2017), pois é verificada a informação armazenada diretamente nos objetos BIM. Assim, a informação necessária para análise pode ser recuperada mediante, por exemplo, ferramentas que permitem acessar a coleção de objetos BIM e seus parâmetros ou utilizando linguagens de programação que acessam essas coleções via interfaces de programação de aplicativos (API).

Os processos de verificação automática de regras e códigos são importantes para o presente estudo porque a solução computacional aqui desenvolvida utiliza uma adaptação desse processo, tendo como base as normas técnicas e padrões regulatórios sobre a modelagem BIM. Os itens a serem verificados são parâmetros armazenados em modelos BIM, que contêm os códigos do sistema de classificação da informação da construção. O detalhamento da solução desenvolvida é apresentado mais adiante.

2.2.1.4 Gestão da informação em BIM

A Gestão da Informação (GI) é relevante para o processo de tomada de decisão, tanto em organizações que participam da cadeia produtiva da área de AEC quanto para os usuários do ambiente construído. A necessidade de informação fez com que as aplicações gráficas voltadas para a geração de projetos em formato digital e desenhos técnicos, se desenvolvessem para uma nova forma de projetar, ou melhor, de modelar a informação da construção (BIM). Os processos de modelagem BIM surgiram com a evolução do uso das ferramentas de projeto auxiliado por computador (CAD) depois que elas permitiram, além da geração de desenhos bidimensionais (2D), a criação de representações ou modelos geométricos tridimensionais (3D).

Nesse contexto, os principais assuntos, conceitos e tecnologias relacionados à

GIC no contexto da indústria de AEC e, em especial, da modelagem BIM, tendo em vista os objetivos da presente pesquisa, foram estudados como parte da fundamentação teórico-conceitual e detalhados nesta subseção, de forma agrupada por tema. Esses assuntos, conceitos e tecnologias foram abordados nesta subseção de forma sucinta, mas procurou-se abranger uma grande variedade de aplicações dessas áreas na modelagem BIM. Assim, foi possível abstrair as características mais comuns e apresentar considerações sobre o uso de técnicas, tecnologias e padrões da indústria de AEC em conjunto com a GIC.

Baracho, Almeida e Pereira Junior (2016) revisitam a análise dos sistemas de classificação, ontologias e outros termos, no âmbito da Ciência da Informação, aprofundando essa análise com a introdução da aplicação desses conceitos e instrumentos no contexto da indústria de AEC. Os autores dão especial destaque na relação entre aspectos, que fazem parte da GIC, e o uso da Modelagem da Informação da Construção (BIM). Mediante uma revisão da literatura com buscas pelos termos ontologia, BIM e outros similares, os autores notaram que, apesar de serem utilizadas ontologias para ajudar no gerenciamento das informações nos modelos BIM, derivando, por exemplo, a BIM semântica, não foi observado um compromisso ontológico bem definido quando do seu uso. Uma das conclusões foi a identificação de uma lacuna na bibliografia, considerando esses termos.

Tendo em vista esses trabalhos e conceitos relacionados com a GIC e as TIC aplicadas à modelagem BIM, a presente pesquisa identificou uma lacuna com relação ao uso do BIM associado aos sistemas de classificação, que apesar de fazerem interface com as ontologias, são temas que versam sobre aspectos distintos, como discutido anteriormente. A presente pesquisa aborda ainda uma aplicação mais específica da classificação, relacionada ao uso de sistemas de classificação aplicados à indústria de AEC, que são aqui chamados de sistemas de classificação da informação da construção (CICS), e são abordados na subseção seguinte.

2.2.2 Sistemas de classificação da informação da construção (CICS)

Nesta subseção são apresentados alguns dos sistemas de classificação da informação da construção (CICS), que são importantes ferramentas para organizar a informação contida nos modelos e nos processos de trabalho envolvidos no BIM, tendo como base a aplicação dos processos de GIC nos fluxos de informação que

permeiam todo o ambiente construído. Exemplos de CICS são os sistemas OmniClass, UniClass, CoClass e, no caso do Brasil, do sistema definido pela norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Um CICS deve cobrir todas as etapas, fases, disciplinas e tecnologias envolvidas nos processos que envolvem o ambiente construído, bem como as diferentes entidades, incluindo materiais, técnicas e procedimentos de construção. Deve-se considerar que os modelos de informação BIM se tornam cada vez mais robustos e abrangentes ao longo do ciclo de vida da construção, e podem ainda utilizar diversos recursos tecnológicos para integrar constantemente ambientes informacionais diversos e diferentes tipos e volumes de informações. Diversos CICS surgiram ao longo dos anos, em diferentes contextos e usando diferentes critérios (EASTMAN *et. al.*, 2014). O uso dos CICS está em constante adaptação, e acompanha a evolução da adoção de padrões e tecnologias pela indústria de AEC. Trabalhos contendo comparações sobre o uso dos CICS, bem como discussões sobre suas vantagens e desvantagens foram consultados para compreender o atual estado da arte sobre o uso dos CICS (ASFARI; EASTMAN, 2016; EKHOLM, 1999; EKHOLM, 2005; GOMES *et al.*, 2018; JØRGENSEN, 2011; KULA; ERGEN, 2018; LAAKSO; NYMAN, 2016; LOU; GOULDING, 2008; ZANCHETTA *et. al.*, 2017).

Lou e Goulding (2008) compararam os CICS mais difundidos na época com relação às seguintes categorias: facilidade de uso, expansibilidade, compatibilidade, profundidade, aceitação e facilidade de compreensão, como mostrado na Tabela 1, em que foi dada uma nota de 1 a 5, sendo 5 a maior aderência ao aspecto analisado. Desconsiderando os sistemas United Nations Standard Products and Services Code® (UNSPSC, 2021) e *Yellow Pages*, que são sistemas genéricos e se aplicam a qualquer produto, e o ISO/DIS 12006-3, que se refere à própria parte 3 da norma internacional ISO 12006 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007), não sendo um CICS pronto para uso, os sistemas OmniClass e Masterformat obtiveram a pontuação mais alta na soma dos valores de todas as categorias. Vale ressaltar, entretanto, que o Masterformat é utilizado pelo OmniClass. Zanchetta *et. al.* (2017) analisaram o arcabouço regulatório sobre BIM do continente europeu, que não tem um CICS unificado e adotado oficialmente. Os autores revisitam o trabalho de Lou e Goulding (2008) e reiteram que o OmniClass seria o CICS mais apropriado para aplicar um CICS na verificação de desempenho em processos construtivos.

Tabela 1 - Comparação entre sistemas de classificação

Sistema	Facilidade de uso	Expansibilidade	Compatibilidade	Profundidade	Aceitação	Facilidade de compreensão	Total
BCA, Cingapura	4	4	3	1	5	3	20
HSB, NSW, Austrália	5	1	1	1	2	3	13
CSLB, California, EUA	5	3	2	1	2	3	16
Works Branch, Hong Kong	4	4	3	1	5	3	20
CI/SfB (Reino Unido)	4	4	3	4	2	5	22
Uniclass (Reino Unido)	3	5	3	3	3	3	20
CAWS (Reino Unido)	5	3	3	3	4	4	22
STABU LexiCon (Holanda)	2	1	5	4	5	3	20
POSC/Caesar (Noruega)	1	1	5	3	5	2	17
BARBi (Noruega)	2	2	5	4	5	3	21
SfB (Suécia)	5	5	1	4	2	5	22
BSAB (Suécia)	4	4	4	3	3	3	21
MasterFormat (América do Norte)	3	4	5	3	4	4	23
Yellow Pages	5	3	3	2	5	5	23
CICS	4	4	2	2	3	2	17
EICS	4	3	2	2	3	2	16
UNSPSC	5	3	5	3	4	4	24
ISO/DIS 12006-3	1	5	5	4	5	4	24
IAI-IFC	1	3	5	4	5	4	22
OmniClass	3	3	4	4	5	4	23

Fonte: Adaptado de Lou e Goudling (2008).

Asfari e Eastman (2016) apresentam uma análise comparativa de quatro CICS utilizados na época. Os CICS foram o OmniClass, o MasterFormat, o UniFormat e o Uniclass e os autores destacaram que classificar modelos de uma forma padronizada é um passo importante na organização de bibliotecas de produtos de construção. Eles compararam esses quatro sistemas usando os quatro critérios: Objetivo e propriedades; Estrutura; Princípio de agrupamento; Organização e taxonomias das tabelas. Os sistemas OmniClass e Uniclass são facetados e abrangem mais de uma perspectiva de análise, ganhando, portanto, uma avaliação melhor. Entretanto, vale ressaltar que o MasterFormat e o UniFormat são utilizados pelos OmniClass, pois esses sistemas estabelecem uma padronização para a terminologia e agregam semântica nos modelos BIM. O OmniClass, que é o sistema adotado nos Estados Unidos e no Canadá, e o Uniclass, adotado no Reino Unido, tiveram destaque, pois

atendem melhor aos seguintes princípios: finalidade e propriedades, estrutura, princípio de agrupamento e organização e taxonomias das tabelas.

Segundo Laakso e Nyman (2016), o objetivo da ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015) é de coordenar vários CICS regionais e nacionais. A harmonização retrospectiva de alguns CICS com o padrão IFC (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018a) foi avaliada por Ekholm (1999). Vale destacar que a integração do IFC com a ISO 12006-2:2015 é uma forma de facilitar a adoção da gestão da informação baseada em objetos, no entanto, o ponto de partida para o desenvolvimento do IFC foi rejeitar explicitamente a influência de sistemas de classificação existentes em sua estrutura (EKHOLM, 2005; LAAKSO; NYMAN, 2016). Gomes *et al.* (2018) apresentam um estudo sobre a avaliação de uma proposta existente para um CICS a ser adotado em Portugal, considerando diversos outros CICS existentes e outros documentos e orientações, como Mandatos, Normas Europeias Harmonizadas (ENh), Normas Portuguesas (NP) e Avaliações Técnicas Europeias (ETA). Os autores propõem o desenvolvimento de uma tabela dos “Produtos” e uma de “Propriedades”, assim como a adoção do sistema Uniclass 2015, e da estrutura da ISO 12006-2:2015. Nota-se que um ponto comum entre a maioria dos CICS existentes é a sua aderência à especificação da norma internacional ISO 12006-2:2015, que trata da estrutura genérica para a classificação da informação utilizada na construção, apresentando conceito e suas relações básicos para a estruturação de um CICS.

O trabalho de Kula e Ergen (2018) traz uma análise em que requisitos para a sua utilização na área de gestão de instalações (Facilities Management - FM) foram identificados e analisados. Os autores também selecionaram três CICS (OmniClass, UniClass, CoClass) entre os doze principais que foram encontrados na literatura, e os indicaram como adequados para uso na FM por possuírem uma estrutura facetada. Apesar desses três CICS passarem pelo crivo de serem padrões abertos, de acordo com normas internacionais, mais especificamente a ISO 12006-2:2015, os autores concluíram, que o OmniClass e Uniclass são os dois mais adequados porque, além de compatíveis com o BIM, são mais comumente utilizados internacionalmente. Com um critério mais restritivo ainda Kula e Ergen (2018) consideram que o OmniClass está um passo à frente porque incorpora outros dois sistemas de classificação poderosos, o MasterFormat o UniFormat. Uma análise mais detalhada das tabelas

envolvidas nos CICS será mostrada mais adiante neste trabalho. Os autores recomendam a utilização do OmniClass com a argumentação final de que esse sistema tem a vantagem de ser apoiado pelo BuildingSMART, um instituto de liderança mundial na área de BIM (BUILDINGSMART, 2008).

O OmniClass e o Uniclass são os mais próximos do CICS brasileiro, definido pela norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Estudos analíticos desses sistemas são apresentados a seguir.

2.2.2.1 O Sistema OmniClass

Nesta subseção é apresentado e detalhado o sistema de classificação da informação da construção (CICS) OmniClass. O documento *Introdução e guia do usuário (Introduction and User's Guide)* do sistema OmniClass (CONSTRUCTION STANDARD INSTITUTE, 2020) é uma publicação oficial do Construction Specifications Institute (CSI) que contém a explicação sobre o funcionamento e a estrutura desse sistema. A seguinte definição do sistema OmniClass é apresentada nessa publicação:

O OmniClass® é um sistema de classificação abrangente para a indústria da construção. O sistema OmniClass pode ser usado para muitas aplicações, como a catalogação/organização em arquivos de materiais ou a organização de informações de projetos, mas sua principal aplicação é fornecer uma estrutura de classificação para bancos de dados eletrônicos e software, enriquecendo as informações utilizadas nesses recursos. O OmniClass incorpora outros sistemas existentes atualmente em uso como base de duas de suas tabelas - MasterFormat® para a Tabela 22 - Resultados da Obra/Trabalho e UniFormat® para a Tabela 21 - Elementos. (CONSTRUCTION STANDARD INSTITUTE, 2020, p.2, tradução nossa)³

Vale ressaltar que apesar de mantido e desenvolvido com foco na América do Norte, o OmniClass, lançado em 2000, também pode ser usado em outros países. Conforme descrito em CSI (2020), esse sistema ou método de classificação se aplica a todo o ciclo de vida dos projetos e a todo o ambiente construído, abrangendo

³ “OmniClass® is a comprehensive classification system for the construction industry. OmniClass can be used for many applications, such as filing physical materials or organizing project information, but its chief application is to provide a classification structure for electronic databases and software, enriching the information used in those resources. OmniClass incorporates other extant systems currently in use as the basis of two of its Tables - MasterFormat® for Table 22 - Work Results and UniFormat® for Table 21 - Elements.”

[...] o conteúdo de todos os tipos de construção - edifícios comerciais e institucionais, infraestruturas ou construções horizontais, como estradas e ferrovias, plantas e construções industriais, projetos de construção pesada, como barragens e pontes, e até mesmo construções residenciais unifamiliares. Essa abrangência e diversidade de cobertura permitem organizar, filtrar, classificar e recuperar informações e padronizar as trocas de dados digitais. (CONSTRUCTION STANDARD INSTITUTE, 2020, p. 2, tradução nossa).⁴

A classificação das informações de projetos da área de AEC é feita mediante a aplicação de códigos de classificação aos componentes do ambiente construído. Entretanto, conforme CSI (2020), esse sistema também pode servir para comunicar trocas de informações geradas durante o ciclo de vida do projeto, como as exigidas pelo Construction-Operations Building Information Exchange (COBie) (NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, 2014). O OmniClass se mantém alinhado à estrutura e as recomendações da norma ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015) e foi desenvolvido observando os seguintes princípios orientadores:

Quadro 3 - Princípios orientadores do sistema OmniClass

	Princípio orientador
1	O OmniClass é um padrão aberto e extensível disponível para a indústria de AEC em geral.
2	Há uma troca de informações completa e aberta entre os participantes no desenvolvimento do OmniClass.
3	O OmniClass está sendo desenvolvido e atualizado com ampla participação da indústria.
4	O desenvolvimento do OmniClass está aberto a qualquer indivíduo ou organização que queira participar ativamente.
5	A indústria como um todo, ao invés de qualquer organização, governará o desenvolvimento e disseminação do OmniClass.
6	O OmniClass é focado na terminologia e prática norte-americana.
7	O OmniClass é compatível com os padrões de sistemas de classificação internacionais apropriados.
8	Os esforços aplicáveis em outras partes do mundo são revisados e adaptados conforme apropriado.
9	Sistemas de classificação existentes, referências e materiais de pesquisa aplicáveis ao desenvolvimento do OmniClass são considerados na formulação do OmniClass.

Fonte: Adaptado de CSI (2020, p. 2, tradução nossa)⁵.

⁴ “OmniClass intentionally includes content from all types of construction - commercial and institutional buildings, horizontal construction like roads and railways, process plants and industrial construction, heavy civil projects like dams and bridges, and even single-family residential construction. This breadth and depth of coverage allows for organizing, filtering, sorting, and retrieving information, and standardizing digital data exchanges.”

⁵ “OmniClass is an open and extensible standard available to the AEC industry at large. There is a full and open exchange of information between participants in OmniClass development. OmniClass is being developed and updated with broad industry participation. OmniClass development is open to any individual or organization willing to actively participate. The industry as a whole, rather than any

O OmniClass não pode ser caracterizado como um sistema estritamente aberto ou extensível, conforme disposto em CSI (2020). Entretanto, esse sistema considera, em seu desenvolvimento, informações, conhecimentos e expertise individuais e de grupo. Cada uma das 15 tabelas que compõem o sistema OmniClass se refere a uma faceta diferente sobre a informação da construção. Assim, elas podem ser utilizadas para classificar diferentes tipos de informação. Essa abordagem deixa o sistema OmniClass bastante robusto e alinhado com a TCF (CONSTRUCTION STANDARD INSTITUTE, 2020). As combinações de classificações independentes podem ser refinadas para adicionar mais pontos de acesso e avaliação da informação, ou mesmo para classificar assuntos mais complexos. As descrições das 15 tabelas do sistema OmniClass são mostradas no Quadro 4.

Quadro 4 - Tabelas do sistema OmniClass

Tabela	Descrição	Descrição original
11	Entidades da construção por função	<i>Construction entities by function</i>
12	Entidades da construção por forma	<i>Construction entities by form</i>
13	Espaços por função	<i>Spaces by function</i>
14	Espaços por forma	<i>Spaces by form</i>
21	Elementos	<i>Elements</i>
22	Resultados do trabalho	<i>Work results</i>
23	Produtos	<i>Products</i>
31	Fases	<i>Phases</i>
32	Serviços	<i>Services</i>
33	Disciplinas	<i>Disciplines</i>
34	Funções organizacionais	<i>Organizational roles</i>
35	Ferramentas	<i>Tools</i>
36	Informações	<i>Informações</i>
41	Materiais	<i>Materiais</i>
49	Propriedades	<i>Properties</i>

Fonte: Adaptado de CSI (2020).

Os objetos que fazem parte de um modelo BIM são agrupados e relacionados em uma estrutura que independe da classificação utilizada pelos usuários, que podem chamar esses objetos de componentes, elementos, ou partes de uma construção (CONSTRUCTION STANDARD INSTITUTE, 2020). Um sistema de classificação serve, então, para ajudar um usuário da informação a recuperá-la a partir de uma consulta ao repositório, que no caso do uso da metodologia BIM são os modelos

one organization, will govern development and dissemination of OmniClass. OmniClass is focused on North American terminology and practice. OmniClass is compatible with appropriate international classification system standards. Applicable efforts in other parts of the world are reviewed and adapted as appropriate. Existing legacy classification systems, references, and research materials applicable to OmniClass development are considered in the formulation of the OmniClass.”

digitais da construção, ou modelos BIM e seus componentes, ou objetos BIM. Tendo isso em vista, os usuários de sistema de classificação como o OmniClass podem refinar suas buscas para visualizar as informações recuperadas de forma que faça sentido para eles. Assim, o uso do sistema de classificação faz com que os usuários não precisem conhecer completamente a composição e a estrutura interna de relacionamento dos agrupamentos de objetos pesquisados (CONSTRUCTION STANDARD INSTITUTE, 2020).

Conforme CSI (2020), a estrutura básica da informação abordada na classificação da construção, conforme ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015), é agrupada em três categorias primárias e compõe um modelo de processo. Essas três categorias são divididas em 12 “Tabelas”, sugeridas para organizar as informações da construção. A correspondência entre as tabelas do sistema OmniClass e as categorias da norma ISO 12006-2:2015 é mostrada no Quadro 5.

Quadro 5 - Categorias da ISO 12006-2:2015 e tabelas do OmniClass

Categoria (ISO 12006-2:2015)	Tabela (<i>OmniClass</i>)
Resultados da construção (<i>Construction results</i>)	11
	22
Recursos da construção (<i>Construction resources</i>)	23
	33
	34
	35
	36
	41
Processos da construção (<i>Construction processes</i>)	31
	32

Fonte: Adaptado de CSI (2020).

A Tabela 49 (Propriedades) do sistema OmniClass corresponde às “classes relacionadas à propriedade”, que é uma outra categoria ou grupo de classificação definido na ISO 12006-2:2015. Conforme CSI (2020), as propriedades são vistas como um conjunto auxiliar de critérios que podem ser aplicados a objetos e usados para especializar a classificação, de forma a complementar o esquema de classificação. As 15 tabelas do sistema OmniClass são mapeadas para as 12 tabelas sugeridas na norma ISO 12006-2:2015 da maneira mostrada no Quadro 6.

Quadro 6 - Tabelas do OmniClass e da ISO 12006-2:2015

Omni Class	ISO 12006-2:2015		Observações
Tabelas	Tipo de classificação		
11	A.8	Função, forma, material ou qualquer combinação destes (<i>Form or function or user activity or any combination of these</i>)	As tabelas 11 e 12 do OmniClass classificam as informações apresentadas pelas tabelas A.8 e A.9 da ISO 12006-2:2015 a partir de diferentes facetas complementares.
12	A.9	Função, forma, material ou qualquer combinação destes (<i>Form or function or user activity or any combination of these</i>)	
13	A.10	Função, forma, material ou qualquer combinação destes (<i>Form or function or user activity or any combination of these</i>)	As tabelas 13 e 14 do OmniClass apresentam duas formas complementares de classificação das informações descritas pela tabela A.10 da ISO 12006-2:2015.
14			
21	A.11	Função, forma, posição ou qualquer combinação destes (<i>Function or form or position or any combination of these</i>)	
22	A.12	Atividades realizadas para se obter o resultado construído, assim como os recursos utilizados (<i>Work activity and resources used</i>)	
23	A.3	Função, forma, material ou qualquer combinação destes (<i>Function or form or material or any combination of these</i>)	
31	A.7	Atividade construtiva ou as etapas do processo construtivo dentro do ciclo de vida do processo de projeto e obra, ou qualquer combinação (<i>Construction activity or construction process lifecycle stage or any combination of these</i>)	
32	A.6	Atividade de gestão (<i>Management activity</i>)	
33	A.4	Disciplina ou o papel, ou combinação destes (<i>Discipline or role or any combination of these</i>)	As tabelas 33 e 34 do OmniClass separam os métodos de classificação propostos pela Tabela A.4 da ISO 12006-2 em duas tabelas complementares.
34			
35	A.5	Função, forma, material ou qualquer combinação destes (<i>Function or form or material or any combination of these</i>)	
36	A.2	Conteúdo (<i>Content</i>)	
41	A.13	Tipo de propriedade (<i>Property type</i>)	
49			

Fonte: Adaptado de CSI (2020) e ABNT (2018a).

A ISO 12006-3: 2007 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007) complementa o resultado da organização da informação proposta pela ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015), mas usando as informações de entradas das tabelas de classificação como pontos de definição ou características das informações orientadas a objetos (CONSTRUCTION STANDARD INSTITUTE, 2020). Entretanto, é

argumentado que essa abordagem orientada a objetos permite uma descrição das características dos objetos sem indicar uma preferência para o tipo de relacionamento entre eles.

Vale ressaltar que em um contexto de OO os relacionamentos entre os objetos podem ser de dois tipos, por composição ou por herança. A herança é utilizada para construir hierarquias e os relacionamentos de agregação se dividem ainda em agregação por composição e agregação por agrupamento. No sistema OmniClass os relacionamentos podem ser feitos tanto por composição quanto por herança, conforme CSI (2020), que acrescenta que a estrutura estabelecida pela ISO 12006-3:2007 permite que os computadores armazenem e relacionem informações de uma maneira OO, enquanto as tabelas do sistema OmniClass fornecem uma variedade de pontos de vista para os dados mais voltada para humanos, em uma abordagem útil para filtrar e apresentar as informações.

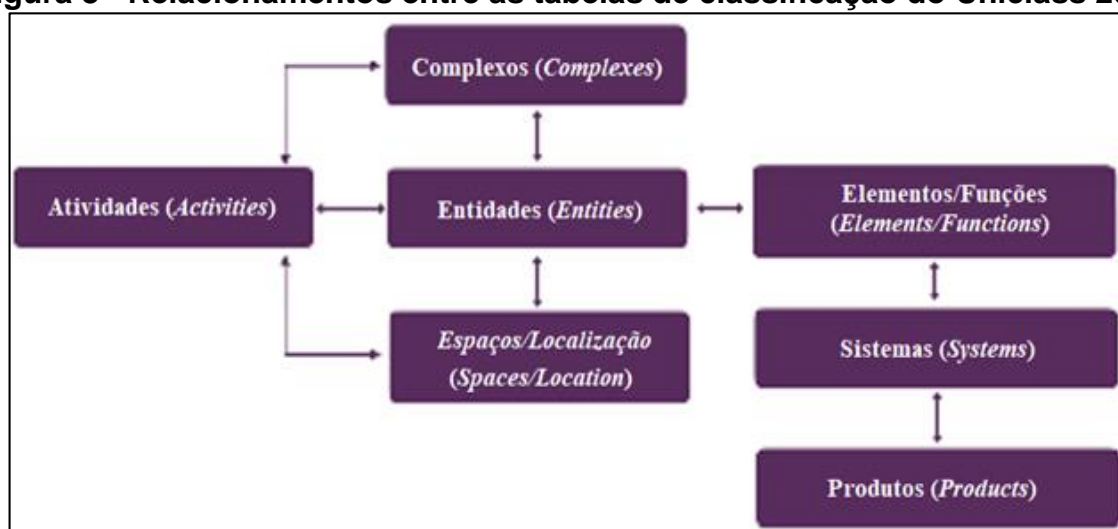
2.2.2.2 O Sistema Uniclass

Nesta subseção é apresentado e discutido o sistema Uniclass, que assim como o OmniClass, é composto por uma série de tabelas de classificação e é aderente à norma internacional ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015). O Uniclass é o sistema de classificação adotado oficialmente pelo Reino Unido e foi publicado pela primeira vez em 1997, tendo sido desenvolvido pelo Comitê de Informações de Projetos da Indústria da Construção (Construction Industry Project Information Committee - CPIC). A versão 2015 do Uniclass é gerenciado pela Especificação Nacional de Construção (NATIONAL BUILDING SPECIFICATION, 2020).

Conforme a NBS (2020), o Uniclass pode ser utilizado por todos os envolvidos em atividades como projetos de construção, obras e fornecimento de insumos para o ambiente construído e possui uma plataforma global integrada, disponibilizada online. Esse sistema é composto por uma tabela de Complexos [imobiliários] (*Complexes*), que descrevem os projetos de maneira geral e, dependendo de seu uso específico, podem ser divididos em agrupamentos de Entidades (*Entities*), Atividades (*Activities*) e Espaços/Localização (*Spaces/Location*). As Entidades são o ponto de partida do projeto e da obra, podendo ser descritas usando os Espaços/Localização, as Atividades, e também, de forma linear, pelos Sistemas (NATIONAL BUILDING

SPECIFICATION, 2020). Acrescenta ainda que os principais componentes arquitetônicos de uma Entidade são os Elementos (*Elements*), como telhados, paredes e pisos, e as Funções (*Functions*), como drenagem, aquecimento ou ventilação, e esses aspectos fazem parte da tabela chamada Elementos/Funções. Os Elementos e as Funções são descritos em detalhes pelos Sistemas que, por sua vez, contêm os Produtos. (*Products*) A Figura 8, apresentada a seguir, mostra em alto nível a estrutura de tabelas do Uniclass 2015.

Figura 8 - Relacionamentos entre as tabelas de classificação do Uniclass 2015



Fonte: Adaptado de NBS (2020).

Um detalhamento do sistema de classificação Uniclass é apresentado a seguir, tendo como base o trabalho de Gelder (2015), elaborado por um dos participantes do processo da revisão desse sistema ocorrida em 2015. Após uma revisão, o sistema Uniclass, denominado Uniclass 1997, passou a ser acompanhado de uma especificação funcional e a ser chamado de Uniclass 2015 (GELDER, 2015). O Quadro 7 mostra uma comparação entre os sistemas Uniclass 2015 e OmniClass, destacando sua aderência à norma ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015).

Quadro 7 - Tabelas ISO 12006-2:2015, Uniclass 2015 e OmniClass

ISO 12006-2:2015	Uniclass 2015	OmniClass
A.2 Informação da construção (<i>Construction information</i>)	Forma de informação (<i>Form of information</i>)	36 Informação (<i>Information</i>)
A.3 Componentes da construção (<i>Construction products</i>)	Produtos (<i>Products</i>)	23 Produtos (<i>Products</i>)
-	-	41 Materiais (<i>Materials</i>)
A.4 Agentes da construção (<i>Construction agents</i>)	Agentes (<i>Agents</i>)	33 Disciplinas (<i>Disciplines</i>)
	-	34 Funções organizacionais (<i>Organization roles</i>)
A.5 Apoio da construção (<i>Construction aids</i>)	Auxiliares da construção (<i>Construction aids</i>)	35 Ferramentas (<i>Tools</i>)
A.6 Gestão (<i>Management</i>)	Gerenciamento de Projeto (<i>Project management</i>)	32 Serviços (<i>Services</i>)
A.7 Processo construtivo (<i>Construction process</i>)	Fases do projeto (<i>Project phases</i>)	31 Fases (<i>Phases</i>)
-	Regiões (<i>Regions</i>)	-
-	Distritos (<i>Districts</i>)	-
A.8 Complexos da construção (<i>Construction complexes</i>)	Complexos (<i>Complexes</i>)	-
A.8 Unidades da construção (<i>Construction entities</i>)	Entidades (<i>Entities</i>)	11 Entidades da construção por função (<i>Construction entities by function</i>)
	Entidades por forma (<i>Entities by form</i>)	12 Entidades da construção por forma (<i>Construction entities by form</i>)
-	Atividades (<i>Activities</i>)	-
A.10 Espaços construídos (<i>Built spaces</i>)	Espaços (<i>Spaces</i>)	13 Espaços por função (<i>Spaces by function</i>)
	-	14 Espaços por forma (<i>Spaces by form</i>)
A.11 Elementos da construção (<i>Construction elements</i>)	Elementos (<i>Elements</i>)	21 Elementos - UniFormat (<i>Elements - includes designed elements - UniFormat</i>)
-	Sistemas (<i>Systems</i>)	-
A.12 Resultados do trabalho (<i>Work results</i>)	-	22 Resultados do trabalho - MasterFormat (<i>Work results - MasterFormat</i>)
A.13 Propriedades construtivas (<i>Construction properties</i>)	Propriedades (<i>Properties</i>)	49 Propriedades (<i>Properties</i>)
-	Modelagem (<i>Modelling</i>)	-

Fonte: Adaptado de Gelder (2015) e ABNT (2018a).

O Quadro 8 mostra os sete princípios apontados por Gelder (2015) como parte da especificação funcional do Uniclass 2015, bem como um resumo dos comentários feitos pelo autor sobre cada um deles.

Quadro 8 - Princípios da especificação funcional do Uniclass 2015

Princípio	Descrição
Digital (<i>Digital</i>)	O Uniclass 2015 é publicado digitalmente e gratuito. São oferecidas consultas online, suporte à pesquisa por sinônimo e múltiplos idiomas. As tabelas de classificação são publicadas em uma abordagem dinâmica, pois podem sofrer alterações ao longo do tempo.
Unificado (<i>Unified</i>)	Os CICS existentes à época do lançamento do Uniclass 2015 não eram unificados. Um sistema unificado se adequa à metodologia BIM, pois os usuários podem utilizar diversas tabelas simultaneamente para referenciar o mesmo componente de uma construção. Além de ser unificado, os são códigos semelhantes para o mesmo tipo de construção em diferentes tabelas, o que facilita a classificação.
Multisetorial (<i>Cross sector</i>)	A característica multisetorial ou neutralidade setorial é a possibilidade de aplicação da classificação a diversos tipos de ambiente construído, como edifícios, terrenos e infraestruturas. Também é feita uma análise quanto à neutralidade de disciplinas, funções e propósitos.
Ciclo de vida completo do ativo (<i>Full asset lifecycle</i>)	Uniclass 2015 cobre todo o ciclo de vida de ativos, que é composto por desenvolvimento, que pode ser do projeto ou da obra, uso do ambiente construído, gerenciamento de instalações (Facilities Management - FM) e demolição. Existem fases independentes e tabelas de gerenciamento, que não se concentram apenas na execução dos projetos. Classes de objetos físicos são mutuamente exclusivas em uma hierarquia contínua. Por exemplo, a classificação parte de Regiões, em um nível mais geral, e se especializa até Produtos, que são os menores componentes de uma construção. No decorrer do projeto, novas informações são adicionadas e as antigas eventualmente tornam-se redundantes. O uso tradicional de tecnologias da informação descartaria essa informação redundante, mas na modelagem BIM ela deve ser retida para referências e verificações posteriores. Além disso, as informações são armazenadas em variados tipos de documentos. Assim, surge a necessidade da existência de um arcabouço (<i>framework</i>) para a modelagem BIM. Um avanço na padronização desses documentos e práticas é a norma internacional ISO 19650 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018b, 2018c), que trata do gerenciamento da informação no BIM.
Uso de sistemas legados (<i>Legacy considered</i>)	As referências a sistemas legados fundamentam a congruência da estrutura de classificação do Uniclass 2015. Foram utilizadas ideias e conceitos vindos de uma série de outros sistemas de classificação. Como exemplos tem-se a expansão do uso das tabelas do Uniclass 1997 foi expandido e o uso de dois dígitos por nível nos códigos de classificação, que foi uma ideia emprestada do OmniClass.
Conformidade com a norma ISO 12006-2:2015 (<i>Compliance with ISO 12006-2:2015</i>)	A conformidade com a ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015) facilita o mapeamento entre CICS. A versão de 2015 dessa norma traz vantagens com relação a sua versão anterior. Um exemplo é o aumento da semântica de algumas classes, como “Elemento”, que passou a poder ter como características, além da função, uma forma e uma posição.
Integração com código de barras (<i>Integration with bar coding</i>)	Os códigos de barra usam mecanismos específicos, que podem variar entre países e fabricantes. Assim, eles não deveriam fazer parte da especificação de um CICS, de acordo com o Gelder (2015).

Fonte: Adaptado de Gelder (2015).

Além desses princípios, outros requisitos da especificação funcional do Uniclass 2015 são analisados por Gelder (2015). Com relação à neutralidade de sistemas de aquisições, a forma de aquisição, que pode se referir a conceitos como importado, de segunda mão, de prateleira, pré-fabricado e feito à mão, são tratados

como propriedades do objeto, de forma similar à sua cor ou sua densidade. Outra neutralidade destacada pelo autor é a de escala, pois o Uniclass 2015 não tem uma abordagem rígida de granularidade. É chamada atenção para o fato de o Uniclass 2015 não possuir uma tabela específica para os “resultados da obra” (outros sistemas e tradução podem usar também os termos “resultados do trabalho” ou “resultados da construção”). O termo “seções de trabalho” (*work sections*) é equivalente à tradicional tabela de “resultados da obra”, conforme explicado pelo autor. Essa tabela seria uma combinação das tabelas “Sistemas” e “Produtos” e esse aspecto foi substituído no Uniclass 2015 por tabelas separadas para “Sistemas” e “Produtos”, sendo os Sistemas são normalmente executados por empreiteiros. Devido à estrutura hierárquica e digital do sistema de classificação, uma eventual tabela de “seções de trabalho” seria redundante, e que é possível atender às necessidades de visualizações alternativas mediante ao acesso aos bancos de dados no contexto do BIM. O autor comenta ainda que a existência de uma tabela de “resultados da obra” ou “resultados do trabalho” (*work results*) está sujeita a uma discussão acerca do termo trabalho (*work*), já que ele abrange não apenas os serviços executados durante a fase de construção. Outro aspecto que gera discussão sobre a existência dessa tabela, é que ela trabalha com relacionamentos de composição (parte-todo), e não de uma estrutura hierárquica (níveis de especialização ou tipificação).

Gelder (2015) comenta ainda que apesar de grande parte dos sistemas de classificação legados serem compatíveis com a ISO 12006-2:2015, as correspondências muitos para muitos entre algumas tabelas desses sistemas são inevitáveis. Por exemplo, há sistemas que classificam determinados aspectos por função, outros, por materiais. Assim, os mapeamentos entre sistemas ficariam inviáveis e quase inúteis em termos de intercâmbio de informações. O autor argumentou que uma esperança para resolver essas questões seria uma eventual migração das práticas de mercado para o Uniclass, que seria então um padrão de classificação único. Alguns trabalhos estavam em andamento na época, desenvolvidos pela RIBA Enterprises, como o NBS Create: Biblioteca BIM Nacional NBS (*NBS National BIM Library*), Serviço de Informação de Construção IHS (*IHS Construction Information Service*) e Seletor de Produtos RIBA (*RIBA Product Selector*). Esses são exemplos de iniciativas para a unificação e a padronização.

Vale ressaltar que essas iniciativas, que dão suporte ao sistema Uniclass, continuaram se desenvolvendo e atualmente há outras soluções computacionais que

utilizam esse sistema para auxiliar na gestão de projetos, como as ferramentas *online* NBS *Chorus* (NATIONAL BUILDING SPECIFICATION, 2021), utilizada para especificação de projetos, e NBS BIM Toolkit, que permite definir, gerenciar e verificar a entrega de informação ao longo do ciclo de vida dos ativos (NATIONAL BUILDING SPECIFICATION, 2020a).

Outro aspecto da especificação funcional do Uniclass 2015 discutido por Gelder (2015) é a não ambiguidade de classificações. Um exemplo dado para a classificação não ambígua são as “janelas”, que são classificadas no Uniclass 2015 pela tabela de Sistemas (*Systems*), e os seus componentes, como molduras, vidro, revestimento e alças, são classificados na tabela de Produtos (*Products*). Assim, as “janelas”, que também são subelementos tecnicamente neutros, também podem ser classificadas na tabela de Elemento (*Elements*) como “aberturas operáveis da parede externa” (*External wall operable openings*), por exemplo. Esses “elementos”, por sua vez, são partes de outro “elemento”, também tecnicamente neutro, que é uma “parede” externa (*External Wall*). Em contraponto, como exemplo de classificação ambígua tem-se, por exemplo, a “iluminação externa”, que no sistema Uniclass 1997 podia ser classificada mediante o uso de duas tabelas (G e H), e possui nessas tabelas pelo menos cinco ocorrências. Já no Uniclass 2015, há apenas uma opção de classificação para esse “elemento”. Tem-se ainda o exemplo das “folhas de vidro”, que ilustra as múltiplas classificações permitidas por uma única tabela do sistema Uniclass 1997. Esses objetos podiam ser classificados por tipo de fabricação (por exemplo, “temperado”), por função (por exemplo, “segurança”) e por acabamento (por exemplo, “colorido”) na Tabela L.

Gelder (2015) argumenta que o sistema Uniclass 2015 classifica cada objeto de maneira distinta, em uma mesma tabela, e evita ainda o uso de “outros” ou “diversos” ou “uso misto”, estando alinhado com as boas práticas de uso de sistemas de classificação. Outro aspecto discutido é o uso de códigos e sua aplicação para interpretação humana ou por máquina. As descrições textuais, segundo o autor, são mais úteis para os humanos enquanto os códigos são apropriados para leitura por máquina. Entretanto, o valor da indexação proporcionada pelos códigos é reconhecido, pois assim eles podem ser estendidos para lidar com múltiplas granularidades, como tipos, instâncias e classes.

Algumas especificidades que merecem destaque com relação aos mecanismos de numeração e ordenação das tabelas do Uniclass 2015 são que a numeração não

é consecutiva, sendo deixadas lacunas para eventuais adições. Cada nível nas tabelas pode ter até 99 membros, embora na prática ele seja considerado "completo" quando atinge cerca de 20, e nos níveis inferiores é usada a ordem alfabética. O autor explica ainda que a numeração leva em consideração o uso das letras nas palavras em inglês, citando como exemplo, que o espaço para palavras que começam com a letra "S" é maior do que para palavras que começam com a letra "Z".

Com relação ao esquema do sistema de classificação, o Uniclass 2015 é aderente à ISO 12006-2:2015. Uma Entidade pode ter três subclasses: as Atividades, que representam a visão do cliente ou proprietário; os Espaços, que são a representação da visão do projetista; e os Elementos, em uma visão do construtor. Adicionalmente, Os Espaços são usados para modelar os espaços e os mapear com as Atividades e Sistemas componentes. O autor ressalta ainda que nesse esquema um objeto de uma classe só pode ter um objeto filho em outra classe, apresentando como um bom exemplo uma parede de pedra seca (*dry stone wall*), em que há um Elemento, a parede externa (*external free-standing wall*), com apenas um subelemento, a estrutura externa da parede (*external free-standing wall structure*), e é composta por apenas um sistema, o sistema de parede de pedra seca (*dry stone walling system*), devendo ser executada por um empreiteiro especializado utilizando apenas um Produto, as pedras encontradas no local (*site-found stones*).

Mediante a análise dos princípios da especificação funcional do Uniclass 2015, mostrados no Quadro 8, nota-se que esse CICS foi concebido de maneira robusta e utilizou experiência de outros sistemas previamente existentes. Além disso, foram mencionados aspectos da GIC, como a necessidade de organizar e tratar os diversos tipos de documentos utilizados na modelagem BIM e a necessidade de uso de um arcabouço (*framework*), e de gerenciar a informação, bem como a menção à norma internacional ISO 19650 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018b, 2018c). Esse sistema mostra-se, então, adequado para uma aplicação efetiva da gestão da informação com o uso do BIM. Entretanto, adaptações são necessárias para sua aplicação no Brasil, que também já possui um CICS nacional, como mostrado a seguir. Vale ressaltar que o Uniclass foi utilizado como fonte de consulta para a elaboração do sistema de classificação brasileiro. Assim, os princípios apresentados e discutidos nesta subseção, também se aplicam, com as devidas adequações, ao CICS brasileiro.

2.2.2.3 O Sistema Brasileiro (ABNT NBR 15965)

As bases para o sistema brasileiro de Classificação da Informação da Construção (CICS) estão em construção na forma de um conjunto de normas técnicas contendo a ABNT NBR ISO 12006-2 e a ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). A especificação detalhada desse sistema é feita pelas partes da norma ABNT NBR 15965, que têm como principal referência em sua elaboração o sistema OmniClass. Assim, as tabelas que compõem o sistema de classificação brasileiro foram desenvolvidas a partir das tabelas do sistema OmniClass, que é o CICS adotado na América do Norte. Outro CICS utilizado como referência para o desenvolvimento dessa norma brasileira foi o sistema Uniclass. A versão 2015 desse sistema faz uso de um ambiente *online* para sua divulgação, podendo ser associado ou integrado a outros sistemas. Como discutido anteriormente, ambos esses CICS possuem iniciativas e padronizações relacionadas com a gestão da informação aplicada ao ambiente construído. Vale ressaltar que aspectos relevantes desses sistemas, que estão em constante desenvolvimento, continuam sendo estudados e analisados, e eventualmente podem ser incorporados nas partes da norma técnica que definem o CICS brasileiro, ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). A parte 1 dessa norma, ABNT NBR 15965-1:2011 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011), organizou inicialmente o CICS brasileiro da seguinte forma:

Quadro 9 - Estrutura de classes inicial do CICS brasileiro

Identificador de grupo	Tema	Assunto	Identificador do assunto	Tabela (Classificação)
0	Características dos objetos	Materiais	M	OM
		Propriedades	P	OP
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: Adaptado de ABNT (2011).

Vale ressaltar que a norma ABNT NBR 15965-1:2011 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011) passa por um processo de revisão que incorpora duas tabelas ao CICS brasileiro. Essa alteração ocorre no Grupo 4, que passa a ser composto por quatro tabelas, quais sejam: Unidades por função (4U), Unidades por forma (4V), Espaços por função (4A) e Espaços por forma (4B).

A Coletânea de Guias BIM ABDI-MDIC desenvolvida por meio de uma parceria entre a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e o Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e Serviços (MDIC), doravante chamada de Guias BIMA ABDI-MDIC (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017a), lançada em novembro de 2017, tem como objetivo “disponibilizar informações orientadoras para as práticas de planejar, projetar (especificar-quantificar-orçar), contratar, fiscalizar e aceitar obras públicas ou privadas, em aplicações BIM [...]” (BRASIL, 2017). Essa coletânea é composta pelos seguintes seis volumes:

- a) Guia 1: O processo de projeto BIM;
- b) Guia 2: Classificação da informação no BIM;
- c) Guia 3: BIM na quantificação, orçamentação, planejamento e gestão de serviços da construção;
- d) Guia 4: Contratação e elaboração de projetos BIM na arquitetura e engenharia;
- e) Guia 5: Avaliação de desempenho energético em projetos BIM;
- f) Guia 6: A implantação de projetos BIM. (BRASIL, 2017).

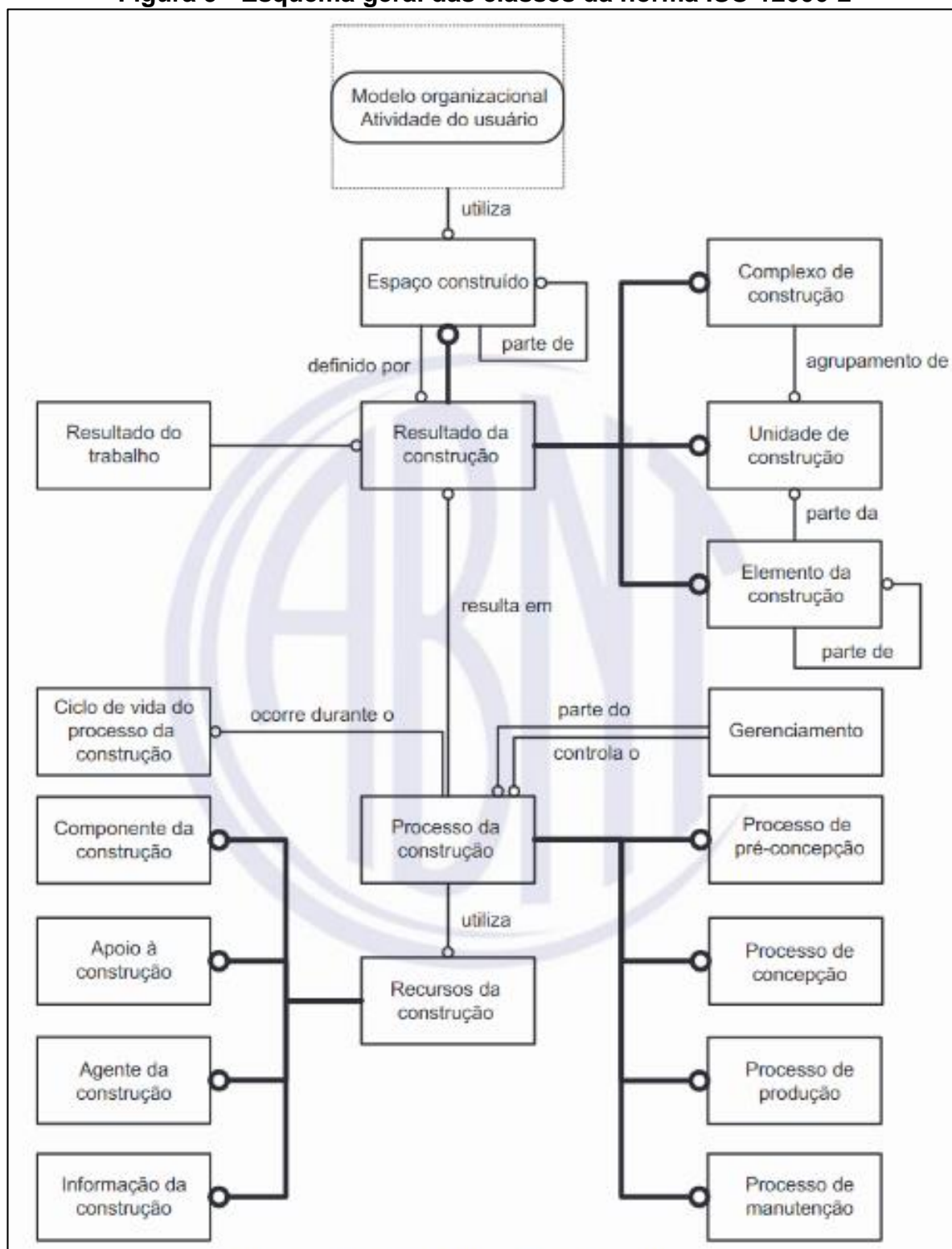
Esses guias consistem em um conjunto de orientações para a implantação do processo de projeto com o uso da metodologia BIM. Eles visam orientar a implementação, contratação, coordenação e desenvolvimento do processo do projeto BIM. Alguns exemplos de documentos e outros materiais auxiliares estão disponíveis para *download* no *website* da Plataforma BIM BR (BRASIL, 2018). Essa plataforma está alinhada à Estratégia BIM BR, como apresentado mais adiante neste trabalho. Entre os documentos disponíveis estão tutoriais e arquivos explicativos, bem como tabelas e documentos detalhando e explicando as normas técnicas brasileira, os fluxos de trabalho a serem seguidos com o uso do processo BIM, documentação sobre como elaborar um Plano de Execução BIM e outros requisitos gerais referentes à

implementação e ao uso do BIM. Os Guias BIM ABDI-MDIC também explicam em detalhes o funcionamento do CICS proposto para ser adotado no Brasil.

A seguir são apresentados alguns detalhes do CICS brasileiro, tendo como base o texto da norma técnica ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) e os Guias BIM ABDI-MDIC (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017a). O Guia 2: Classificação da informação no BIM (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b) trouxe explicações e ilustrações detalhadas sobre a estrutura e o uso do CICS definido pela norma ABNT NBR 15965, a ser adotado no Brasil. Um histórico do desenvolvimento desse CICS é apresentado nesse volume, que começa pela apresentação das entidades ou as classes abordadas na norma ABNT NBR ISO 12006-2:2018 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018a). Vale ressaltar que a ABNT NBR ISO 12006-2:2018 é uma tradução da revisão da norma internacional ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015). Um esquema geral das classes abordadas na norma ISO 12006-2:2018 e seus relacionamentos é apresentado na Figura 9.

O conteúdo de cada parte da norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) é explicado em detalhes no volume 2 dos Guias BIM ABDI-MDIC - Guia 2: Classificação da informação no BIM (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b). Mesmo as partes que ainda não foram publicadas da ABNT NBR 15965 puderam ser explicadas nesse guia, pois a estrutura básica das tabelas de classificação já foi definida, restando apenas a definição dos seus conteúdos. Essas tabelas podem ter uma grande quantidade de níveis hierárquicos, a depender dos termos específicos utilizados na construção civil no Brasil. Ressalte-se que as diferenças regionais precisam ser observadas e que o levantamento dos termos que comporão as tabelas de classificação pode ser dinâmico e necessitar ser complementado pelo uso de outras ferramentas, como dicionários de sinônimos. Esses complementos às tabelas de classificação estão em constante desenvolvimento e são acessíveis a partir da Plataforma BIM BR (BRASIL, 2018).

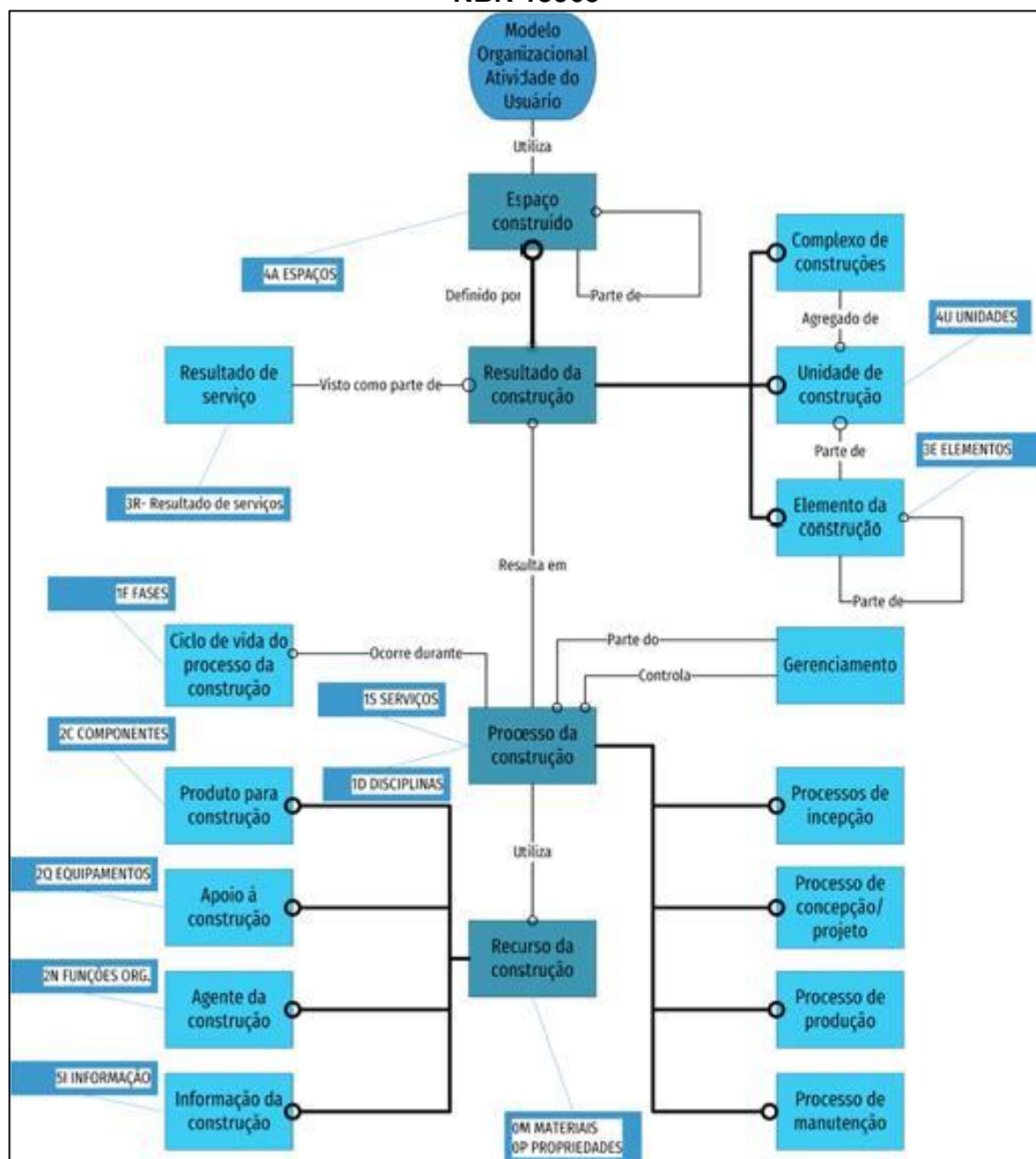
Figura 9 - Esquema geral das classes da norma ISO 12006-2



Fonte: ABNT (2018a).

Os conceitos envolvidos na Tabelas da Norma NBR 15965 se acoplam aos da Norma ABNT NBR ISO 12006-2:2018, como mostrado na Figura 10, a seguir.

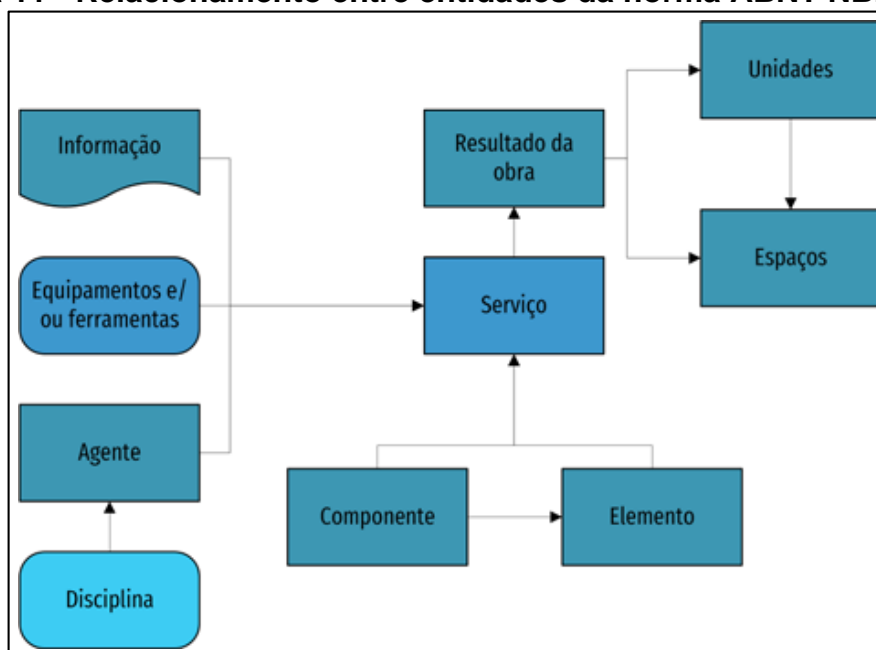
Figura 10 - Correspondência entre entidades das normas ISO 12006-2 e ABNT NBR 15965



Fonte: ABDI (2017b, p. 13).

Os conceitos utilizados na ABNT NBR 15965 representam entidades inter-relacionadas, e cada uma delas equivale a uma classe do CICS brasileiro. Os conteúdos dessas classes são descritos nas Tabelas de Classificação. Na Figura 11, a seguir, é apresentado um digrama com o relacionamento entre as entidades abordadas na norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Figura 11 - Relacionamento entre entidades da norma ABNT NBR 15965



Fonte: ABDI (2017b, p. 15)

O “modelo de visão” adotado pela norma ABNT NBR 15965 é que na construção os processos utilizam recursos para obter resultados. Isso determina a relação entre as entidades dessa norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Com isso, os relacionamentos mostrados na Figura 11 podem ser explicados da seguinte forma:

Um “componente” é parte (ou compõe o todo) de um “elemento” que será parte de um “resultado da obra”. Para obter esse “resultado”, os “agentes” de uma “disciplina” ainda terão que executar um “serviço” utilizando “equipamentos e/ou ferramentas”, seguindo “informações”. As tabelas de materiais e propriedades complementam as demais, estipulando as suas possíveis características. Os “resultados” compõem as “unidades” e seus “espaços” (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b, p. 15).

Ressalte-se que atenção especial é dada ao relacionamento entre três dessas entidades ou tabelas de classificação, quais sejam Componente (Tabela 2C), Elemento (Tabela 3E) e Resultado [da obra] (Tabela 3R), pois elas se aplicam aos objetos BIM estudados na presente pesquisa. Apesar dessas tabelas estarem contidas em partes da norma que ainda não foram publicadas, foi possível prever como seria a estrutura dessas tabelas, pois o CICS brasileiro teve sua base no sistema OmniClass. Os Guias BIM ABDI-MDIC também apresentam uma previsão de como serão descritas essas tabelas, que são especificadas nas partes da norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Vale reiterar

que as tabelas de classificação que compõem o CICS brasileiro são separadas por grupos e seus vínculos com as entidades da norma ISO 12006-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) estão ilustrados na Figura 10 (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b). Algumas delas são detalhadas a seguir, tendo em vista sua aplicação na presente pesquisa.

O Grupo 1 (Recursos da Construção) do CICS brasileiro possui três tabelas: Funções [organizacionais] (Tabela 2N), Equipamentos (Tabela 2Q) e Componentes (Tabela 2C). A tabela de Componentes da construção (Tabela 2C) contém uma organização hierárquica dos produtos da construção e deve ser definida a partir do seguinte conjunto inicial de títulos, que compõem o primeiro nível de detalhamento:

2C.11.00.00 Produtos do lugar/terreno
 2C.13.00.00 Produtos de invólucro estrutural e exterior
 2C.15.00.00 Produtos do interior e acabamentos
 2C.17.00.00 Produtos de proteção, aberturas e passagens
 2C.19.00.00 Produtos de características especiais
 2C.21.00.00 Produtos de mobiliário, acessórios de fixação e equipamentos
 2C.23.00.00 Sistemas de Transporte e Produtos de manuseio de materiais
 2C.25.00.00 Equipamentos de Laboratório e Médicos
 2C.27.00.00 Produtos de serviços gerais das instalações
 2C.29.00.00 Produtos de proteção das instalações e dos ocupantes
 2C.31.00.00 Produtos e equipamentos de encanamento específicos
 2C.33.00.00 Produtos e equipamentos específicos de ar-condicionado
 2C.35.00.00 Produtos e equipamentos específicos elétricos e de iluminação
 2C.37.00.00 Equipamentos e produtos específicos
 2C.39.00.00 Produtos de utilidade e transporte (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b, p. 18).

Além dos dois dígitos iniciais, que representam a tabela de Componentes (Tabela 2C), um componente da construção poderá ter em seu código de classificação até seis níveis de granularidade, como mostrado no seguinte exemplo da classificação de uma “Roldana de veneziana”: 2C.17.21.11.13.13.11 (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b). Vale destacar a informação sobre a classificação de um objeto pode ainda ser complementada, como discutido a seguir.

O Grupo 2 (Resultados da Construção) do CICS brasileiro possui duas tabelas de classificação: Elementos (Tabela 3E) e Resultados [do trabalho/de serviços/da construção/da obra] (Tabela 3R). Duas visões ou facetas sobre os produtos dos processos construtivos podem ser destacadas: a primeira se refere às funções dos resultados produzidos no conjunto da edificação ou construção (Tabela 3R), e a segunda se vincula aos resultados físicos (Tabela 3E), “descrevendo a construção desde os seus elementos, agregados a partir de uma abordagem sistêmica”

(AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b, p. 18). Dessa forma, o grau de detalhamento ou de granularidade da classificação de um componente da construção (Tabela 2C), juntamente com sua classificação como elemento da construção (Tabela 3E), caracterizam produtos similares e, portanto, servem de base para os processos de especificações (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b).

Os Elementos (Tabela 3E) constituem a “base para estabelecer uma construção virtual e estarão presentes desde o estágio de concepção até o estágio de utilização” (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b, p. 18). Conforme definido na ABNT NBR 15965-1:2011, um Elemento é “parte da construção que, individualmente ou combinada com outras partes, exerce uma função predominante no ciclo de vida do empreendimento” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011, p. 2). O primeiro nível de codificação da Tabela 3E é apresentado a seguir:

3E.41.00.00 Estrutura
3E.51.00.00 Instalações e Utilidades
3E.61.00.00 Equipamentos e Mobiliários
3E.71.00.00 Infraestrutura e Utilidades
3E.81.00.00 Equipamentos para Especialidades (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b, p. 18).

Os Elementos (Tabela 3E) compõem “a descrição da edificação desde o início do processo de concepção, sendo intimamente ligados ao conceito de nível de desenvolvimento do projeto (ND), ou em inglês LOD - Level of Development” (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b, p. 18). Vale ressaltar que além do nível de desenvolvimento (ND) há outras medidas do desenvolvimento dos elementos da construção, abrangendo a quantidade de detalhe, ou de informação que um elemento apresenta. A sigla ND também pode se referir ao Nível de detalhe ou de detalhamento dos elementos. Existe ainda uma medida do nível de informação (Level of Information - LOI). Segundo Bolpagni (2016), várias especificações internacionais abordam o nível de desenvolvimento ou de definição de objetos BIM. Alega que entre a gama de informação que pode estar embutida nesses objetos incluem-se os conceitos de Especificação de Progressão de Modelo (Model Progression Specification - MPS), de Especificação de Desenvolvimento de Modelo (Model Development Specification MDP), de Nível de Desenvolvimento e de Nível de Detalhe, e acrescenta que essas especificações normalmente são incluídas em um

Plano de Execução BIM (BIM Execution Plan - BEP). Outra classificação mencionada por Bolpagni (2016) é a que trata da precisão da informação, ou seja, do Nível de Acurácia (Level of Accuracy - LOA). A autora apresenta ainda a terminologia LoX (Level of X), que é um “termo genérico que se refere a todas as variedades de especificações de modelagem semelhantes a Nível de Desenvolvimento, Nível de Definição, Nível de Detalhe e Nível de Precisão” (LEVEL..., 2020).

Na norma internacional ISO 19650-1:2018 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018b), intitulada

organização e a digitalização de informações sobre construções e obras de engenharia civil, incluindo modelagem da informações da construção (BIM) = Gerenciamento da informação usando modelagem da informações da construção - Parte 1: Conceitos e princípios (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018b, tradução nossa).⁶

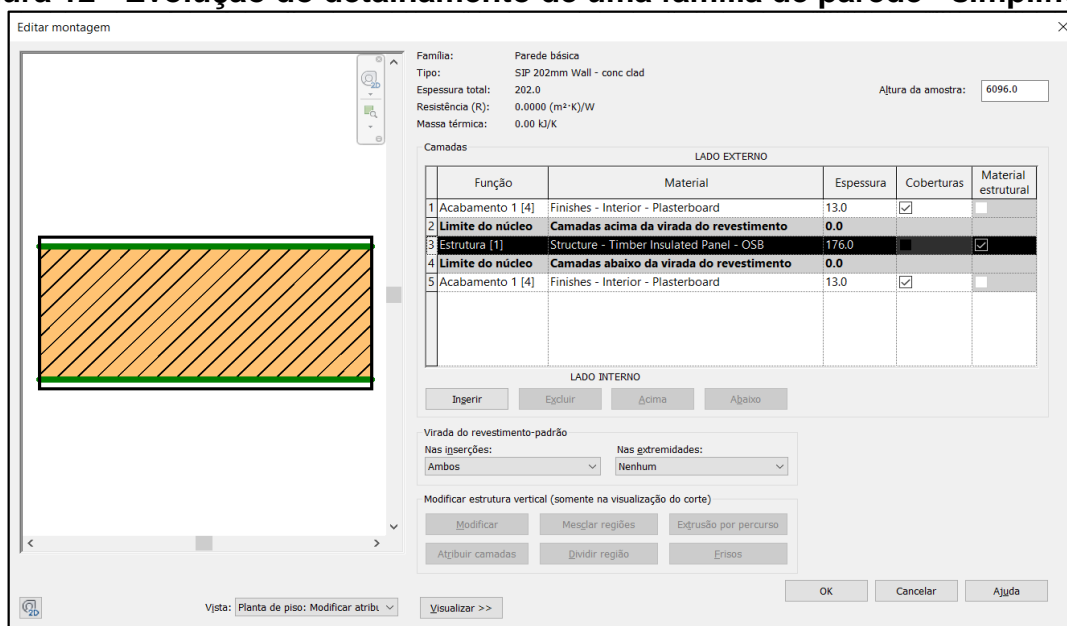
e que tem previsão para ser adotada e traduzida para o Brasil, trata essas definições de níveis de detalhe, desenvolvimento e informação dos elementos da construção de uma forma convergente e abrangente para o que denomina de necessidade do nível de informação (*Level of Information Need*).

Assim, considerando que um elemento pode ter sua representação cada vez mais desenvolvida, o que pode ser medido pelo tanto pelo nível de desenvolvimento, quanto pelo LoX ou pelas especificações abrangentes de necessidade do nível de informação, conforme ISO 19650 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018b, 2018c), a hierarquia da tabela de Elementos da construção (Tabela 3E) deve refletir uma definição progressiva do objeto modelado (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b).

Um exemplo da evolução do nível de desenvolvimento de um elemento é mostrado a seguir nas Figuras 12 e 13. Na Figura 12, uma instância da “Família” de “parede básica” é mostrada em um primeiro momento do detalhamento da construção, contendo apenas três camadas na composição da parede. No segundo momento, mostrado na Figura 13, essa instância de “Família” representa uma evolução do modelo BIM, que é mais detalhado, contendo seis camadas, o que aumenta também a quantidade de informação que o elemento precisa armazenar.

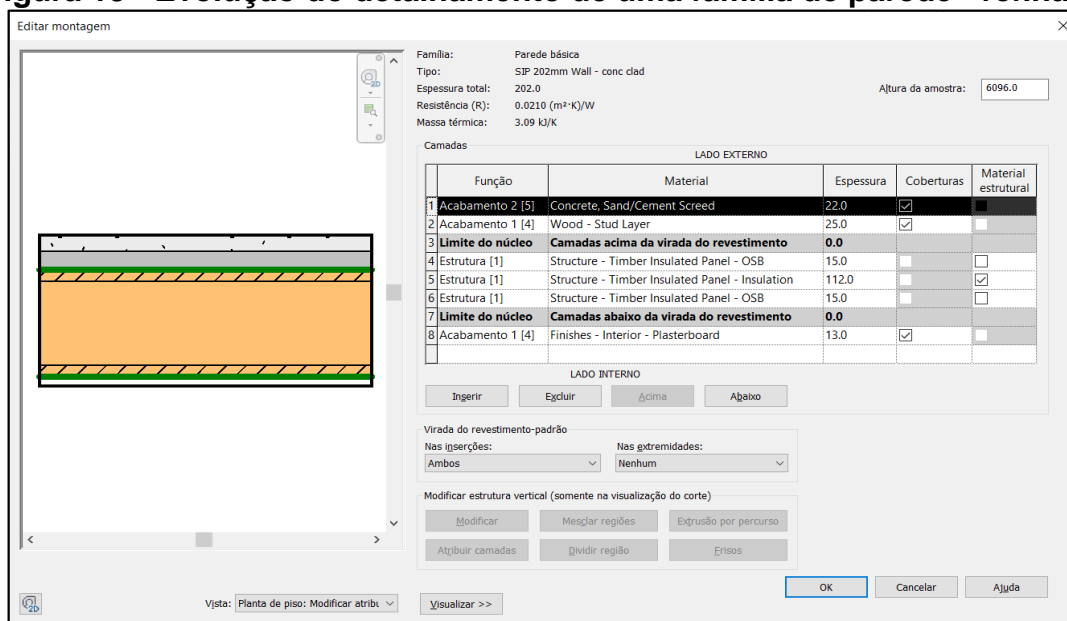
⁶ “ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling - Part 1: Concepts and principles”

Figura 12 - Evolução do detalhamento de uma família de parede - simplificado



Fonte: Elaborado pelo autor com base em ABDI (2017).

Figura 13 - Evolução do detalhamento de uma família de parede - refinado



Fonte: Elaborado pelo autor com base em ABDI (2017).

Os Resultados da construção (Tabela 3R) constituem a maior tabela do CICS brasileiro. O primeiro nível de codificação da Tabela 3R desse sistema de classificação é apresentado a seguir:

- 3R.01.00.00 Requisitos Gerais
- 3R.02.00.00 Condição Existente no Local
- 3R.03.00.00 Concreto
- 3R.04.00.00 Alvenaria

3R.05.00.00 Componentes Metálicos
 3R.06.00.00 Madeira, Plástico e Composição Mista
 3R.07.00.00 Proteção Térmica e Contra a Umidade
 3R.08.00.00 Portas, Janelas e Vidros
 3R.09.00.00 Acabamentos
 3R.10.00.00 Produtos Especializados
 3R.11.00.00 Equipamentos
 3R.12.00.00 Mobiliário
 3R.13.00.00 Construções Especiais
 3R.14.00.00 Sistema de Transporte Vertical e Horizontal
 3R.21.00.00 Sistema de Combate a Incêndio
 3R.22.00.00 Sistemas Hidrossanitários
 3R.23.00.00 Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado (AVAC)
 3R.25.00.00 Sistema de Automação Predial
 3R.26.00.00 Sistema Elétrico
 3R.27.00.00 Sistema de Comunicação
 3R.28.00.00 Sistema de Proteção e Segurança Eletrônica
 3R.31.00.00 Preparação de terreno
 3R.32.00.00 Paisagismo
 3R.33.00.00 Serviço de infraestrutura
 3R.34.00.00 Sistemas de mobilidade
 3R.35.00.00 Construção Marítima e de Hidrovia
 3R.40.00.00 Sistema de Processo (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b, p. 19-20).

Os resultados dos processos construtivos são expressos na Tabela 3R, que

é a que melhor se aplica para a elaboração do planejamento e controle da execução da obra. Ela abrange itens que, em geral, não fazem parte do modelo de projeto, tais como atividades preparatórias de levantamentos ou limpeza de terrenos e atividades complementares ou provisórias (formas e andaimes) (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017b, p. 20).

Um exemplo de orçamento é mostrado na Tabela 2.

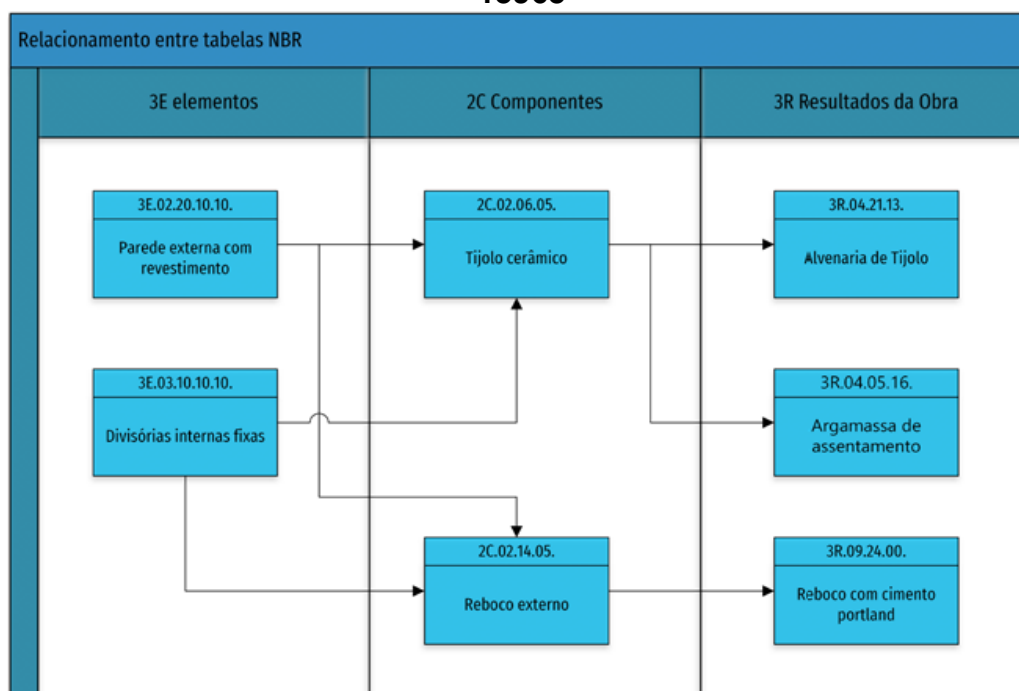
Tabela 2 - Exemplo de cronograma utilizando a tabela 3R

EDT	Código Tabela 3R (ABNT NBR 15965)	Atividade (Task Name)	Duração
1			1 dia?
2	3R.01.05.00	INSTALAÇÃO DO CANTEIRO	5 dias
2.1	3R.01.05.01	Barracão - locação de containers	3 dias
2.2	3R.01.05.04	Instalação provisória	2 dias
2.3	3R.01.05.05	Placa da obra	1 dia
2.4	3R.01.05.06	Localização da obra (topografia)	5 dias
3	3R.01.09.00	PROTEÇÕES TEMPORÁRIAS - EPC	240 dias
3.1	3R.01.09.05	Tapume em telhas metálicas	5 dias
3.2	3R.01.09.04	Aparalixo	240 dias
3.3	3R.01.09.06	Guarda corpo provisório - mo	240 dias
3.4	3R.01.09.07	Tela fachadeiro	240 dias
4	3R.01.07	MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	360 dias
4.1	3R.01.07.01.01	Torre metálica - cremalheira - mobilização e desmobilização	3 dias

Fonte: Adaptado de ABDI (2017b, p. 20).

A Figura 14 ilustra o relacionamento entre as seguintes tabelas de classificação do CICS brasileiro: Componentes (Tabela 2C), Elementos (Tabela 3E), e Resultados [da obra] (Tabela 3R).

Figura 14 - Relacionamento entre as tabelas 2C, 3E e 3R da norma ABNT NBR 15965



Fonte: Adaptado de ABDI (2017b, p. 20).

Com isso, nota-se que o CICS estabelecido pela ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) é facetado. Assim, mesmo que esse CICS tenha sido baseado em outros dois sistemas já consagrados internacionalmente, o OmniClass e o Uniclass, sua aplicação é complexa, pois há diversas formas de realizar as classificações dos componentes, elementos, e demais itens classificáveis de um processo construtivo e do ambiente construído. Considerando as múltiplas facetas disponíveis, diferentes formas de utilização da classificação são possíveis com o uso do CICS brasileiro, mesmo que sejam seguidas as orientações das normas que compõem esse CICS e dos documentos que auxiliam seu uso, como os Guias BIM ADCI-MDIC. Nesse contexto se insere a presente pesquisa, que apresenta uma solução de uso desse CICS para gerar indicadores da qualidade da informação de modelos BIM. Entretanto, vale destacar que esse sistema de classificação ainda não está totalmente pronto para uso, e, portanto, alguns artifícios tiveram que ser adotados, como detalhado mais adiante.

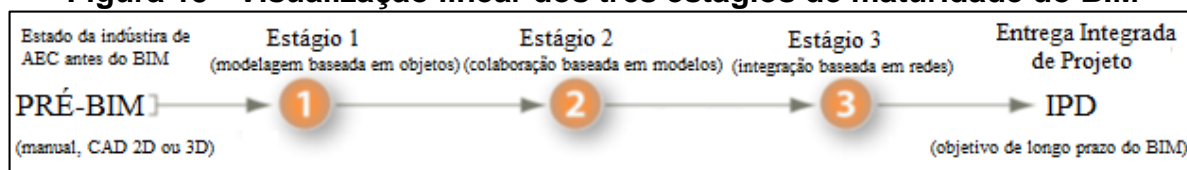
2.2.3 Gerenciamento do ciclo de vida do ambiente construído

A modelagem BIM abrange diversos processos de trabalho e produtos a serem entregues. Esses processos podem ser adotados de diferentes maneiras, assim como os produtos gerados podem variar, dependendo das necessidades das organizações e dos usos pretendidos do BIM em cada projeto. Além disso, os processos de trabalho existentes em uma organização são alterados com a adoção e a implementação do BIM. No contexto da área de AEC, as organizações podem ser produtoras de resultados BIM, como projetistas, construtores ou fornecedores de componentes e materiais, mas também podem ser consumidores do BIM, como proprietários ou usuários do ambiente construído. Em ambos os casos, elas geram e usam a informação da construção, então uma medida da maturidade quanto ao uso do BIM pode ser feita mediante uma avaliação de cada organização, e as medidas de várias organizações, juntamente com a análise de como se deu o processo de implantação do BIM nelas, pode levar a uma avaliação do processo de adoção do BIM em determinada região.

O BIM *Framework* (2021) é um arcabouço abrangente voltado para o uso do BIM (SUCCAR, 2009). Esse trabalho abordou uma investigação sistemática do uso e dos campos e conceitos divergentes que fazem parte da metodologia BIM. A implantação e a adoção do BIM são bastante exploradas nesse *framework*, bem como em seus desdobramentos e desenvolvimentos posteriores. O BIM *Framework* surgiu da identificação e descrição das características essenciais da metodologia BIM feitas considerando as diretrizes internacionais disponíveis na época e é composto pelos seguintes componentes conceituais principais: os Campos, os Estágios, os Passos e as Lentes. Os três Campos do BIM propostos por esse *framework* são as Políticas, os Processos e as Tecnologias. Vale ressaltar, entretanto, que esses campos são interconectados.

Os Estágios do BIM, conforme BIM *Framework*, devem ser gradualmente atingidos pelas organizações para que elas implementem o BIM. A maturidade de uma organização com relação ao uso do BIM depende da implementação de pequenas mudanças, definidas como passos. Os estágios de maturidade do BIM são mostrados na Figura 15. Nota-se que ao final da evolução do processo de maturidade BIM há o estágio que equivale à Entrega de Integrada Projetos (Integrated Project Delivery - IPD) (AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS, 2007; AUTODESK, 2020b).

Figura 15 - Visualização linear dos três estágios de maturidade do BIM



Fonte: Adaptado de Succar (2009).

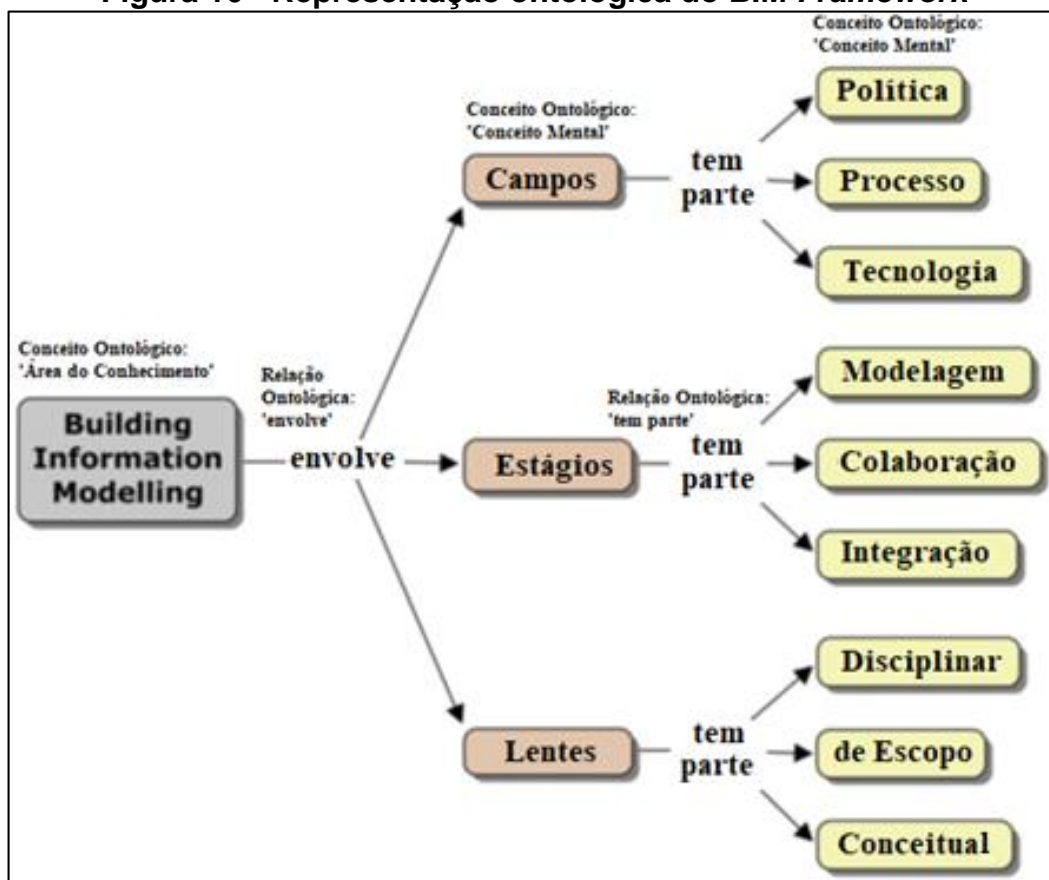
Conforme Succar (2009), uma escala evolutiva para a implantação do BIM deveria seguir os seguintes passos:

- a) Passo 1 - Passar de um estágio pré-BIM, em que são utilizados processos manuais, ou em CAD (2D/3D) para a modelagem baseada em objetos, em que processos de modelagem BIM são realizados com o uso de objetos BIM. Vale ressaltar que os objetos BIM são instâncias paramétricas que representam componentes construtivos, elementos ou resultados da construção;
- b) Passo 2 - Passar de modelagem baseada em objetos para colaboração baseada em modelos, em que os processos de modelagem BIM são colaborativos e multidisciplinares;
- c) Passo 3 - Passar da colaboração baseada em modelos para a integração baseada em redes. Neste estágio de maturidade, os processos de modelagem BIM são integrados e utilizam recursos como redes de computadores e interoperabilidade entre sistemas de informação;
- d) Passo 4 - Passar da integração baseada em redes para a Entrega Integrada de Projetos (IPD).

Exemplos da aplicação do BIM *Framework*, bem como alguns dos resultados já atingidos, incluindo a identificação e a implantação de modelos de conhecimento visual e uma ontologia especializada para representar esses conceitos do domínio do BIM e suas relações são apresentados por Succar (2009).

No BIM *Framework*, cuja representação ontológica está ilustrada na Figura 16, as Lentes são aplicadas aos Campos e Estágios para e gerar visualizações de conhecimento. Elas são como camadas distintas, permitindo assim maior profundidade de análise. Lentes são similares a filtros, mas se aplicam do lado do “investigador”, enquanto os filtros se aplicam aos dados observados (SUCCAR, 2009).

Figura 16 - Representação ontológica do BIM Framework



Fonte: Adaptado de Succar (2009).

O trabalho de Succar (2010) traz um detalhamento de diversas propostas de modelos de maturidade BIM, mas o que se mostrou mais viável tem como base os modelos de maturidade de capacitação de *software* (Capability Maturity Model - CMM e Capability Maturity Model Integration - CMMI). Os modelos CMM/CMMI têm sido amplamente utilizados para avaliar a maturidade de organizações desenvolvedoras de *software* (CARNEGIE MELLON, 2004). Segundo Paulk *et. al.* (1993), em 1986, com assistência da Mitre Corporation, o Software Engineering Institute (SEI), da Universidade Carnegie Mellon (Carnegie Mellon University), começou o desenvolvimento de um arcabouço para a maturidade de processos (*process maturity framework*) que ajudaria as organizações a melhorarem seus processos de *software*. Após quatro anos, esse arcabouço evoluiu para o modelo de maturidade CMM, lançado pelo SEI em 1991. O modelo CMM foi “baseado no conhecimento adquirido em avaliações de processos de *software* e amplo *feedback* da indústria e do governo” e “fornece às organizações uma orientação mais efetiva para o estabelecimento de

programas de melhoria de processos” (PAULK *et. al.*, 1993, p. 7, tradução nossa)⁷. O CMMI é uma evolução do CMM em uma concepção integrada, e contendo mais áreas de processos detalhadas (CARNEGIE MELLON, 2004). Vale ressaltar que os modelos CMM/CMMI podem ser usados no contexto de um projeto, em toda a organização, de forma mais abrangente, ou em apenas em uma subdivisão da organização.

Com relação às alterações nos fluxos ou processos de projeto com o uso do BIM, Manzione (2013), ao propor uma estrutura conceitual de gestão desse processo de forma colaborativa, apresenta um abrangente detalhamento sobre como essa nova metodologia implica na geração e na alteração das entregas de projeto, que passam de documentos, como relatórios, desenhos técnicos em 2D ou em 3D e planilhas eletrônicas, entre outros, para evoluções no detalhamento ou desenvolvimento dos modelos BIM. Esses modelos podem ser então avaliados para medir a maturidade de um projeto, lembrando que os processos podem ser utilizados para medir os graus de maturidade. Esse trabalho indica que a adoção do BIM demanda mudanças nos processos de trabalho de elaboração de projetos na área de AEC. As mudanças também trazer reflexos na gestão desses processos e, conseqüentemente, nos modelos de medição da maturidade quando se utiliza a metodologia BIM.

A matriz de maturidade BIM (Blm³), proposta por Succar (2010) destaca-se entre os trabalhos que envolvem modelos de maturidade aplicáveis aos processos BIM, e é uma ferramenta de conhecimento que incorpora muitos componentes do BIM *Framework* para fins de medição e melhoria de desempenho. Essa matriz foi baseada em modelos de avaliação da maturidade utilizados em processos de Engenharia de *Software*, como os modelos CMM/CMMI (PAULK *et. al.*, 1993; CARNEGIE MELLON, 2004). Conforme argumentado em Succar (2010), a estrutura e o conteúdo dessa matriz se basearam em modelos comprovados de maturidade e de excelência, trazendo, portanto, os benefícios dessas abordagens. Essa matriz mede a maturidade BIM mediante a avaliação da capacitação das organizações com relação ao seu uso, utilizando uma escala com 12 níveis hierárquicos para classificar as organizações, três estágios de capacitação, um conjunto de competências em BIM expandidas a partir de quatro níveis de granularidade e um índice de maturidade em BIM dividido em cinco níveis de maturidade.

⁷ “The CMM is based on knowledge acquired from software process assessments and extensive feedback from both industry and government. By elaborating the maturity framework, a model has emerged that provides organizations with more effective guidance for establishing process improvement programs.”

Rodrigues (2018) apresenta um estudo de caso utilizando a matriz Blm³, em que o grau de maturidade em BIM é medido em empresas de Arquitetura na cidade de São Paulo. Destaca-se, nesse trabalho, um conjunto de recomendações para a adoção do BIM, sendo uma delas a atividade de Gestão da Informação, com especial destaque para a informação não geométrica, que, segundo a autora, deve estar alinhada com os usos do BIM selecionados. Nota-se a necessidade de avaliação da qualidade da informação em modelos BIM. A autora também conclui que o modelo de maturidade Blm³ possui um caráter generalizante, devido a subjetividades presentes em alguns dos itens de avaliação, fazendo com que esse não seja um sistema padronizado. Com isso, para se ter esse modelo de maturidade BIM no âmbito de uma certificação oficial, segundo a autora, “seria preciso detalhar minuciosamente os documentos necessários para o cumprimento dos critérios, definir padrões de qualidade e definir exatamente quais os padrões externos que a organização avaliada deve seguir” (RODRIGUES, 2018).

No trabalho de Succar, Sher e Williams (2012) foi proposto um conjunto de métricas para avaliar a maturidade BIM tendo em vista o processo de capacitação nas organizações, que por sua vez se refere a uma medida das habilidades mínimas necessárias para desempenhar as atividades inerentes aos processos da metodologia BIM. A estratégia de adoção do BIM nos países é outro aspecto a ser considerado. Nesse contexto, o BIM *Framework* se encontra bastante evoluído e faz parte uma iniciativa com abrangência mundial e a missão de acelerar a transformação digital do ambiente construído, a iniciativa BIME (BIM Excellence Initiative ou BIME Initiative - BIM INITIATIVE, 2020) (SUCCAR, 2020).

A BIME *Initiative* propõe a aplicação da matriz de maturidade BIM (Blm³) nas organizações. Conforme detalhado em Succar (2020), essa iniciativa prevê avaliações reiteradas das organizações ao longo do tempo, para que assim se possa ter uma medida da evolução da sua maturidade BIM, o que pode ser utilizado para acompanhar a adoção dessa metodologia tanto em escala local quanto global. No Brasil, há uma iniciativa nacional com relação à apuração do estado de adoção do BIM. Essa avaliação do cenário nacional com relação à adoção do BIM utiliza a metodologia adotada pela BIME *Initiative*, que considera diversos aspectos, inclusive o nível de maturidade das instituições praticantes dos processos do BIM. Essa avaliação, por sua vez, pode indicar o nível de desenvolvimento dos modelos BIM utilizados pelas organizações e do nível de colaboração entre os participantes.

Vale destacar que o BIM *Framework* foi aprimorado para abordar uma definição mais detalhada dos conceitos utilizados para a macro adoção do BIM em Succar e Kassem (2015). Os modelos para a Macro Maturidade BIM apresentados nesse trabalho mostram diferentes visões do processo de adoção do BIM e foram refinados mediante uma revisão abrangente de guias, protocolos e mandatos BIM adotados em vários países (KASSEM *et al.*, 2013). Um desses modelos é composto por oito vetores ou componentes, e foi utilizado por Kassem e Amorin (2015) em uma comparação das práticas de utilização do BIM no Brasil e na União Europeia. Os vetores utilizados nesse trabalho para avaliação do nível de maturidade BIM dos países são:

- a) estratégias, objetivos e estágios;
- b) publicações notáveis;
- c) atores líderes;
- d) resultados padronizados;
- e) arcabouço regulatório;
- f) medidas e otimização;
- g) educação e aprendizado;
- h) tecnologia e infraestrutura.

Esses vetores equivalem aos componentes que foram desenvolvidos primeiramente em Succar (2010), tendo em vista os pontos em comum da política do BIM nos países (KASSEM; AMORIN, 2015).

Outra iniciativa que visa promover a adoção do BIM é o padrão norte americano National BIM Standard-United States® (NBIMS-US™), mantido pela NIBS e vinculado à *Building Smart Alliance*. De acordo com o NIBS, esse padrão “fornece uma padronização consensual para todo o ambiente construído e faz referência a normas e padrões existentes, documentando trocas de informações e fornecendo as melhores práticas de negócios” (NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, 2014). O NBIMS-US possui um núcleo internacional, mas também implementa padrões específicos, como as tabelas do sistema de classificação da informação da construção OmniClass, que é o sistema adotado tanto nos Estados Unidos quanto no Canadá. A normalização americana sobre o BIM define conceitos para troca de informação e padronização no desenvolvimento de aplicações, abordando assuntos como a garantia da qualidade da informação e a implementação de um modelo de maturidade.

Um modelo conceitual para a adoção de ferramentas digitais de informação no setor da construção é apresentado por Sacks, Girolami e Brilakis (2020), que o denominam de casa da construção tecnológica (*House of Construction Tech*). Esse modelo é construído como uma analogia a uma casa, em que a adoção das ferramentas digitais de informação equivale ao telhado, sustentado por vigas que se referem à inovação e são compostas por três características do empreendedorismo: as ideias, o investimento e a implementação. As vigas são apoiadas em três pilares de sustentação, que são as tecnologias, o modelo de negócio e a necessidade de um processo de negócio. Nesse modelo conceitual, o BIM, composto por tecnologias, processos e pessoas, se encontra na base, ou no piso da casa, que tem suas fundações na teoria da concepção (*design*), na ciência da informação e dos dados e na teoria da produção.

Sacks, Girolami e Brilakis (2020) ressaltam ainda que cada subdomínio envolvido no modelo conceitual proposto, por exemplo, análise estrutural, extração de quantitativos, ou detalhamento de produtos da construção, tem seu próprio conjunto de conceitos implícitos, e defendem que o problema-chave que impede a evolução do BIM para o uso de técnicas computacionais avançadas é o fato de existirem modelos específicos por disciplina, pois a colaboração multidisciplinar fica dificultada, mesmo com o uso de modelos federados. Outro problema apontado é que mesmo quando as informações são completas, as representações OO não são adequadas para as entradas padrão das atuais técnicas de inteligência artificial (Artificial Intelligence - AI). Os autores acrescentam ainda que as regulamentações e especificações para projetos e códigos de construção geralmente definem parâmetros contendo restrições geométricas complexas muito difíceis de expressar usando conjuntos de regras do tipo “se, então”. Entre as soluções exploradas pelos autores para esses problemas estaria a obtenção de modelos de informação mais completo, o que pode ser feito, por exemplo, mediante seu enriquecimento semântico. Outra solução seria o desenvolvimento de estratégias de engenharia de dados para tornar as informações compatíveis. A utilização da teoria dos grafos para representar os modelos BIM e de técnicas de aprendizado de máquina (*Machine Learning*) não supervisionado para detectar anomalias e objetos classificados incorretamente em modelos BIM também foram aspectos discutidos. Assim, os autores propõem o estabelecimento de pilares do que chamam de *Construction Tech*, uma analogia com o conceito de *High Tech*, mas aplicado à área de AEC e comentam ainda que é necessária pesquisa básica

para classificar os objetos BIM de acordo com sua adequação ao enriquecimento semântico usando diferentes métodos de AI.

O artigo *Lifecycle information transformation and exchange for delivering and managing digital and physical assets* (SUCCAR; POIRIER, 2020) apresenta a proposta de um arcabouço (*framework*) para gerenciar a transformação e a troca de informações sobre o ciclo de vida de ativos. O foco do trabalho é na informação que permeia as entregas envolvidas nesse processo e os ativos gerenciados podem ser digitais ou físicos. O Lifecycle information transformation and exchange (LITE) *Framework* contém um conjunto de componentes (modelos, conceitos e fluxos) de informação relacionados ao gerenciamento e à entrega de ativos físicos e digitais. Esse *framework* foi adotado para servir como um roteiro para orientar os pontos de verificação de aspectos do sistema de classificação da informação (CICS) brasileiro e foi implementado como parte do protótipo desenvolvido na pesquisa. Assim, a seguir são apresentados em mais detalhes os diagramas e entidade que estão envolvidas nos aspectos abordados pelo LITE *Framework*.

O LITE *Framework* é composto por vários componentes conceituais que precisam ser compreendidos de forma independente e coletiva (SUCCAR; POIRIER, 2020). Esse arcabouço (*framework*) define um Fluxo de Informação que pode ser percorrido em Ciclos de Informação para representar o Ciclo de Vida dos Ativos. Ao percorrer esse fluxo de informação, nota-se a existência de oito Marcos de Informação, bem como outros componentes conceituais.

A forma como as informações fluem e se transformam ao longo do ciclo de vida de um ativo está sintetizada na Figura 17, que mostra as representações visuais dos componentes conceituais desse *framework* de maneira sobreposta.

O resumo visual do LITE *Framework* contém seus componentes conceituais apresentados na Figura 17. Esses componentes, enumerados a seguir, juntamente com as relações entre eles, formam o Ciclo de Informação de um Ativo.

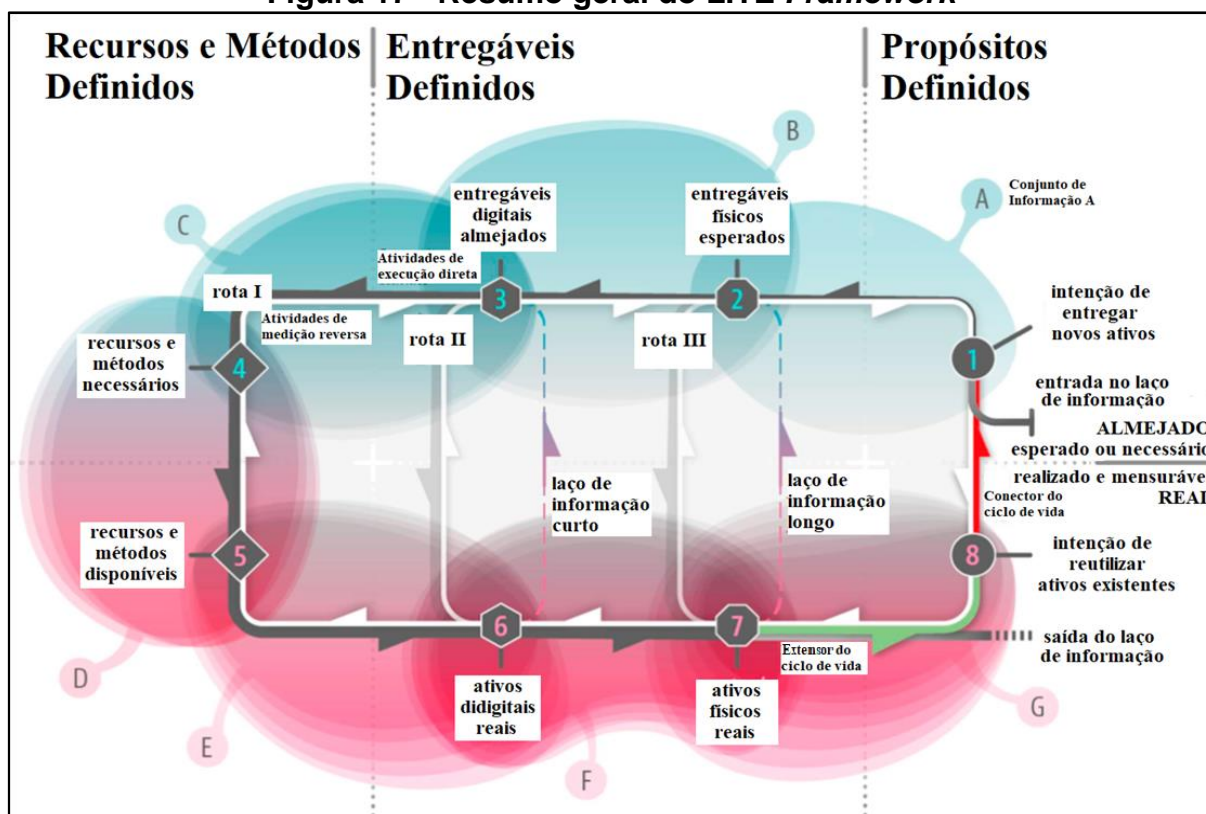
Os Status de Informação (*Information Status*), os Estados de Informação (*Information States*) e os Marcos de Informação (*Information Milestones*) são os conjuntos de componentes mais básicos do LITE *Framework*.

Os Fluxos de Informação (*Information Flows*) seguem percursos definidos por mudanças de Marcos de Informação, e as Portas de Informação (*Information Gates*) se localizam em cada um desses marcos.

As Rotas de Informação (*Information Routes*) descrevem as trajetórias ou

caminhos que a informação segue no Fluxo de Informação, e os Laços de Informação (*Information Loops*) descrevem as iterações pelas quais as informações são submetidas durante a entrega, uso e reutilização de um Ativo (*Asset*).

Figura 17 - Resumo geral do LITE Framework



Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020).

Como pode ser visto na Figura 17, no LITE Framework existem ainda as Ações de Informação (*Information Actions*), que são descrições de grupos de atividades de informação, que podem ter maior ou menos granularidade, sendo o menor incremento chamado de Passo (*Step*). As Ações de Informação refletem a mudança de Marcos de Informação seguindo o Fluxos de Informação Direto ou Reverso, e definem tarefas a serem concluídas para entregar, usar e reutilizar um Ativo.

As mudanças de Marcos de Informação de forma não sequencial, seguindo um dos fluxos definidos, representa os Atalhos de informação (*Information Shortcuts*).

Há ainda os Conjuntos de Informação (*Information Sets*), que descrevem os tipos de documento/módulo usados para agrupar informações do Ciclo de Vida do Ativo, e as Camadas de informação (*Information Tiers*), que descrevem as informações a serem organizadas e compartilhadas por meio de um Ambiente Comum de Informações (*Common Information Environment*).

Algumas entidades, componentes e aspectos abordados pelo LITE *Framework* foram utilizados na implantação do protótipo desenvolvido na presente pesquisa. Uma análise dos conceitos que fazem parte desse *framework* e de seus relacionamentos foi realizada e se encontra detalhada mais adiante, com vistas a implementá-los computacionalmente.

2.3 O arcabouço normativo e regulatório brasileiro sobre BIM

Esta seção apresenta as iniciativas brasileiras atuais relativas ao uso da modelagem BIM, tendo em vista o marco inicial sobre a regulamentação do uso dessa metodologia de modelagem BIM no Brasil e o arcabouço normativo e regulatório brasileiro sobre esse tema, que é composto por decretos, normas técnicas, documentos de apoio e outros instrumentos. Guias para orientar os usuários, uma biblioteca nacional de componentes BIM e uma estratégia nacional de disseminação do BIM são alguns dos recursos adicionais disponibilizados pelo Governo Federal para auxiliar a implementação e o uso da metodologia BIM no Brasil.

BIM, como ferramenta de gestão é uma abordagem mais recente e depende de uma regulamentação consistente para que seja plenamente adotado no mercado. Em países como os Estados Unidos e algumas regiões da Europa e da Ásia, o uso do BIM em projetos e obras de engenharia já está bastante difundido e regulamentado. No Brasil, algumas iniciativas com relação ao processo normativo e regulamentar sobre o uso do BIM estão sendo tomadas, como a elaboração das partes da norma técnica ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) e o lançamento da Estratégia BIM BR, que tem o objetivo de promover a disseminação do uso do BIM nacionalmente.

Diversas outras ações coordenadas pela Comissão de Estudo Especial de Modelagem da Informação da Construção (ABNT/CEE-134) também já foram e continuam sendo realizadas, como seminários, cursos e a elaboração de guias sobre o uso e a implementação do BIM.

No Brasil, em 2009 o Governo Federal, por intermédio do então Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior e Serviços (MDIC) e da ABNT, instituiu a ABNT/CEE-134. Essa comissão foi então responsável por elaborar um conjunto de normas técnicas relativas ao uso do BIM no Brasil, bem como diretrizes para criação de componentes BIM. Os trabalhos dessa comissão, junto a outras

iniciativas nacionais, foram responsáveis por iniciar o processo de regulamentação do uso do BIM no Brasil, bem como sua disseminação.

A primeira norma técnica brasileira sobre BIM foi a tradução da norma ISO 12006-2 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018a). Em seguida, foi iniciada a elaboração de um Sistema de Classificação para a Construção. Entre as ações tomadas por essa iniciativa, destaca-se o desenvolvimento da norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), em que suas partes especificam as tabelas do sistema de classificação brasileiro. Essa norma faz referência a diversas outras normas e instrumentos legais, sejam eles brasileiros ou internacionais. São apresentadas nesta seção algumas das principais documentações, legislações e normas técnicas aplicadas ao uso BIM. Ressalve-se, ainda, que algumas partes das normas utilizadas neste trabalho ainda não tinham sido traduzidas ou publicadas nacionalmente durante a realização da pesquisa, portanto, a consulta a normas e padrões internacionais complementou a compreensão da aplicação dos conceitos e práticas existentes no contexto da regulamentação e normalização do uso do BIM.

O estudo do arcabouço normativo e regulatório brasileiro com relação ao uso da modelagem BIM considerou os documentos que o compõem, que são a norma ISO 12006-2, as partes já publicadas da norma ABNT NBR 15965 e os decretos que estabelecem a estratégia nacional de disseminação da modelagem da informação da construção (BIM), a Estratégia BIM BR. Além disso, para formar uma compreensão mais abrangente desse arcabouço, outras regulamentações, normas e documentos pertinentes, sejam eles nacionais ou internacionais também fizeram parte do presente estudo. Assim, também foram estudados os Guias BIM ABDI-MDIC (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2017a, 2017b), os Guias BIM da AsBEA (GRUPO TÉCNICO BIM, 2013, 2015), os Guias, ou a *Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras*, elaborados pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2016) e o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) BIM e outros documentos e materiais complementares, como o disponibilizado no site da Plataforma BIM BR, que faz parte da Estratégia BIM BR.

Esses trabalhos fazem referência a diversas iniciativas internacionais, como a padronização norte-americana do uso do BIM The National BIM Standard-United

States (NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, 2014), que também foram consultadas. As normas técnicas do Reino Unido, chamadas *British Standards and Publicly Available Specifications* - PAS também são referências relevantes com relação ao uso do BIM. As normas PAS voltadas para a gestão do processo de BIM são intituladas PAS 1192. A PAS 1192-2 se refere às fases de projeto e obra, a PAS1192-3 à operação, a PAS1192-4 é um guia para a troca de informações (modelos Construction-Operations Building Information Exchange - COBie) (NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, 2014) e a PAS-1192-5 trata da segurança digital. Uma norma técnica internacional com relação ao uso do BIM que trata da gestão da informação e é a ISO 19650 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018b, 2018c). Ressalte-se que essa norma, que teve como base as práticas e normalizações britânicas, tem previsão de ser traduzida e incorporada ao arcabouço normativo brasileiro.

A seguir são apresentadas as normas brasileiras que fazem parte do arcabouço brasileiro sobre o uso do BIM. Posteriormente são também discutidos aspectos relevantes da Estratégia BIM BR.

2.3.1 ISO 12006

A norma técnica internacional ISO 12006 é composta por duas partes:

- a) parte 2 - ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015);
- b) parte 3 - ISO 12006-3:2007 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007).

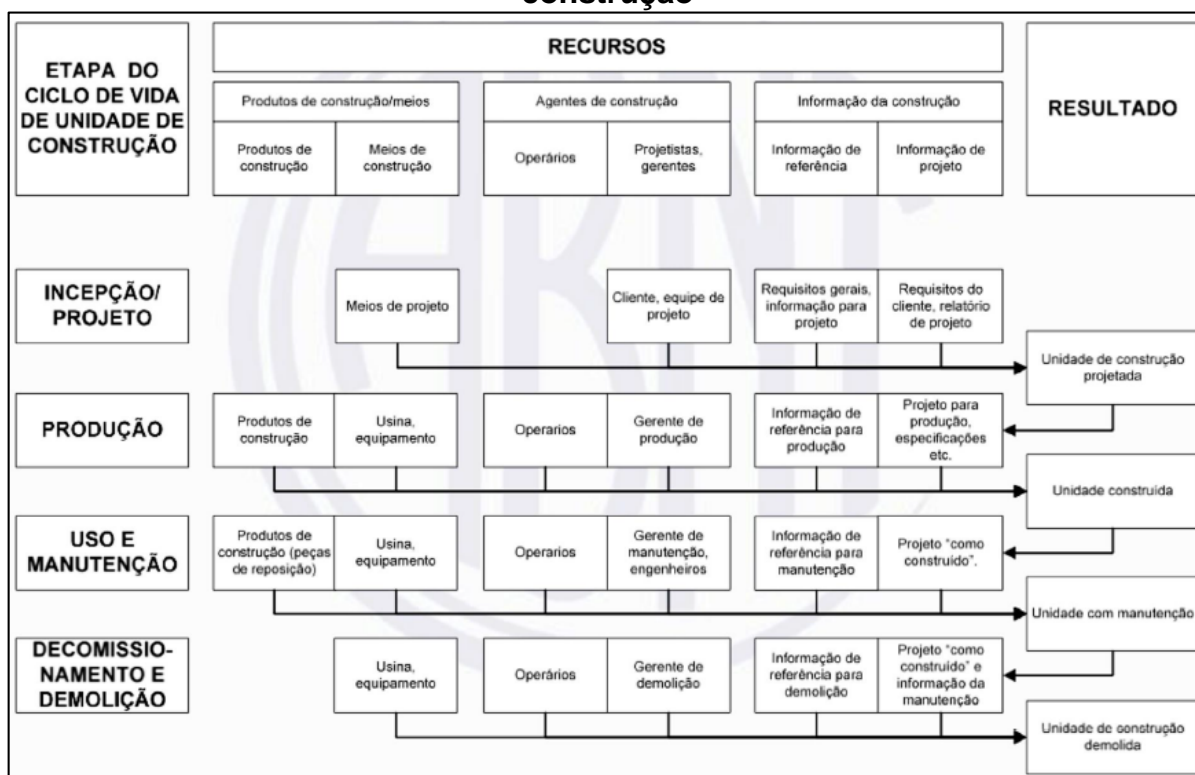
A versão atual da parte 2 é denominada ISO 12006-2:2015 - *Building construction - Organization of information about construction works - Part 2: Framework for classification of information* e a da parte 3, ISO 12006-3:2007 - *Building construction - Organization of information about construction works - Part 3: Framework for object-oriented information*.

No Brasil, foi feita a tradução da ISO 12006-2. A versão atual dessa norma, em sua versão nacional, é denominada ABNT NBR ISO 12006-2:2018 - *Construção de edificação - Organização de informação da construção - Parte 2: Estrutura para classificação* (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018a). O objetivo da norma ISO 12006-2 é estabelecer

[...] uma estrutura para o desenvolvimento de sistemas de classificação do ambiente construído. Ela identifica um conjunto de títulos de tabelas de classificação, recomendadas para uma variedade de classes de objetos da construção, de acordo com pontos de vista diversos e particulares, por exemplo, pela forma ou pela função. Apresenta também como as classes dos objetos, em cada tabela, estão relacionadas como uma série de sistemas e subsistemas, por exemplo, em um modelo de informação da construção. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018a).

Nota-se que parte 2 da norma ISO 12006-2 fornece diretrizes para a estruturação de um sistema de classificação do ambiente construído, ou seja, um sistema de classificação da informação da construção (CICS). Esse sistema representa o modelo de processo mostrado de forma esquemática no Quadro 10, em que para cada etapa do ciclo de vida de uma unidade de construção são utilizados recursos para alcançar um resultado.

Quadro 10 - Recursos e resultados para várias etapas do ciclo de vida de uma construção



Fonte: ABNT (2017).

A estrutura definida pela norma ISO 12006-2 foi seguida pelo CICS brasileiro, especificado pela norma ABNT NBR 15965. Essa estrutura é definida por um conjunto de classes, que seguem princípios de especialização. O Quadro 11 apresenta as classes, princípios de especialização e correspondentes tabelas de referência, de acordo com a ISO 12006-2:2015. Vale destacar que se utilizou esta versão

internacional da norma ISO 12006-2 em algumas partes da pesquisa para mapear o relacionamento entre o CICS brasileiro e outros, como o OmniClass e o Uniclass 2015.

Quadro 11 - Princípios de especialização aplicados às classes de objetos

Classe (Class)	Princípio de especialização (Classified by)	Tabela (ISO 12006- 2:2015)
CLASSES RELACIONADAS AO RECURSO (RESOURCE)		
Informação da construção (Construction information)	Conteúdo (Content)	A.2
Componentes da construção (Construction product)	Função, forma, material ou qualquer combinação destes (Function or form or material or any combination of these)	A.3
Agente da construção (Construction agent)	Disciplina ou o papel, ou combinação destes (Discipline or role or any combination of these)	A.4
Apoio da construção (Construction aid)	Função, forma, material ou qualquer combinação destes (Function or form or material or any combination of these)	A.5
CLASSES RELACIONADAS AO PROCESSO (PROCESS)		
Gestão (Management)	Atividade de gestão (Management activity)	A.6
Processo construtivo (Construction process)	Atividade construtiva ou as etapas do processo construtivo dentro do ciclo de vida do processo de projeto e obra, ou qualquer combinação (Construction activity or construction process lifecycle stage or any combination of these)	A.7
CLASSES RELACIONADAS AO RESULTADO (RESULT)		
Complexo da construção (Construction complex)	Função, forma, material ou qualquer combinação destes (Form or function or user activity or any combination of these)	A.8
Unidade da construção (Construction entity)	Função, forma, material ou qualquer combinação destes (Form or function or user activity or any combination of these)	A.9
Espaço construído (Built space)	Função, forma, material ou qualquer combinação destes (Form or function or user activity or any combination of these)	A.10
Elemento da construção (Construction element)	Função, forma, posição ou qualquer combinação destes (Function or form or position or any combination of these)	A.11
Resultado do trabalho (Work result)	Atividades realizadas para se obter o resultado construído, assim como os recursos utilizados (Work activity and resources used)	A.12
PROPRIEDADE (PROPERTY)		
Propriedades construtivas (Construction property)	Tipo de propriedade (Property type)	A.13

Fonte: Adaptado de ABNT (2018a) e ISO (2015).

A norma internacional ISO 12006-3:2007 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2007), que é um complemento da parte 2, apresenta uma estrutura para informações orientadas a objetos no contexto da organização da informação sobre obras de construção. O modelo de informação independente de linguagem especificado nessa norma pode ser usado para o desenvolvimento de

dicionários usados para armazenar ou fornecer informações sobre obras de construção. O uso da orientação a objetos (OO) e a independência de linguagem de programação de computadores e de plataforma de *software* se mostra adequado para que múltiplas soluções computacionais possam implementar essa estrutura. Dessa forma, essa norma permite a definição de uma biblioteca internacional de estruturas para dicionários (International Framework for Dictionaries - IFD), como o dicionário de dados do BuildingSMART (BUILDINGSMART, 2008). Vale ressaltar, entretanto, que esta parte da norma ISO 12006 ainda não foi completamente traduzida pela ABNT, de forma a compor o arcabouço normativo brasileiro.

2.3.2 ABNT NBR 15965

A norma técnica brasileira ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) é composta por sete partes e define o sistema de classificação da informação da construção a ser adotado oficialmente no Brasil. Esse sistema contém 15 tabelas de classificação, como mostrado no Quadro 12. As partes da norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) correspondem às tabelas do CICS brasileiro, que contém os códigos de classificação. Nota-se que algumas partes dessas tabelas ainda estão em elaboração.

Quadro 12 - Partes da norma ABNT NBR 15965 e tabelas de classificação

Parte da norma ABNT NBR 15965	Tabelas contidas	Ano de publicação
Parte 1: Terminologia e classificação	-	2011
Parte 2: Características dos objetos da construção	0M - Materiais	2012
	0P - Propriedades	
Parte 3: Processos da construção	1F - Fases	2014
	1S - Serviços	
	1D - Disciplinas	
Parte 4: Recursos da construção	2N - Funções organizacionais	-
	2Q - Equipamentos	
	2C - Componentes	
Parte 5: Resultados da construção	3E - Elementos	-
	3R - Resultados da construção	
Parte 6: Unidades da construção	4U - Unidades por função	-
	4V - Unidades por forma	
	4A - Espaços por função	
	4B - Espaços por forma	
Parte 7: Informação da construção	5I - Informação	2015

Fonte: Adaptado de ABNT (2017).

A seguir são apresentadas brevemente as partes já publicadas da norma NBR 15965. Vale ressaltar que algumas das tabelas já publicadas dessa norma foram analisadas em mais detalhes para sua aplicação no estudo realizado na presente pesquisa.

2.3.2.1 ABNT NBR 15965-1:2011 - Sistema de classificação da informação da construção - Parte 1: Terminologia e estrutura

A norma NBR 15965-1:2011 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011) define a terminologia, alguns princípios e orientações sobre os agrupamentos e classificações a serem utilizados nas demais partes. Segundo ABNT (2011): “Esta Norma define a terminologia, os princípios do sistema de classificação e os grupos de classificação para o planejamento, projeto, gerenciamento, obra, operação e manutenção de empreendimentos da construção civil.”.

2.3.2.2 ABNT NBR 15965-2:2012 - Sistema de classificação da informação da construção - Parte 2: Características dos objetos da construção

A norma ABNT NBR 15965-2:2012 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012) define as tabelas 0M - Materiais e 0P - Propriedades.

Esta parte da ABNT NBR 15965 define as terminologias, o sistema de classificação e os grupos de classificação relativos às características dos objetos da construção. O sistema de classificação se aplica ao planejamento, projeto, obra, operação e manutenção de empreendimentos da construção civil. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

2.3.2.3 ABNT NBR 15 965-3:2014 - Sistema de classificação da informação da construção - Parte 3: Processos da construção

A norma ABNT NBR 15965-3:2014 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) define as tabelas 1F - Fases, 1S - Serviços e 1D - Disciplinas.

Esta parte da ABNT NBR 15965 tem por objetivo apresentar a estrutura de classificação que define os processos da construção, para aplicação na tecnologia de modelagem da informação da construção, pela indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

2.3.2.4 ABNT NBR 15965-7:2015 - Sistema de classificação da informação da construção - Parte 7: Informação da construção

A norma ABNT NBR 15965-7:2015 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015) define a tabela 5I - Informação.

Esta parte da ABNT NBR 15965 apresenta a estrutura de classificação que define as informações (ou dados referenciados e utilizados durante o processo de criação e manutenção de um objeto construído) para aplicação na tecnologia de modelagem da informação da construção, pela indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015).

2.3.3 A Estratégia BIM BR

O Comitê Estratégico de Implementação do Building Information Modelling foi instituído pelo Decreto Federal s/nº, de 5 de junho de 2017 (BRASIL, 2017). Esse comitê desenvolveu trabalhos que levaram, em 2018, ao lançamento da estratégia nacional de disseminação da modelagem da informação da construção (BIM), a Estratégia BIM BR. Os decretos federais que oficializaram o lançamento dessa estratégia, e detalham sua criação e sua forma de condução, são descritos nesta subseção, bem como a Biblioteca BNBIM que faz parte dessa estratégia. Esses decretos definem, de forma oficial, alguns termos adotados no contexto do uso da metodologia BIM no Brasil.

Com o lançamento da Estratégia BIM BR, o Governo Federal brasileiro buscou incentivar as empresas da indústria AEC a utilizarem processos e tecnologias associadas à modelagem BIM. Fazem parte da Estratégia BIM BR o lançamento de uma plataforma oficial para sua divulgação e a Biblioteca Nacional BIM, a BNBIM (PLATAFORMA BIM BR, 2021). Essa estratégia, visando disseminar o uso e os benefícios da modelagem BIM no país, estabeleceu objetivos, ações, indicadores e metas para aumentar a produtividade do setor de AEC brasileiro em 10%, reduzir os custos de produção em 9,7% e aumentar o Produto Interno Bruto (PIB) desse setor no país em 28,9% (BRASIL, 2018). Ressalte-se que na época do lançamento dessa estratégia, as empresas brasileiras do setor de AEC representavam aproximadamente 50% do PIB e 9% dessas empresas tinham implementado a modelagem BIM em suas rotinas de trabalho, representando cerca de 5% do PIB do país (BRASIL, 2018).

A proposição de atos normativos para estabelecer parâmetros para aquisição e contratação pública com o uso da modelagem BIM e o desenvolvimento de padrões técnicos específicos, diretrizes e protocolos para a adoção dessa metodologia fazem parte dos objetivos da Estratégia BIM BR. Entre esses objetivos destacam-se também o desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM e o incentivo à concorrência no mercado mediante a adoção de padrões neutros de interoperabilidade BIM, como é o caso do IFC (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018a). Nota-se que essa estratégia está alinhada com a criação de uma regulamentação sobre o uso do BIM no Brasil. Vale destacar que trabalhos como a elaboração das normas técnicas ABNT NBR ISO 12006-2 e ABNT NBR 15965 foram iniciados antes do lançamento da Estratégia BIM BR, mas esse lançamento foi um marco importante para o arcabouço normativo e regulatório brasileiro com relação ao uso da modelagem BIM.

2.3.3.1 Decreto nº 9.377/2018

O Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018 instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* - Estratégia BIM BR (BRASIL, 2018). O Art. 1º desse decreto estabeleceu que a finalidade da Estratégia BIM BR é a promoção de um ambiente adequado ao investimento em BIM e sua difusão no País. Vale destacar que o parágrafo único deste mesmo artigo apresenta a seguinte definição do termo BIM:

[...] entende-se o BIM, ou Modelagem da Informação da Construção, como conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo, de forma a servir a todos os participantes do empreendimento, potencialmente durante todo o ciclo de vida da construção. (BRASIL, 2018).

Esse decreto trouxe algumas diretrizes para a implantação do BIM nacionalmente, instituindo a Estratégia BIM BR, a ser conduzida por um comitê gestor composto por representantes de diversos setores do Governo Federal. Os nove objetivos da Estratégia BIM BR foram assim estabelecidos:

Quadro 13 - Objetivos da Estratégia BIM BR

Objetivo	Descrição
1	Difundir o BIM e seus benefícios.
2	Coordenar a estruturação do setor público para a adoção do BIM.
3	Criar condições favoráveis para o investimento, público e privado, em BIM.
4	Estimular capacitação em BIM.
5	Propor atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e contratações públicas com uso do BIM.
6	Desenvolver normas técnicas, guias e protocolos específicos para a adoção do BIM.
7	Desenvolver a Plataforma e a Biblioteca Nacional BIM.
8	Estimular o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM.
9	Incentivar a concorrência no mercado por meio de padrões neutros de interoperabilidade BIM

Fonte: Adaptado de (BRASIL, 2018).

Nota-se que os objetivos da Estratégia BIM BR se alinham com a presente pesquisa, que colabora para difusão do BIM e seus benefícios mediante a apresentação de uma formulação e uma análise do uso do CICS brasileiro, que por sua vez faz parte do arcabouço regulatório sobre a metodologia de modelagem BIM no Brasil.

2.3.3.2 Decreto nº 9.983/2019

O Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019 (BRASIL, 2019), modificou a Estratégia BIM BR. Entretanto, as diretrizes dessa estratégia foram mantidas, bem como as diversas ações que já tinham começado a serem executadas, como a realização de cursos, seminários e a continuidade da elaboração de documentos que compõem o arcabouço regulatório e normativo sobre o uso da modelagem BIM no Brasil. Devido a mudanças na estrutura organizacional da administração pública federal, esse decreto adequou dos nomes dos órgãos participantes do comitês, comissões e grupos de trabalho da Estratégia BIM BR. Assim, o Comitê Gestor da Estratégia BIM BR passou a ter a seguinte representação:

Quadro 14 - Órgãos que compõem o Comitê Gestor da Estratégia BIM BR

Item	Órgão
I	Ministério da Economia, por meio da Secretaria Especial de Produtividade, Emprego e Competitividade (órgão que presidirá o Comitê)
II	Casa Civil da Presidência da República, por meio da Secretaria Especial do Programa de Parcerias de Investimentos
III	Ministério da Defesa
IV	Ministério da Infraestrutura
V	Ministério da Saúde
VI	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
VII	Ministério do Desenvolvimento Regional

Fonte: Adaptado de (BRASIL, 2019).

2.3.3.3 Decreto nº 10.306/2020

Um marco inicial para a utilização da modelagem BIM em obras públicas, no âmbito Estratégia BIM BR, foi definido pelo Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020 (BRASIL, 2020). Esse decreto estabelece que a modelagem da informação da construção (BIM) deverá ser utilizada:

[...] na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. (BRASIL, 2020).

O Decreto nº 10.306, de 02 de abril de 2020, dispõe que os titulares de alguns órgãos e entidades deverão definir empreendimentos, programas e iniciativas de média e grande relevância para promover a implementação e disseminação do BIM. Esses empreendimentos deverão conter especificações e demais características necessárias à aplicação da metodologia BIM. Nesse Decreto também é ressaltado que os órgãos e entidades da administração pública federal não vinculados à observação das fases enumeradas no art. 4º (Quadro 15), poderão adotar as ações de implementação do BIM independentemente da finalidade do uso do BIM. De acordo com esse decreto, o uso da modelagem BIM deverá ser implementado no Brasil de forma gradual, obedecidas as seguintes fases:

Quadro 15 - Fases de implementação do BIM no Brasil

Fase	Descrição - (art. 4º)
I - primeira fase - a partir de 1º de janeiro de 2021	<p>O BIM deverá ser utilizado no desenvolvimento de projetos de arquitetura e engenharia, referentes a construções novas, ampliações ou reabilitações, quando consideradas de grande relevância para a disseminação do BIM, nos termos do disposto no art. 10, e abrangerá, no mínimo:</p> <p>a) a elaboração dos modelos de arquitetura e dos modelos de engenharia referentes às disciplinas de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. estruturas; 2. instalações hidráulicas; 3. instalações de aquecimento, ventilação e ar condicionado; e 4. instalações elétricas; <p>b) a detecção de interferências físicas e funcionais entre as diversas disciplinas e a revisão dos modelos de arquitetura e engenharia, de modo a compatibilizá-los entre si;</p> <p>c) a extração de quantitativos; e</p> <p>d) a geração de documentação gráfica, extraída dos modelos a que se refere este inciso;</p>
II - segunda fase - a partir de 1º de janeiro de 2024	<p>O BIM deverá ser utilizado na execução direta ou indireta de projetos de arquitetura e engenharia e na gestão de obras, referentes a construções novas, reformas, ampliações ou reabilitações, quando consideradas de grande relevância para a disseminação do BIM, nos termos do disposto no art. 10, e abrangerá, no mínimo:</p> <p>a) os usos previstos na primeira fase;</p> <p>b) a orçamentação, o planejamento e o controle da execução de obras; e</p> <p>c) a atualização do modelo e de suas informações como construído (<i>as built</i>), para obras cujos projetos de arquitetura e engenharia tenham sido realizados ou executados com aplicação do BIM;</p>
III - terceira fase: a partir de 1º de janeiro de 2028	<p>O BIM deverá ser utilizado no desenvolvimento de projetos de arquitetura e engenharia e na gestão de obras referentes a construções novas, reformas, ampliações e reabilitações, quando consideradas de média ou grande relevância para a disseminação do BIM, nos termos do disposto no art. 10, e abrangerá, no mínimo:</p> <p>a) os usos previstos na primeira e na segunda fase; e</p> <p>b) o gerenciamento e a manutenção do empreendimento após a sua construção, cujos projetos de arquitetura e engenharia e cujas obras tenham sido desenvolvidos ou executados com aplicação do BIM.</p>

Fonte: Adaptado de (BRASIL, 2020).

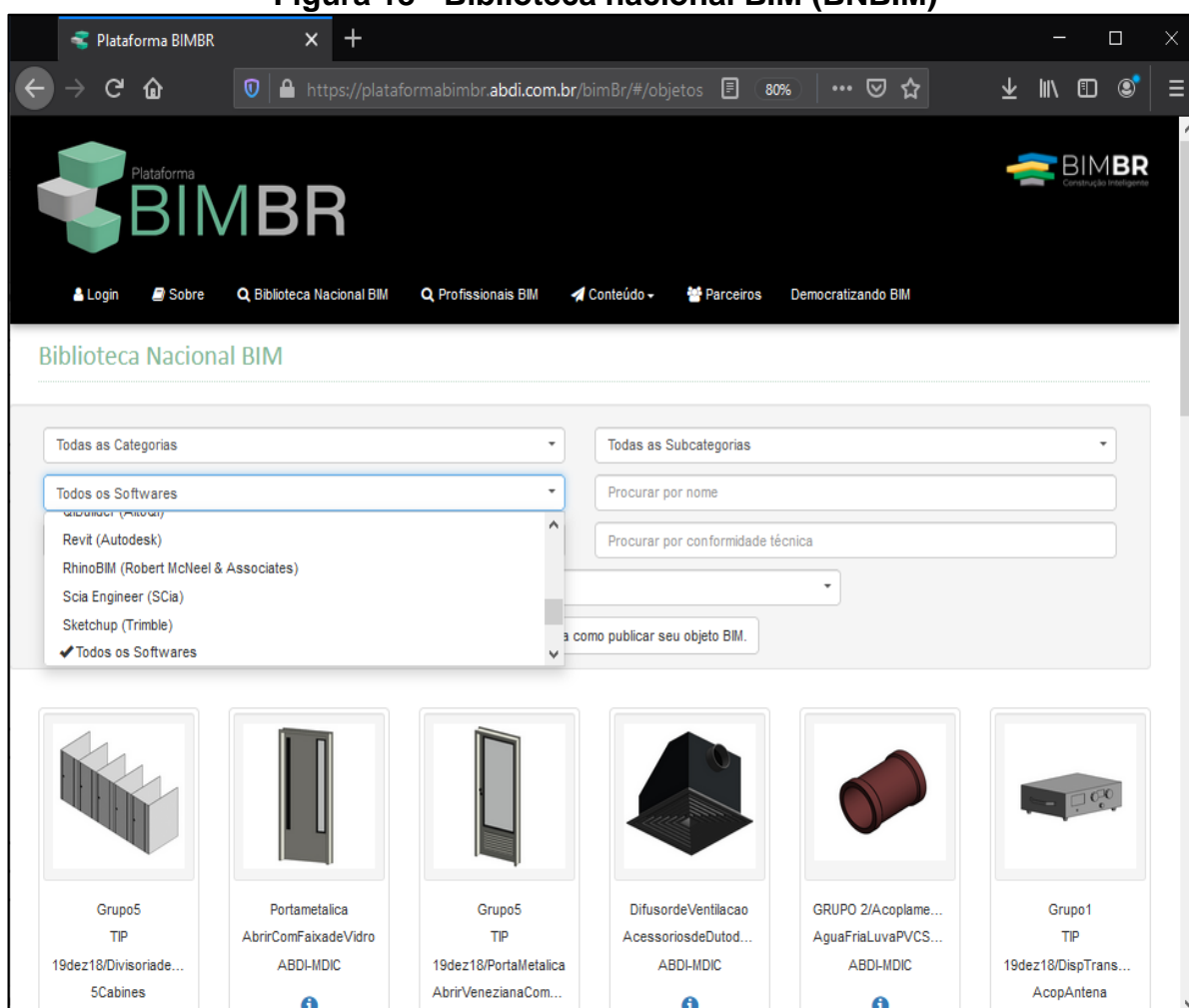
2.3.3.4 A Biblioteca Nacional BIM (BNBIM)

A criação da Biblioteca Nacional BIM (BNBIM) é um dos objetivos da Estratégia BIM BR (BRASIL, 2018). A iniciativa da criação de uma biblioteca digital, que consiste em um repositório digital de Objetos BIM, é um incentivo à expansão do BIM no Brasil, “fomentando o uso destes processos por órgãos públicos, instituições, organizações privadas e profissionais da AEC” (PLATAFORMA BIM BR, 2021).

A metodologia de *upload* de conteúdo (objetos BIM) na BNBIM segue um Regulamento Técnico, que contém critérios e requisitos mínimos de construção e

aplicação dos objetos virtuais a serem submetidos para validação e hospedagem. Esse regulamento prescreve uma verificação da conformidade dos objetos BIM nos formatos proprietários e também nas correspondentes versões em formato aberto, como o IFC (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018a). Assim, o *upload* e o *download* de objetos da Plataforma BIMBR permitem que os usuários possam disponibilizar e obter objetos na BNBIM, e com isso contribuem “para a geração de valor para toda a cadeia da construção civil” (PLATAFORMA BIM BR, 2021). Dessa forma, busca-se “manter um padrão de qualidade e consistência nos dados dos itens carregados na Plataforma” (PLATAFORMA BIM BR, 2021). A Figura 18, a seguir, ilustra como alguns componentes (objetos BIM) são disponibilizados para *download* na BNBIM.

Figura 18 - Biblioteca nacional BIM (BNBIM)



Fonte: ABDI (2021).

Além de desenvolver as normas ABNT NBR ISO 12006 e ABNT NBR 15965, a comissão de estudo especial ABNT/CEE-134, no âmbito do Programa de Normalização Setorial (PNS) da ABNT, está promovendo outras ações relativas ao uso da modelagem BIM. Um grupo de trabalho foi criado com o intuito de definir diretrizes para o desenvolvimento de bibliotecas de objetos BIM. A existência desse grupo, denominado GT Objetos BIM, auxilia tanto o processo de normalização quanto o desenvolvimento da BNBIM, e dele participam representantes dos setores de AEC e outros relacionados, como academia e desenvolvedores de *software*.

Entre os trabalhos realizados ABNT/CEE-134, destacam-se ainda a norma ABNT NBR ISO 16354:2018, intitulada Diretrizes para as bibliotecas de conhecimento e bibliotecas de objeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018b), a norma ABNT NBR ISO 16757-1:2018, intitulada Estruturas de dados para catálogos eletrônicos de produtos para sistemas prediais - Parte 1: Conceitos, arquitetura e modelo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018c) e dois novos itens de trabalho (NIT), que abordam os temas “Requisitos de Objetos para Modelagem da Informação da Construção (BIM)” e “Produção e gerenciamento de informações e dados, por meio da Modelagem da Informação da Construção (BIM)”, sendo este último uma adaptação brasileira da norma internacional ISO 19650 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018b, 2018c).

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa é uma abordagem descritiva e exploratória, em que procedimentos metodológicos foram adotados no desenvolvimento das atividades realizadas, conforme descrito neste capítulo. Inicialmente, foram realizados estudos e investigações, que com vistas a compreender os processos de geração e coleta de dados e informações sobre o ambiente construído tendo em vista a modelagem da informação da construção (BIM) e sua relação com o uso de um sistema de classificação da informação da construção (CICS). Os procedimentos utilizados também abrangeram a formulação de uma verificação do uso de um sistema de classificação, que foi consolidada na concepção e na implementação de um protótipo de uma aplicação ou sistema computacional. A necessidade de detalhar o conhecimento adquirido com a construção de artefatos, levou à busca de uma abordagem metodológica adequada a esses procedimentos e que permitisse generalizações.

Os procedimentos executados foram então conduzidos no contexto da pesquisa em ciência do projeto (DSR) (BAX, 2015; DRESCH; LACERDA; ANTUNES JUNIOR, 2015; HEVNER *et. Al*, 2004; SORDI; AZEVEDO; MEIRELES, 2015; SORDI; MEIRELES; SANCHES, 2011), sendo o estudo de caso a forma de avaliar os artefatos construídos. A abordagem ADR (MULLARKEY; HEVNER, 2019) fundamentou o desenvolvimento dos artefatos construídos ao longo da pesquisa, que foram tanto teóricos quanto práticos. A ADR propõe os seguintes quatro estágios sucessivos de criação de artefatos: Diagnóstico, Concepção, Implementação e Evolução. Esses estágios conduziram o processo de pesquisa, que orientou o desenvolvimento de um sistema computacional na forma de um protótipo evolutivo.

Ao final da implementação, o protótipo foi utilizado para observar os resultados práticos de um estudo de caso, que consiste na análise de um complexo imobiliário de grande porte, representado digitalmente por modelos BIM, e poderá ainda ser complementado futuramente em ciclos de evolução no contexto da ADR. Os passos da construção dos artefatos foram executados ao longo do desenvolvimento da pesquisa, de acordo com o modelo de processo proposto por Mullarkey e Hevner (2019) para a abordagem ADR.

A presente pesquisa é aplicada, do ponto de vista de sua natureza, pois almeja obter a geração de conhecimentos para aplicação prática, qual seja, a verificação da

qualidade da informação envolvida em um projeto de construção, em um processo de modelagem da informação da construção (BIM). O problema é abordado de forma qualitativa, como demonstrado nesta subseção. A pesquisa é descritiva, pois dados do processo de modelagem BIM são traduzidos em descrições novas, e prescritiva, já que a partir dessas descrições será alimentado um novo processo ou sistema, que terá como resultado, indicadores para a qualidade da informação utilizada durante o ciclo de vida do ambiente construído.

Com relação aos objetivos propostos, a pesquisa pretende aprofundar o conhecimento de um problema, envolvendo um experimento prático, pois o complexo imobiliário a ser analisado com a solução proposta trata-se de um conjunto de edificações com necessidade real de intervenção, o que caracteriza a realização de um estudo de caso (CRESWELL, 2014; STAKE, 1995). Vale ressaltar que o estudo de caso realizado teve o propósito de validar a investigação realizada, que aborda o uso de um sistema de classificação (CICS) no contexto da modelagem da informação da construção (BIM). Ressalte-se que esse é um dos aspectos mais essenciais envolvidos no conjunto de tecnologias aplicadas aos processos construtivos e faz parte do arcabouço regulatório brasileiro sobre o uso da modelagem BIM.

A seguir são apresentadas breves descrições sobre a metodologia DSR e a abordagem ADR, que formam a base dos procedimentos metodológicos adotados para a condução da presente pesquisa.

A distinção entre soluções ótimas, ou ideais, e satisfatórias, leva à busca por soluções que sejam suficientemente boas para problemas em que a solução ótima seja inacessível ou inviável (SIMON, 1996). Nesse contexto, a busca por soluções satisfatórias e viáveis, e não necessariamente a solução ótima, é um dos motivadores da aplicação da DSR. Essa busca é algo comum em aplicações como o desenvolvimento de Sistemas de Informação (SI) e também se aplica ao uso da modelagem BIM.

Segundo Hevner *et al.* (2004, p. 77), a pesquisa em ciência do projeto (DSR) permite que um pesquisador “crie e avalie artefatos de tecnologia da informação (TI) destinados a resolver problemas organizacionais identificados”. Nota-se, assim, que a DSR se aplica aos processos da área de tecnologia da informação, como o desenvolvimento de um *software*.

A Design Science (DS) é um termo que pode ser traduzido como Ciência do Projeto, Ciência do Design ou Ciência da Concepção, e se refere a um tipo de ciência

voltada para a geração de conhecimento sobre a concepção de soluções (HEVNER et al., 2004). Assim, a elaboração ou o desenvolvimento de uma solução se refere ao seu projeto, desenho ou concepção (*design*). Os artefatos são por definição algo construído pelo homem, e que tenha utilidade ou aplicação prática, como é o caso do desenvolvimento de soluções. Exemplos de artefatos são a resolução de um problema, ou classe de problemas, a criação de um produto ou de um sistema, ou mesmo a melhoria ou de outro artefato já existente (BAX, 2015).

De maneira geral, os artefatos utilizados na DSR podem ser Constructos, Modelos, Métodos ou Instanciações (MARCH; SMITH, 1995). O Quadro 16 apresenta uma descrição para cada um desses tipos de artefato (LACERDA et al., 2013; MARCH; SMITH, 1995).

Quadro 16 - Tipos de artefatos (de *design*)

Tipo de Artefato	Descrição
Constructos	Constructos ou conceitos formam o vocabulário de um domínio. Eles constituem uma conceituação utilizada para descrever os problemas dentro do domínio e para especificar as respectivas soluções. Conceituações são extremamente importantes em ambas as ciências, natural e de design. Eles definem os termos usados para descrever e pensar sobre as tarefas. Eles podem ser extremamente valiosos para designers e pesquisadores.
Modelos	Um modelo é um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos. Em atividades de design, modelos representam situações como problema e solução. Ele pode ser visto como uma descrição, ou seja, como uma representação de como as coisas são. Cientistas naturais muitas vezes usam o termo 'modelo' como sinônimo de 'teoria', ou 'modelos' como as teorias ainda incipientes. Na DS, no entanto, a preocupação é a utilidade de modelos, não a aderência de sua representação à Verdade. Não obstante, embora tenda a ser impreciso sobre detalhes, um modelo precisa sempre capturar a estrutura da realidade para ser uma representação útil.
Métodos	Um método é um conjunto de passos (um algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa. Métodos baseiam-se em um conjunto de constructos subjacentes (linguagem) e uma representação (modelo) em um espaço de solução. Os métodos podem ser ligados aos modelos, nos quais as etapas do método podem utilizar partes do modelo como uma entrada que o compõe. Além disso, os métodos são, muitas vezes, utilizados para traduzir um modelo ou representação em um curso para resolução de um problema. Os métodos são criações típicas das DSR.
Instanciações	Uma instanciação é a concretização de um artefato em seu ambiente. Instanciações operacionalizam constructos, modelos e métodos. No entanto, uma instanciação pode, na prática, preceder a articulação completa de seus constructos, modelos e métodos. Instanciações demonstram a viabilidade e a eficácia dos modelos e métodos que elas contemplam.

Fonte: Lacerda et al. (2013) adaptado de March e Smith (1995, p. 257-258).

A condução da construção de artefatos no contexto da DSR, em um processo voltado para a concepção de soluções tecnológicas ou para pesquisas científicas, deve se basear nos aspectos da contribuição da pesquisa e do rigor científico, de acordo com Hevner et al. (2004). As diretrizes e o correspondentes detalhamento das aplicações da DSR, que são instruções gerais para a sua condução e avaliação, são mostradas no Quadro 17 (HEVNER, 2004; LACERDA et al., 2013).

Quadro 17 - Aplicações da DSR

Diretriz	Aplicação (instruções gerais para a condução/avaliação da DSR)
<i>Design</i> como artefato	A DSR deve produzir um artefato viável na forma de uma construção, um modelo, um método ou uma instanciação.
Relevância do problema	O objetivo da pesquisa fundamentada em DS é desenvolver soluções baseadas em tecnologia para importantes e relevantes problemas de negócios ou gerenciais.
Avaliação do <i>Design</i>	A utilidade, a qualidade e a eficácia de um artefato de <i>Design</i> devem ser rigorosamente demonstradas por intermédio de métodos de avaliação bem executados.
Contribuições da pesquisa	Uma DSR eficaz deve fornecer contribuições claras e verificáveis nas áreas do <i>Design</i> do artefato, fundamentos de projeto e/ou metodologias de projeto.
Rigor da pesquisa	A DSR baseia-se na aplicação de métodos rigorosos, tanto na construção quanto na avaliação do artefato <i>Design</i> .
Projeto como busca no processo	A busca por um artefato eficaz requer utilização de meios disponíveis para alcançar os fins desejados, satisfazendo Leis no ambiente do problema
Comunicação da pesquisa	A DSR deve ser apresentada de forma eficaz tanto para o público, orientado para a gestão, bem como orientadas para a tecnologia.

Fonte: Lacerda et al. (2013) adaptado de Hevner et al. (2004).

Outro aspecto a ser considerado com o uso da DSR é a relevância ou utilidade prática dos artefatos construídos, que deve se basear em evidências. A verificação da utilidade de um artefato, ou do conhecimento gerado por ele para resolver problemas reais, é um exemplo apresentado em Lacerda et al. (2013), que acrescentam ainda que devem existir validações para comprovar essa aplicação prática. As avaliações podem ser parciais, mas é necessária uma avaliação final, de forma a comprovar a efetividade da utilização do método. Para a avaliação dos artefatos construídos com a DSR podem ser empregados vários métodos. Os métodos propostos por Hevner et al. (2004) para cada uma das formas de avaliação da DSR são apresentados no Quadro 18 (HEVNER et al., 2004; LACERDA et al., 2013).

Quadro 18 - Métodos para avaliação de artefatos

Forma de Avaliação	Métodos Propostos		Observações
Observacional	Estudo de Caso	Estudar o artefato existente, ou não, em profundidade no ambiente de negócios.	Esses estudos podem, inclusive, fornecer uma avaliação mais ampla do funcionamento dos artefatos configurando, dessa forma, um método misto de condução da pesquisa.
	Estudo de Campo	Monitorar o uso do artefato em projetos múltiplos.	
Analítica	Análise Estatística	Examinar a estrutura do artefato para qualidades estáticas.	
	Análise da Arquitetura	Estudar o encaixe do artefato na arquitetura técnica do sistema técnico geral.	
	Otimização	Demonstrar as propriedades ótimas inerentes ao artefato ou então demonstrar os limites de otimização no comportamento do artefato.	
	Análise Dinâmica	Estudar o artefato durante o uso para avaliar suas qualidades dinâmicas.	Por exemplo, análise de desempenho.
Experimental	Experimento Controlado	Estudar o artefato em um ambiente controlado para verificar suas qualidades.	Por exemplo, análise de usabilidade.
	Simulação	Executar o artefato com dados artificiais.	
Teste	Teste Funcional ou de Caixa Preta (<i>Black Box</i>)	Executar as interfaces do artefato para descobrir possíveis falhas e identificar defeitos.	
	Teste Estrutural ou de Caixa Branca (<i>White Box</i>):	Realizar testes de cobertura de algumas métricas para implementação do artefato.	Por exemplo, caminhos para a execução.
Descritiva	Argumento Informado	Utilizar a informação das bases de conhecimento para construir um argumento convincente a respeito da utilidade do artefato.	Por exemplo, informação das pesquisas relevantes.
	Cenários	Construir cenários detalhados em torno do artefato, para demonstrar sua utilidade.	

Fonte: Adaptado de Lacerda et al. (2013) e Hevner et al. (2004).

De acordo com os métodos para avaliação de artefatos de *design* mostrados no Quadro 18, a presente pesquisa utiliza a forma de avaliação observacional. Essa forma de avaliação inclui o estudo de caso, que pode ser utilizado para estudar um artefato em profundidade no ambiente de negócios. Vale ressaltar que Hevner *et al.* (2004) mencionam, mediante uma abordagem pragmática, que a DSR não anseia alcançar verdades absolutas, grandes teorias ou leis gerais, mas procura identificar e compreender os problemas do mundo real e propor soluções apropriadas, úteis, fazendo avançar o conhecimento teórico da área.

A abordagem ADR é uma combinação das atividades de Action Research (AR) (SUSMAN; EVERED, 1978) com a Design Science Research (DSR) (BAX, 2015; DRESCH; LACERDA; ANTUNES JUNIOR, 2015; HEVNER *et al.*, 2004; SORDI; MEIRELES; SANCHES, 2011; SORDI; AZEVEDO; MEIRELES, 2015). No processo proposto por Mullarkey e Hevner (2019) há quatro possíveis estágios da abordagem

ADR: o Diagnóstico (*Diagnosis*), a Concepção (*Design*), a Implementação (*Implementation*) e a Evolução (*Evolution*). Cada um desses estágios pode ser percorrido da forma como os autores chamam de ciclo elaborado da ADR. Os componentes desse ciclo são detalhados no Quadro 19.

Quadro 19 - Componentes do ciclo elaborado da ADR

Sigla	Nome	Descrição
P	Formulação/planejamento do problema (<i>Problem formulation/planning</i>)	O ciclo começa neste componente com a formulação ou planejamento do problema.
A	Criação do artefato (<i>Artifact creation</i>)	Este componente, que representa o segundo passo do ciclo, propõe definir as ações e procedimentos para criar o artefato, que pode ser um conceito, um constructo, um modelo, um método, uma instanciação etc.
E	Avaliação (<i>Evaluation</i>)	Neste componente, terceiro passo do ciclo, é feita uma avaliação tanto do artefato criado quanto dos procedimentos utilizados.
R	Reflexão (<i>Reflection</i>)	Neste componente, quarto passo do ciclo, uma reflexão gera conhecimento sobre a criação do artefato.
L	Lições aprendidas (<i>Learning</i>)	Neste componente, que representa o último passo do ciclo, as lições aprendidas geram conhecimento, podendo ser externalizadas, combinadas, internalizadas e socializadas. Com isso, também é possível reiniciar o ciclo em uma nova iteração.

Fonte: Adaptado de Mullarkey e Hevner (2019).

Mullarkey e Hevner (2019) adicionaram à abordagem da ADR a formulação de um modelo de processo com quatro estágios, em que cada um deles contém pontos de entrada nos ciclos da ADR. O estágio inicial da abordagem depende do direcionamento adotado na elaboração dos artefatos. Uma abordagem direcionada para a solução de um problema (*Problem Centered*) iniciaria o ciclo elaborado da ADR pelo estágio de Diagnóstico. Já uma solução voltada para um objetivo (*Objective Centered*), entraria no ciclo pelo estágio de Concepção. De forma análoga, um artefato voltado para o desenvolvimento (*Development Centered*) seria inserido no ciclo pelo estágio de Implementação. Uma solução direcionada para observação (*Observation Centered*), por fim, entraria no ciclo da ADR pelo estágio de Evolução.

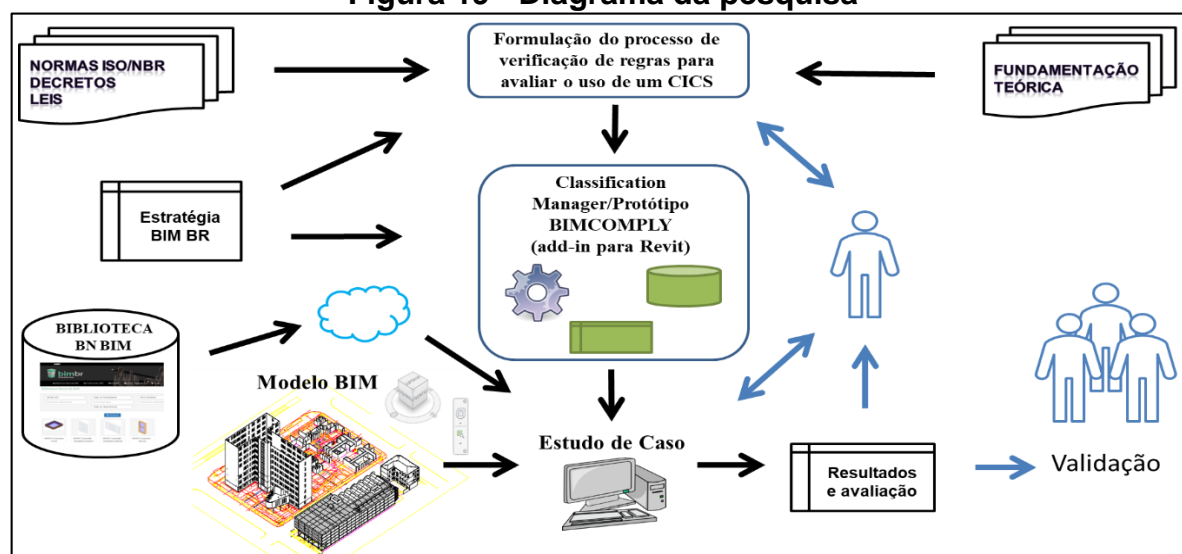
Os procedimentos metodológicos da presente pesquisa, que envolveram o desenvolvimento de um aplicativo computacional, guiaram a construção de artefatos para se chegar à solução de um problema prático, que foi conjugada com iterações de geração de conhecimento, conforme os preceitos da DSR. O desenvolvimento do aplicativo, que tem a característica de ser um protótipo evolutivo, seguiu as etapas de

diagnóstico, concepção e implementação, em ciclos sucessivos, passando-se posteriormente a ter ciclos de evolução, de forma consistente com o modelo de processo proposto por Mullarkey e Hevner (2019) para a aplicação da abordagem ADR. A abordagem adotada na presente pesquisa é apresentada a seguir.

A partir de um diagnóstico do problema, que consiste em uma eventual falta de eficiência na utilização dos processos de GIC associados à modelagem BIM, foi formulada a questão de pesquisa principal, que busca compreender como o uso BIM pode trazer melhorias para a gestão do ambiente construído. A gestão do ambiente construído envolve a gestão da informação sobre esses espaços, bem como sobre os processos construtivos e a infraestrutura que os suporta. E as bases da gestão da informação se assentam da utilização da classificação. Assim, na presente pesquisa buscou-se investigar o uso do BIM associado ao sistema CICS proposto pela norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Com isso, foi formulada uma solução, que envolve a concepção de um artefato, qual seja, o protótipo de um sistema de informação que atribui, recupera e avalia o uso de códigos de classificação em modelos BIM.

A Figura 19 apresenta um diagrama da contextualização da pesquisa realizada. Nota-se que para formular o processo de verificação de regras (*rule checking*) que avalia a aderência de modelos BIM às normas brasileiras, foram necessárias uma fundamentação teórica, constituída de uma revisão da literatura sobre os temas da pesquisa, e os itens que compõem o arcabouço normativo e regulatório brasileiro sobre a modelagem BIM, que envolve decretos, normas técnicas e outras fontes de informação como os documentos e ferramentas que surgiram para atender a Estratégia BIM BR, quais sejam, guias, manuais e o *website* da Plataforma BIM BR e da biblioteca nacional BNBIM.

Figura 19 - Diagrama da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

O protótipo de sistema computacional concebido foi intitulado *BIMCOMPLY* e implementado como um aplicativo de extensão (*add-in*) para o software Autodesk Revit. Para isso foram utilizadas ferramentas de desenvolvimento compatíveis com essa plataforma de *software* BIM. Essas ferramentas consistem em um ambiente de desenvolvimento integrado (Integrated Development Environment - IDE) e em interfaces de programação de aplicativos (Application Programming Interface - API).

As APIs são um conjunto de componentes de *software* que permitem o acesso às funcionalidades e a manipulação de estruturas de dados de uma aplicação computacional a partir de outros ambientes de *software*. Esse acesso é feito via algoritmos, criados com o uso linguagens de programação de computadores em um IDE para gerar códigos-fonte, que são então interpretados ou compilados para gerar aplicativos de extensão.

O *software* Revit disponibiliza APIs compatíveis com o *framework* Microsoft .NET e o IDE recomendado para uso é o Microsoft Visual Studio. No caso das plataformas de *software* BIM, com o uso das APIs é possível acessar diretamente os dados internos dos modelos BIM. Assim, nota-se que essas ferramentas de *software* são poderosas e úteis para recuperar a informação necessária para diversas análises, e por isso seu uso foi um dos critérios de seleção de uma plataforma BIM.

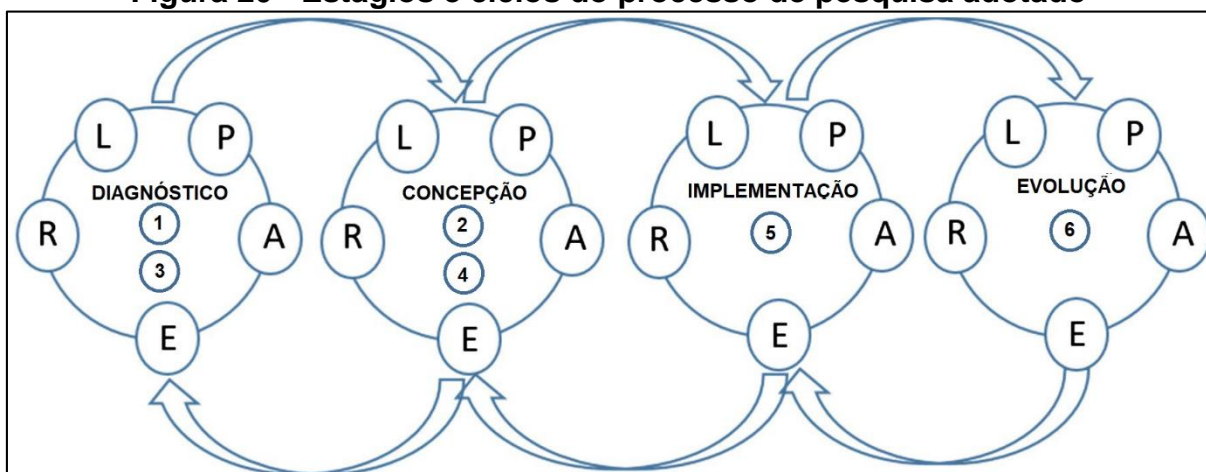
Também foram avaliadas outras alternativas de plataformas de *software* para a implementação do protótipo, envolvendo, por exemplo, soluções livres ou compatíveis com padrões abertos de troca de dados, como o IFC (INTERNATIONAL

ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018a). Entretanto, as vantagens da utilização do Revit e de suas APIs foram mais adequadas à formulação proposta, como detalhado mais adiante.

Foi necessário considerar, acerca do uso de um CICS, o contexto em que são feitas as atribuições das classificações, as verificações e o registro das análises dessas verificações. Para isso, o *LITE Framework* foi adotado. Esse *framework* fornece um roteiro para o fluxo de informação e foi implementado separadamente. Posteriormente, verificou-se a viabilidade de incorporar essa implementação ao protótipo desenvolvido. Portanto, ele também é executado como um aplicativo de extensão para o *software* Revit. Para isso, iterações nos estágios de concepção e diagnóstico da abordagem ADR foram necessárias. Nesse processo, ocorreram validações parciais, tanto da formulação da solução quanto da concepção e implementação dos aplicativos. Uma avaliação final foi feita mediante a realização de um estudo de caso, que envolve o complexo imobiliário da antiga EEUFMG, que passa por uma nova concepção de uso e, portanto, um reinício de seu ciclo de vida.

A presente pesquisa se iniciou com estudos para compreender como o primeiro conjunto de normas técnicas brasileiras sobre a modelagem BIM, ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), que especifica um CICS para ser aplicado aos processos de elaboração de projetos de arquitetura e engenharia utilizando a modelagem BIM. O enfoque foi em identificar uma forma de proporcionar a melhoria da qualidade da informação utilizada nesses processos. Foram analisados e estudados diversos trabalhos sobre o uso dos CICS. Identificou-se, então, formas de utilização dos CICS no contexto da modelagem BIM, tendo em vista o arcabouço normativo e regulatório brasileiro e também o internacional. Considera-se, portanto, que o ponto de entrada no ciclo elaborado da ADR foi pelo estágio de Diagnóstico da ADR, em uma pesquisa do tipo Centrada em Problema, conforme o processo proposto por Mullarkey e Hevner (2019).

Figura 20 - Estágios e ciclos do processo de pesquisa adotado



Fonte: Elaborado pelo autor baseado em Mullarkey e Hevner (2019).

Os seis círculos numerados na Figura 20 mostram a ordem em que os procedimentos de pesquisa adotados seguiram os estágios da abordagem ADR. Em cada um desses estágios, foram identificadas e realizadas atividades referentes aos componentes do ciclo elaborado da ADR, que são ações de formulação ou planejamento do problema (P - *Problem formulation/planning*), de criação de artefatos (A - *Artifact creation*), de avaliação (E - *Evaluation*), de reflexão (R - *Reflection*) e de aprendizado (L - *Learning*), conforme a o ciclo elaborado da ADR. Assim, os procedimentos adotados, que correspondem aos estágios da ADR, foram executados na seguinte ordem:

1. diagnóstico;
2. concepção inicial;
3. diagnóstico complementar;
4. concepção;
5. implementação; e
6. evolução (em decorrência do estudo de caso, ciclos de evolução serão possíveis).

O desenvolvimento dos procedimentos metodológicos, seguindo esses estágios e as correspondentes ações que compõem os ciclos elaborado da abordagem ADR são detalhados a seguir.

4 DESENVOLVIMENTO

Conforme a metodologia apresentada no capítulo anterior, os procedimentos adotados consistem em atividades voltadas para a criação de artefatos passando por estágios de diagnóstico, concepção, implementação e evolução. Os procedimentos metodológicos adotados seguiram seis iterações ao passar por alguns desses estágios e componentes do ciclo elaborado da ADR, como mostrado na Figura 20. Essas iterações foram desenvolvidas com detalhado neste capítulo, em que ao final de cada uma delas foram obtidos resultados e validações parciais. A última iteração, que consiste em uma validação final da formulação proposta, realizada mediante um estudo de caso, que consistiu na aplicação prática dos artefatos desenvolvidos. A pesquisa entra no estágio de evolução, no contexto do processo proposto por Mullarkey e Hevner (2019). A partir desse ponto, iterações no estágio de evolução são possíveis e dão continuidade ao processo de desenvolvimento e validação dos artefatos criados nas iterações prévias. A seguir são detalhadas as iterações realizadas na pesquisa.

4.1 Diagnóstico

Esta seção descreve o primeiro estágio da abordagem ADR. Neste estágio de diagnóstico da pesquisa foram investigados os componentes do arcabouço brasileiro sobre o uso da modelagem BIM. A formulação inicial da solução do problema partiu de um estudo que identificou a necessidade de verificar aspectos do CICS brasileiro, proposto pela norma técnica brasileira ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), de forma a melhorar a qualidade da informação utilizada na modelagem BIM. Além da análise do CICS brasileiro, durante este estágio foi feita a seleção de uma plataforma de *software* para ser a base do desenvolvimento da pesquisa, como detalhado a seguir. O *software* Autodesk Revit foi selecionado. Entre os motivos que levaram a essa escolha, está o fato de esse *software* possuir uma interface de programação de aplicativos (API) compatível com a solução proposta, que envolve a implementação do protótipo de uma aplicação computacional que recupera informação em modelos BIM, de forma a identificar o uso de códigos de classificação. Assim, uma análise sobre a criação de aplicativos de extensão para o *software* Revit, incluindo o uso de suas APIs, também é apresentada.

4.1.1 Análise do CICS brasileiro

A análise tem o objetivo de estudar as propriedades e características do sistema de classificação da informação da construção (CICS) brasileiro, definido pela Norma ABNT BR 15965. As propriedades e características identificadas são os requisitos para a implementação do protótipo de uma aplicação computacional que recupera informação em modelos BIM mediante realização de um processo de verificação de regras (*rule checking*). As informações a serem recuperadas são referentes ao uso do sistema de classificação brasileiro, mas a aplicação pode evoluir para executar análises utilizando outros CICS. Portanto, a arquitetura do mecanismo de verificação de regras precisa ser concebida de forma que a aplicação seja expansível e possa utilizar outros códigos de classificação. Assim, as características em comum entre o sistema de classificação brasileiro e outros existentes foram identificadas e evidenciadas neste estudo.

A norma ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015), bem como sua versão traduzida para o português, ABNT NBR ISO 12006-2:2018, e as partes publicadas da norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) foram estudadas para uma compreensão detalhada do CICS brasileiro. Conforme apresentado e discutido na fundamentação teórico-conceitual, também foram consultados os Guias BIM ABDI-MDIC e outros documentos, manuais e orientações sobre o uso do CICS brasileiro, como a página web da Estratégia BIM BR. Buscou-se, dessa forma, compreender a aplicação desse sistema de classificação à modelagem BIM, bem como sua relação com processos de organização e tratamento da informação. Os sistemas de classificação fazem parte de um processo abrangente de gestão da informação e do conhecimento (GIC), como discutido. O estudo desses sistemas, quando utilizados no contexto da modelagem BIM, leva à análise de características e aspectos mais específicos, como identificado e detalhados a seguir. Tendo em vista a concepção e a implementação de uma aplicação que verifica os códigos de classificação em modelos BIM, o estudo buscou relacionar peculiaridades do processo de recuperação da informação em um ambiente de computação gráfica (CG), como é o caso das plataformas de *software* BIM.

Mediante uma comparação entre a estrutura da ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015), que é a

principal referência normativa internacional, e das especificações do CICS brasileiro, do OmniClass e do Uniclass 2015, buscou-se compreender os principais conceitos envolvidos nesses CICS, como os princípios de classificação, as classes, a estrutura das tabelas e o formato dos códigos de classificação. Com isso, foram identificados pontos comuns e diferenças entre esses sistemas de classificação. A partir dessa análise, foi possível identificar os aspectos considerados mais relevantes para serem implementados no artefato proposto como parte da pesquisa. Uma comparação entre as tabelas de classificação abordadas por esses CICS e a ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015) é mostrada no Quadro 20:

Quadro 20 - Comparação entre tabelas ABNT NBR 15965 e outros CICS

Grupo	ABNT NBR 15965		OmniClass		Uniclass 2015		ISO 12006-2:2015	
Características dos objetos	OM	Materiais	41	<i>Materials</i>			A.13	<i>Construction Properties</i>
	OP	Propriedades	49	<i>Properties</i>				
Processos	1F	Fases	31	<i>Phases</i>			A.7	<i>Construction Process</i>
	1S	Serviços	32	<i>Services</i>	Pm	<i>Project Management</i>	A.6	<i>Management</i>
	1D	Disciplinas	33	<i>Disciplines</i>			A.4	<i>Construction Agents</i>
Recursos	2N	Funções organizacionais	34	<i>Organizational Roles</i>				
	2Q	Equipamentos	35	<i>Tools</i>	TE	<i>Tools and Equipments</i>	A.5	<i>Construction Aids</i>
	2C	Componentes	23	<i>Products</i>	Pr	<i>Products</i>	A.3	<i>Construction Products</i>
Resultados da construção	3E	Elementos	21	<i>Elements (Includes Designed Elements) (Unifomat)</i>	EF	<i>Elements/ Functions</i>	A.11	<i>Construction Elements</i>
	3R	Resultados da construção	22	<i>Work Results (MasterFormat)</i>			A.12	<i>Work Results</i>
Unidades e espaços da construção	4U	Unidades por função	11	<i>Construction Entities by Function</i>			A.8	<i>Construction Complexes</i>
	4V	Unidades for forma	12	<i>Construction Entities by Form</i>	En	<i>Entities by Form</i>		
	4A	Espaços por função	13	<i>Spaces by Function</i>	SL	<i>Spaces/ Locations</i>	A.10	<i>Built Spaces</i>
	4B	Espaços por forma	14	<i>Spaces by Form</i>				
Informação da construção	5I	Informações da construção	36	<i>Information</i>	FI	<i>Form of Information</i>	A.2	<i>Construction Information</i>
					Co	<i>Complexes</i>	A.8	<i>Construction Complexes</i>
					Ac	<i>Activities</i>		
					Ss	<i>Systems</i>		
					Zz	<i>CAD</i>		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que as tabelas do CICS brasileiro e do sistema OmniClass possuem correspondência e podem ser diretamente associadas às entidades sugeridas pela

norma ISO 12006-2. O sistema Uniclass 2015 também é aderente à ISO 12006-2 (GELDER, 2015). Apesar disso, há entidades que fazem parte da estrutura da ISO 12006-2, mas não possuem uma correspondência direta nas tabelas no sistema Uniclass 2015. Além disso, esse sistema possui uma estrutura de classificação um pouco diferente, em que nem todas tabelas possuem uma equivalência com as do OmniClass e do CICS brasileiro. Por exemplo, de acordo com CSI (2020), as tabelas 11 e 12 do OmniClass classificam respectivamente as tabelas A.8 e A.9 da ISO 12006-2:2015, mas a partir de facetas diferentes e complementares. Conforme Gelder (2015), no entanto, a tabela de Complexos (*Complexes*) do Uniclass 2015 corresponde à tabela A.8 (*Construction Complexes*) da ISO 12006-2, mas não à tabela 11 (*Construction Entities by Function*) do OmniClass. Para considerar essa diferença de interpretação, a tabela A.8 foi representada duas vezes no Quadro 19. Apesar das diferenças identificadas, esses três CICS possuem suficientes características comuns para caracterizarem os requisitos da aplicação a ser desenvolvida. Um ponto de destaque é o fato de ambos os sistemas usarem a classificação facetada, o que significa que pode existir mais de um código de classificação para o mesmo objeto BIM. Outro aspecto que abrange as características comuns dos três sistemas é que os códigos de classificação devem ser.

Com base nessas observações e nas discussões apresentadas na fundamentação teórico-conceitual, foram identificados os seguintes requisitos para aplicar o CICS brasileiro no contexto da modelagem BIM:

- a) algumas classificações se aplicam aos os objetos BIM, que fazem parte do modelo BIM, pois se referem às partes do ambiente construído ou a seus componentes;
- b) algumas classificações se aplicam ao modelo BIM como um todo, pois se referem à totalidade do ambiente construído ou de suas unidades;
- c) a classificação é feita mediante a atribuição de um código de classificação, que no caso do CICS brasileiro estão enumerados nas partes da norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017);
- d) a princípio, as tabelas de classificação devem conter códigos de classificação com o nível de granularidade adequado e necessário para classificar todos os componentes do modelo BIM passíveis de classificação;
- e) os objetos BIM devem ser classificados considerando seu uso, a fase do ciclo

de vida e alguma medida do nível de desenvolvimento, detalhamento, informação, acurácia ou, preferencialmente, a necessidade do nível de informação (*Level of Information Need*) (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018b, 2018c);

- f) caso não haja um código de classificação com a granularidade mais baixa na tabela, pode ser usado o código 99, que foi reservado em cada um dos níveis das tabelas e se refere à classificação “outros”. Também é possível classificar utilizando apenas o código de nível hierárquico imediatamente superior, em um nível de abstração da classificação mais elevado;
- g) a interpretação das funções dos objetos BIM deve levar em consideração a utilização de um sistema de classificação facetado. Isso é importante porque cada objeto BIM pode ter mais de um código de classificação, sendo um para cada faceta. É importante ressaltar que os códigos de classificação têm que fazer sentido no contexto do uso de um sistema de classificação facetado. Por exemplo, para a classificação de uma janela pelo CICS brasileiro, primeiramente pode ser atribuído ao objeto BIM que representa a janela um código de componente, proveniente da Tabela 2C, e em outra fase da obra, pode ser atribuído um código de elemento, proveniente da Tabela 3E. Em um terceiro momento, pode-se ainda atribuir um código de resultado da obra, proveniente da Tabela 3R;
- h) os códigos de classificação podem não estar vinculados diretamente aos objetos BIM, pois podem ter sido aplicados aos seus subcomponentes ou ao modelo BIM como um todo.

Dessa forma, nota-se que o uso de códigos classificação pode ser feito de diversas formas, mas deve refletir o nível de desenvolvimento, detalhamento, acurácia e informação dos objetos BIM e do modelo BIM como um todo. Ou seja, deve-se observar a necessidade do nível de informação (*Level of Information Need*) (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018a). Ressalte-se que a não utilização dos códigos de classificação pode ter diversas razões, seja por erros na modelagem ou mesmo devido à estratégia de projeto (*design*). Por exemplo, uma janela pode estar contida em um grupo, e esse grupo é que recebe o código de classificação. O código pode ainda ser aplicado a subelementos ou subcomponentes do objeto BIM, como a moldura de uma janela. Portanto, as especificações, definições,

técnicas de projeto ou de modelagem BIM trazem consequências para o uso da classificação, e algumas diretrizes com relação ao uso do sistema de classificação facetado precisam ser especificadas e seguidas ao longo do desenvolvimento dos modelos BIM.

Os requisitos levantados inicialmente foram para a aplicação do sistema de classificação brasileiro, mas também se aplicam aos sistemas OmniClass e Uniclass 2015, bem como a outros CICS que utilizem uma classificação facetada e códigos de classificação alfanuméricos. Foram identificados os seguintes passos para a utilização da modelagem BIM juntamente com um CICS facetado:

- a) especificar quais objetos BIM irão receber os códigos de classificação e quais as Tabelas e códigos serão utilizados;
- b) especificar a fases da obra em que cada objeto BIM, ou o modelo BIM como um todo, irá receber o código de classificação;
- c) preparar as tabelas de classificação de acordo com as especificações e em um formato que seja aplicável aos objetos BIM ou o modelo BIM como um todo;
- d) carregar ou vincular as tabelas de classificação aos modelos BIM;
- e) aplicar os códigos BIM aos objetos BIM ou o modelo BIM como um todo.
- f) verificar a existência de códigos de classificação em cada objeto BIM e o modelo BIM como um todo;
- g) verificar os códigos de classificação, identificando os que estão de acordo com as especificações;
- h) relatar os resultados tendo em vista a fase atual do projeto e as especificações.

Com base nos requisitos e nos passos apresentados nesta seção, foi proposta a concepção de uma aplicação computacional, a ser desenvolvida como um protótipo evolutivo para ser executado em um ambiente ou plataforma BIM. A seguir são apresentados detalhes da plataforma de *software* BIM selecionada para o desenvolvimento do protótipo e sua execução para a realização do estudo de caso.

4.1.2 Seleção da plataforma de software BIM

Existem atualmente diversas plataformas e ferramentas de *software* BIM, como discutido na fundamentação teórico-conceitual. Esta seção apresenta a seleção de uma plataforma de *software* para a realização da implementação proposta na pesquisa, que precisa considerar que o processo de modelagem BIM permeia todo o ciclo de vida dos ativos que compõem o ambiente construído. O ciclo de vida desses ativos se inicia na fase em que o ambiente a ser construído é concebido, passa pelo desenvolvimento, em que projetos são elaborados e obras e serviços são executados, e vai até sua conclusão, que pode ser o uso do ambiente construído, envolvendo a operação e a manutenção ou gerenciamento de instalações (Facilities Management - FM). No final de um ciclo de vida, a construção pode ser demolida, passar por um processo de desmontagem, em que os ativos que compõem o ambiente construído podem ser reaproveitados, ou mesmo sofrer uma adequação para um novo uso, como no caso de uma reforma, que reinicia o ciclo a partir de nova concepção. Nesse contexto, a plataforma de *software* selecionada para implementar o protótipo precisa permitir uma análise que cubra todo o ciclo de vida do ambiente construído.

A escolha de uma plataforma de *software* BIM teve considerou os requisitos para o desenvolvimento da aplicação computacional proposta, que incluem o acesso aos dados de modelos BIM para a recuperar informação sobre o uso de um CICS. Também se levou em consideração características como robustez da plataforma BIM, disponibilidade de versões gratuitas ou de avaliação para serem utilizadas na pesquisa e o nível de adoção e aceitação tanto na academia quanto no mercado. Considerando esses requisitos, o *software* Autodesk Revit 2020® (AUTODESK, 2020) foi selecionado para executar os experimentos, que envolvem o desenvolvimento do protótipo e a realização de testes na forma de um estudo de caso usando a modelagem BIM. Vale ressaltar que modelos BIM também precisaram ser criados ou adaptados utilizando essa plataforma de *software*. O Revit disponibiliza interfaces de programação de aplicativos (Application Programming Interface - API), que podem ser utilizadas para a criação de aplicativos de extensão utilizando algumas linguagens de programação, como Visual Basic e C#. O uso de APIs nesse ambiente de *software* possibilita a automação de funcionalidades da estrutura ou arquitetura interna dessa plataforma e o amplo acesso aos dados dos modelos BIM. A possibilidade de recuperar informações a partir do acesso direto aos dados de um modelo BIM,

incluindo seus parâmetros, componentes e elementos gráficos, foi um fator determinante na escolha da plataforma de *software* BIM. A seguir é apresentado um breve histórico do *software* Revit.

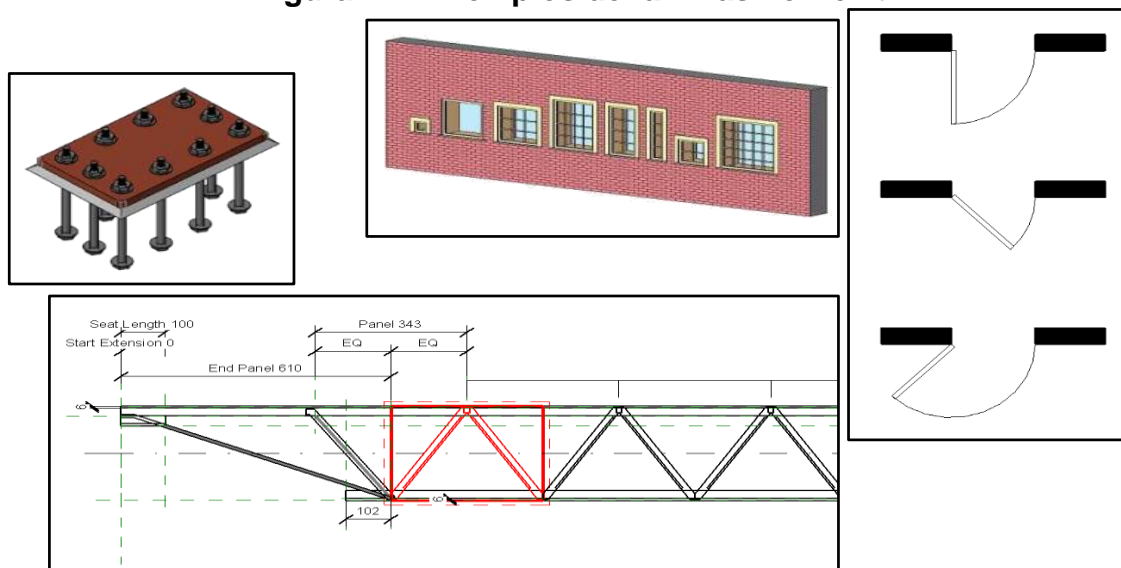
O desenvolvimento do *software* Revit, um dos aplicativos de BIM mais utilizados no mercado atualmente, teve início na cidade de Newton, Massachusetts, em 1997, pelos desenvolvedores Leonid Raiz e Irwin Jungreis. A linguagem de programação utilizada foi o C++ e a plataforma de desenvolvimento era o sistema operacional Microsoft Windows. A primeira versão do Revit foi lançada em 2000, e outras versões foram desenvolvidas até que a Autodesk Inc. comprou a empresa desenvolvedora desse produto, denominada *Revit Technology Corporation*, em 2002 (OFICINA DO PROJETISTA, 2021). Com essa aquisição, principalmente devido à incorporação do *software* Revit ao seu portfólio de produtos, a Autodesk se tornou uma importante concorrente no mercado de *software* de BIM, fazendo frente a grandes empresas como Nemetschek, Bentley e Dassault Systèmes/Gehry Technologies. Desde sua aquisição pela Autodesk, o Revit tem recebido fortes investimentos em pesquisa e desenvolvimento, ganhando constantes aprimoramentos, incluindo a criação e de interfaces de programação de aplicativos (API) cada vez mais poderosas. Novas versões do *software* Revit também vêm sendo lançadas continuamente já com esses aprimoramentos desde 2004. Em 2005, o Revit Structure foi introduzido no mercado, e em 2006, o Revit MEP, quando o *software* original foi renomeado para Revit Architecture. Já a partir de 2013 os subprodutos do Revit (módulos separados por disciplina) se fundiram novamente.

Para compreender o funcionamento básico do *software* Revit, é necessário conhecer a nomenclatura utilizada por seus componentes, que são, em sua maioria, inseridos nos modelos BIM por meio de moldes de objetos chamados Famílias. Na arquitetura interna do *software* Revit, as instâncias de Famílias são representações gráficas de objetos ou componentes do modelo de construção, podendo ser símbolos, conter geometria em 2D ou em 3D, dados paramétricos e referências a outros objetos. As instâncias de Famílias são modelos digitais, podendo ser compostos por outros objetos, atributos e parâmetros. Assim, tanto as Famílias, que são os moldes para a instanciação de objetos, quanto suas instâncias, que são os objetos BIM, fazem referência aos Tipos de Família. Os Tipos de Família contêm predefinições para a estrutura da Família a que estão vinculadas. Vale ressaltar que tanto as Famílias quanto os Tipos de Família podem ter parâmetros.

Para criar um objeto em um modelo BIM, como uma janela, por exemplo, é necessário selecionar uma Família de janela, mas também é necessário selecionar um Tipo de Família, entre os Tipos que aquela Família de janela possui antes de instanciar o objeto “janela”. Dessa forma, uma instância é um objeto pertencente a uma Família, mas é também vinculado a um Tipo de Família. É importante ressaltar que as Instâncias de Família também podem possuir parâmetros, mas com aplicação diferente dos parâmetros de tipo, que são utilizados em todas as instâncias de um determinado Tipo de Família, ou no exemplo da “janela”, daquele “Tipo de Janela”. Assim, os parâmetros que possuem valores diferentes em cada objeto ou instância de família são chamados parâmetros de instância para diferenciá-los dos parâmetros de tipo. Vale ressaltar que no protótipo desenvolvido, os parâmetros utilizados para armazenar os códigos de classificação são parâmetros de tipo.

O uso de dados de forma totalmente parametrizada é o que suporta a definição e a criação da representação gráfica dos objetos BIM no Revit. Alguns exemplos de objetos que são representados como Famílias no ambiente do *software* Revit são mostrados na Figura 21. Nota-se, na figura, uma peça composta por suportes, parafusos e chapas, algumas janelas “hospedadas” em uma parede, uma porta com três formas de representação, e uma peça estrutural com dimensões paramétricas.

Figura 21 - Exemplos de famílias no Revit



Fonte: Autodesk (2020a).

Genericamente as Famílias no ambiente do software Revit podem ser de três tipos, como apresentado a seguir:

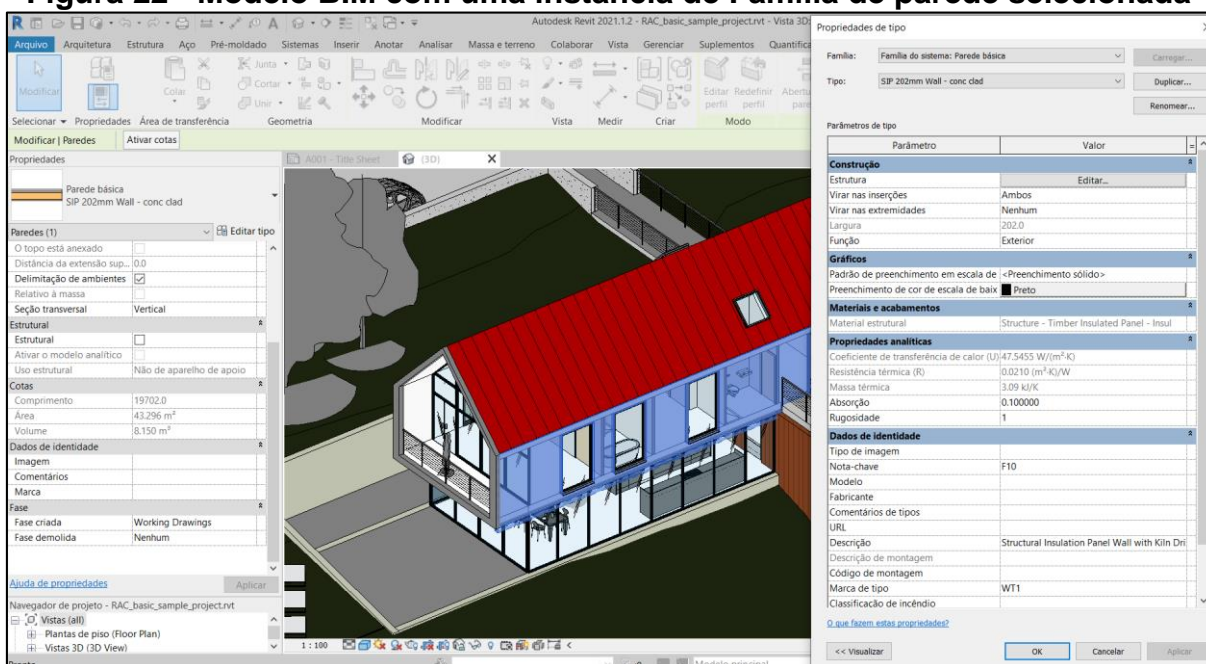
- a) Famílias de sistema (*System Families*): são armazenadas nos *templates* (modelos para criação) de projeto e podem ser instanciadas nos modelos BIM sem precisarem ser carregadas. Exemplos de famílias de sistema são Famílias de parede (*walls*), telhados (*roofs*), pisos (*floors*) e tetos (*ceilings*). As famílias de sistema têm algumas características próprias, como a capacidade de “hospedar” (*host*) outras famílias. Um exemplo são as famílias de parede, mostradas na parte superior da Figura 21, que podem conter ou “hospedar” famílias de janelas;
- b) Famílias criadas ou editadas “no local” (*In-Place Families*): são criadas ou modificadas dentro de cada projeto. Assim, pode-se manipular ou modelar uma família diretamente dentro do modelo BIM, o que é útil quando se tem, por exemplo, geometrias irregulares ou não compreendidas nas famílias de sistema, em famílias já carregadas no modelo ou em famílias disponibilizadas por terceiros facilmente acessíveis. Um exemplo é mostrado na parte inferior da Figura 21, em que uma estrutura específica de um projeto foi parametrizada utilizando uma família criada “no local”;
- c) Famílias padrão ou carregáveis (*Standard Families*): são famílias criadas por terceiros, salvas em arquivos com extensão “.rfa” que podem ser inseridos nos projetos ou modelos BIM. Exemplos de famílias carregáveis são janelas, portas, como mostrado no lado direito da Figura 21, mobília, vigas e luminárias. Muitas famílias carregáveis são disponibilizadas por fabricantes de produtos para a indústria de AEC. Existem diversos repositórios e bibliotecas de componentes BIM, como a biblioteca nacional (BNBIM), que faz parte Plataforma BIM BR, lançada como parte da Estratégia BIM BR, como já discutido neste trabalho.

Como o processo de modelagem BIM é paramétrico, a manipulação das Famílias no Revit tem reflexo em todo o modelo, o que ocorre de forma automática quando se modificam as propriedades das instâncias de Famílias. Também pode-se usar fórmulas ou outras funções programáticas para controlar o comportamento das Famílias com o uso de interfaces de programação de aplicações (API). Uma análise da API do *software* Revit, utilizada para a implementação do protótipo que faz parte da presente pesquisa, é apresentada a seguir.

4.1.3 Análise do uso de aplicativos de extensão

Os aplicativos de extensão para o software Revit podem ser desenvolvidos com vistas a acessar, via código-fonte, os componentes paramétricos dos modelos BIM, que conceitualmente podem ser entendidos como objetos virtuais que representam as partes construtivas, e com isso recuperar informações úteis em diversos contextos. Essas múltiplas informações contidas nos modelos BIM permitem diversas análises, como a verificação de características específicas dos materiais e equipamentos utilizados nas instalações, requisitos de uso da edificação, análise de interferência, identificação e resolução de conflitos, prazos estimados para manutenção, valores de consumo de água e energia elétrica entre outros. A Figura 22 mostra um exemplo de modelo BIM criado com o software Revit. Nota-se que um componente do modelo BIM, ou objeto BIM, foi selecionado e as informações armazenadas nesse objeto, que é uma instância da Família de parede chamada “Parede básica”, são mostradas no painel lateral esquerdo. Do lado direito da figura é exibida outra janela, que contém informações sobre o Tipo de Família chamado “SJP 202mm Wall - conc clad”, que também se refere ao objeto BIM selecionado.

Figura 22 - Modelo BIM com uma instância de Família de parede selecionada



Fonte: Elaborado a partir de arquivo de exemplo de projeto ou modelo BIM fornecido com a instalação do software Revit.

Uma inteligência semântica contextual aplicada aos modelos BIM, acessando as informações neles contidas, armazenadas geralmente como parâmetros é utilizada na formulação proposta. Os modelos BIM são representações tridimensionais digitais de objetos físicos. Eles armazenam intrinsecamente informações gráficas e relações geométricas entre seus componentes, por exemplo, dimensões e tipos de vínculo. Informações não gráficas, entretanto, também podem ser armazenadas nos modelos BIM. Assim, dados acessórios decorrentes, por exemplo, de informações do fabricante, custos e propriedades dos materiais empregados, podem ser adicionados tanto nos objetos BIM quanto nos modelos BIM como um todo. Isso diferencia a modelagem BIM de uma simples elaboração de maquetes digitais. O armazenamento de dados nos modelos BIM deve ser feito com critério, para que se tenha uma gestão da informação efetiva e não haja excesso nem falta de informação. Vale ressaltar que armazenar os códigos e descrições das classificações provenientes de um CICS são um exemplo de uso de informação acessória em modelos BIM.

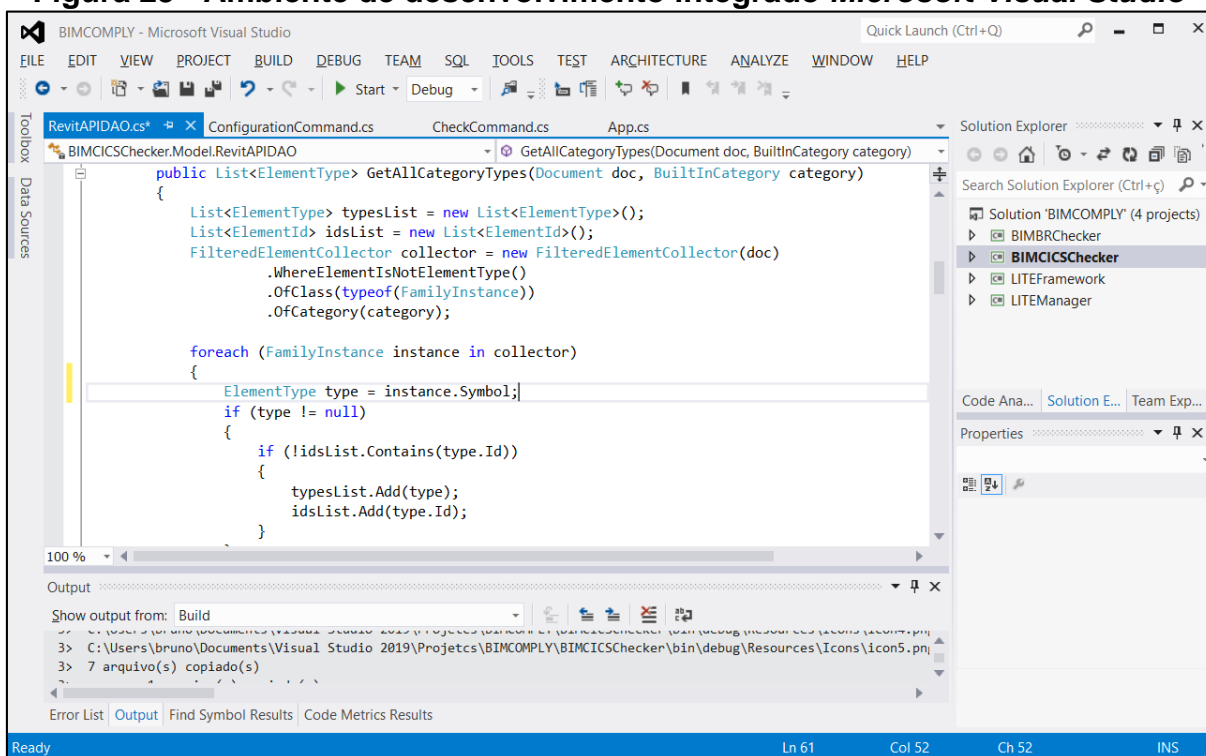
Os modelos BIM são estruturados de acordo com a orientação a objetos (OO). A programação orientada a objetos (POO) utiliza objetos, que podem conter atributos e referências para outros objetos, e seu comportamento é definido por métodos. Vale destacar que no contexto da OO, há também o conceito de classes, que são abstrações ou moldes para a criação de objetos. Os componentes construtivos, em um modelo BIM, são representados por objetos, e os parâmetros são os atributos desses objetos. Há ainda os relacionamentos entre objetos, que são implementados como métodos e dependem da estrutura ou arquitetura interna de cada plataforma de *software* BIM. Assim, a forma de organização dos objetos, atributos e métodos pode variar de acordo as características de cada *software* BIM. Surge então a necessidade de se utilizar soluções robustas para acessar a informação armazenada nos objetos e métodos das plataformas de *software* BIM, como as que usam interfaces de programação de aplicativos (API).

Os objetos BIM são chamados de instâncias de famílias no *software* Revit, como já mencionado. Uma instância de família é um objeto no contexto da OO, e seu comportamento paramétrico é implementado por métodos. A estrutura interna do Revit, organizada de forma orientada a objetos, é acessível por meio das APIs disponibilizadas por essa plataforma de *software*. Com o uso de uma API, propriedades dos modelos BIM podem ser alteradas diretamente via programação. Pode-se modificar, por exemplo, a visibilidade dos objetos BIM na tela. Também é

possível acionar métodos, ou operações. Por exemplo, pode-se possível acionar métodos que redimensionam os componentes, os substitui, ou até mesmo criam novas instâncias de Famílias. Vale ressaltar que algumas alterações precisam ser feitas mediante o acionamento de métodos porque há propriedades cuja alteração não é simples. Há outras, entretanto, que para serem alteradas basta mudar os valores dos atributos. Assim, os métodos disponibilizados pelas APIs realizam alterações consistentes na estrutura interna dos modelos BIM. Por exemplo, para se executar um método que cria instâncias múltiplas ou arranjos (*arrays*) de objetos, é necessário indicar uma direção e a quantidade de objetos a serem criados. Ressalte-se que o nível de complexidade para se criar ou modificar objetos BIM via programação pode necessitar de algoritmos mais elaborados. Um exemplo de alteração mais complexa é a execução de um método que copia uma instância de Família de janela, que fica “hospedada” em uma instância de Família de parede, é necessário especificar uma nova parede hospedeira, que precisa ser uma instância de Família de parede já existente no modelo BIM, para receber a janela copiada. Nesse caso, diversos objetos, relacionamentos e atributos precisam ser alterados, e essas alterações podem ser feitas de forma mais adequada e consistente com o uso das funcionalidades disponibilizadas pelas APIs.

Exemplos mais simples de extensões para o *software* Revit são as automações que utilizam “Macros”. Com essas “Macros” (API Visual Studio Tools for Applications - VSTA), pode-se automatizar a execução de uma série de tarefas mais básicas no Revit, como a manipulação de objetos já instanciados e a exibição de formulários. Entretanto, para criar uma aplicação mais robusta, é necessário utilizar uma API que permita a criação de aplicativos de extensão, ou “*add-ins*”. O funcionamento das APIs do Revit, que permitem a criação de aplicativos de extensão utilizando as linguagens de programação de computadores Visual Basic (VB.NET) ou C#, é detalhado em Autodesk (2020d) e em Tammik (2020). Um ponto em comum nessas APIs é o uso do *framework* Microsoft.NET e o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) Microsoft Visual Studio. As aplicações criadas com uma das APIs do Revit devem estender classes e/ou implementar interfaces, de forma a utilizar ou especializar comandos nativos dessa plataforma de *software* BIM, ou mesmo criar comandos personalizados. A interface gráfica do IDE Microsoft Visual Studio 2019, mostrada na Figura 23, foi utilizada para desenvolver o protótipo proposto como um aplicativo de extensão para o *software* Revit.

Figura 23 - Ambiente de desenvolvimento integrado Microsoft Visual Studio



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para criar aplicativos de extensão que utilizam a API .NET do Revit, são disponibilizados kits de desenvolvimento de *software* (Software Development Kit - SDK). Vale destacar que existem SDKs específicos para cada versão do Revit, devido a variações em sua arquitetura interna, que podem afetar a estrutura de classes ou objetos e os métodos disponibilizados pelas APIs. Algumas características, entretanto, já estão consolidadas e não costumam variar. Classes personalizadas podem ser criadas, e para isso utilizam-se características da POO como a herança e o uso de interfaces. Assim, é possível criar classes que herdam ou especializam classes nativas, bem como classes que implementam interfaces específicas, disponibilizadas pelas APIs. De forma geral, todos os comandos personalizados, criados com as APIs do Revit, devem implementar a interface “*IExternalCommand*” e as classes que representam o ponto de entrada das aplicações desenvolvidas devem especializar a classe “*Application*”. Também é necessário realizar alguns procedimentos e criar alguns arquivos de configuração. Por exemplo, para carregar um aplicativo de extensão (*add-in*) e no ambiente principal do Revit é preciso criar um arquivo de manifesto (*add-in manifest*) e colocá-lo em uma pasta específica, e também podem ser necessários arquivos adicionais, com os utilizados para especificar atributos (*attributes*). Muitos dos passos necessários para criar aplicativos de extensão para o

Revit são feitos automaticamente quando se utilizam os SDKs. Ressalte-se que para desenvolver adequadamente aplicações com a API .NET do Revit é necessário compreender a arquitetura interna ou estrutura de organização e representação de objetos, assim como conhecer a dinâmica de criação/instanciação de componentes do modelo BIM e a forma de acessar as coleções de objetos, realizando iterações, filtragens e modificações.

A escolha da linguagem de programação de computadores a ser utilizada para criar um aplicativo com a API .NET do Revit, que pode ser C# ou VB.NET, fica a critério do desenvolvedor, pois ambas são igualmente suportadas pela API e pelo *framework* .NET. Com relação ao desempenho, as duas linguagens são equivalentes depois de compiladas. O código em linguagem intermediária (Intermediate Language - IL) gerado pelo compilador é o mesmo. Exemplos de códigos-fonte, mostrando como utilizar as APIs do Revit, são disponibilizados com o material de apoio do SDK, tanto na linguagem VB.NET quanto na linguagem C#. Além desses exemplos, o material de apoio contém vídeoaulas, exercícios didáticos e apresentações.

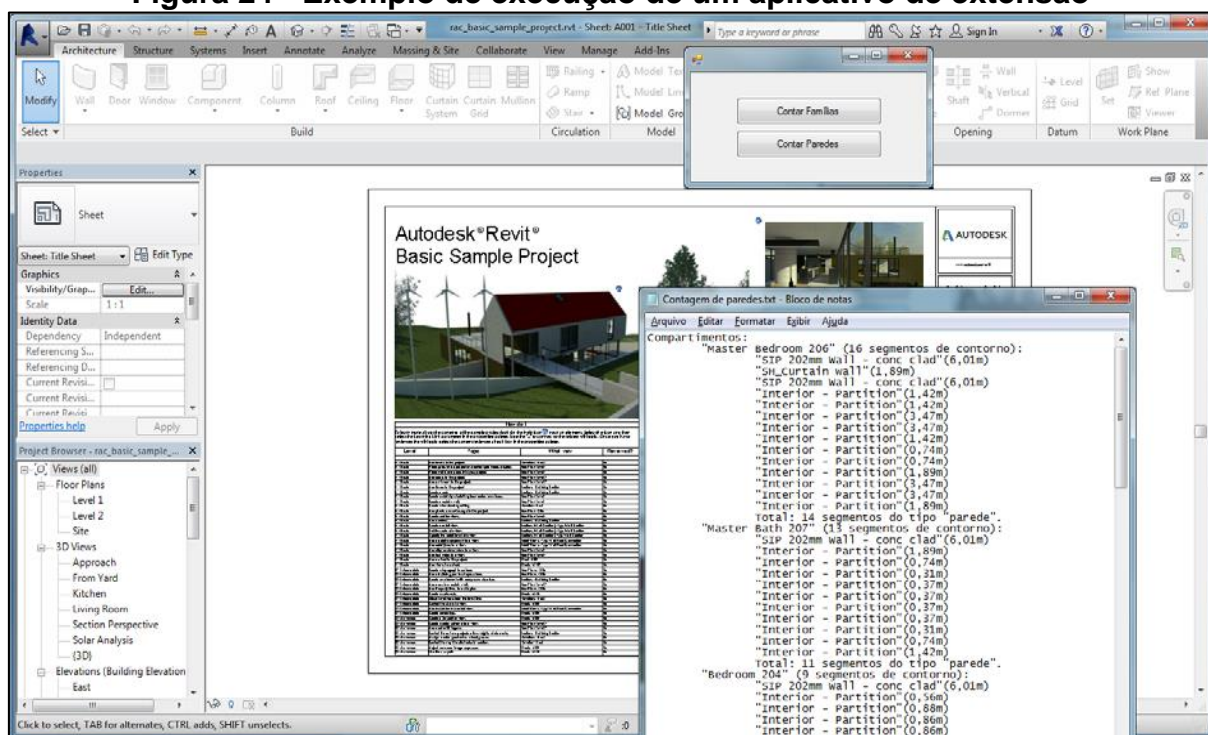
Como já mencionado, os objetos internos do *software* Revit podem ser acessados por meio do uso de suas APIs. Esses objetos podem ser componentes construtivos, que são os objetos BIM, subelementos ou diversos outros utilizados para a organizar a estrutura interna do *software*. Vale ressaltar que o processo de acessar os dados armazenados em objetos se assemelha à realização de consultas em um “banco de dados”, em que é necessário saber quais dados são necessários e onde se localizam. Também é possível instanciar e criar novas Famílias programaticamente, como já mencionado. Cada método disponibilizado pelas APIs, entretanto, deve ser executado em um contexto específico. Por exemplo, se a janela principal do Revit está em execução, o contexto, ou o ambiente, é o editor de modelos (ou projetos). Há também o ambiente do editor de famílias. Para instanciar objetos no ambiente do editor de Famílias via programação, por exemplo, é necessário executar alguns dos métodos disponibilizados pela API. Assim, novos planos de referência podem ser criados durante a edição de uma Família via programação, e para isso deve-se utilizar o método “*FamilyCreate.NewReferencePlane()*”; para modificar dimensões ou cotas, aciona-se o método “*FamilyCreate.NewDimension()*” e para adicionar um parâmetro, usa-se o método “*AddParameter()*”.

Com isso, nota-se que o uso dos recursos disponibilizados pelas APIs da plataforma de *software* Revit traz grande potencial para o desenvolvimento de

aplicações ou sistemas de informação especialistas. Esses recursos permitem acessar as funcionalidades dessa plataforma e os dados dos modelos BIM para implementar fluxos e processos de trabalho e até interoperar com outros sistemas ou aplicações externas. Outra forma de realizar a comunicação com outros sistemas ou ambientes de *software* é mediante a exportação de parâmetros de um projeto ou modelo BIM para um formato padrão da indústria, como o IFC (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018a), ou mesmo para um arquivo de texto ou planilha eletrônica. Ressalte-se que alguns desses recursos foram utilizados no desenvolvimento do protótipo, conforme detalhado mais adiante.

Com o acesso às informações contidas em um modelo BIM, incluindo as obtidas com o acesso os dados armazenados nas instâncias de famílias, ou mediante métodos que processam esses dados, é possível construir aplicações robustas, que permitem a realização de diversas análises, como o cálculo de custos de um projeto ou modelo BIM. Por exemplo, na Figura 24 é mostrado um aplicativo de extensão, executado sobre um modelo BIM, que recupera informações do modelo e exibe o resultado em um arquivo de texto. No exemplo é mostrada uma contagem do comprimento linear de todas as instâncias de Famílias de paredes do modelo BIM.

Figura 24 - Exemplo de execução de um aplicativo de extensão



Fonte: Soares et al. (2015).

Outros exemplos de aplicação das APIs são as diversas verificações a serem realizadas nos componentes construtivos representados nos modelos BIM. Esse processo é conhecido como verificação automática de regras ou de códigos (*rule/code checking*). As regras são verificadas a partir da informação recuperada em modelos BIM, que podem estar armazenadas em parâmetros, que podem ser tanto dos objetos BIM quanto do modelo como um todo. Os relacionamentos entre objetos também podem ser utilizados para verificar determinadas regras. Um mecanismo de verificação de regras é implementado no protótipo desenvolvido na presente pesquisa, como detalhado nas seções seguintes.

4.1.4 Avaliação e resultados parciais

No diagnóstico, primeiramente foram investigados os componentes do arcabouço regulatório brasileiro sobre o BIM, composto principalmente por decretos e normas técnicas. Procedimentos de pesquisa para buscar e estudar e trabalhos relacionados com os temas investigado foram elaborados, e o próximo passo foi selecionar os considerados mais relevantes, com vistas a identificar os componentes que poderiam fazer parte do protótipo a ser desenvolvido. Foi então iniciado um processo de análise das características dos sistemas de classificação da informação da construção (CICS) existentes e disponíveis para uso pela indústria de arquitetura, engenharia e construção (AEC) no contexto da modelagem da informação da construção (BIM), tendo em vista os mais difundidos e discutidos na literatura. Foi analisado em detalhes o CICS brasileiro. O propósito do estudo foi avaliar a viabilidade prática e propor uma solução para ajudar a resolver o problema e a questão de pesquisa. A investigação para a formulação de uma solução envolveu aspectos como a seleção de uma plataforma de *software* que permita o acesso aos dados de modelos BIM e o uso de sistemas ou mecanismos de verificação de regras. Foram elaborados registros dos estudos, como tabelas comparativas. Novas fontes de consulta foram identificadas e adicionadas às referências. A plataforma de *software* BIM selecionada mediante a realização de estudos e testes foi o Autodesk Revit. Esse *software* foi então adotado para a elaboração de um protótipo, e o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) selecionado para implementar o protótipo foi o Microsoft Visual Studio. A interface de programação de aplicativos (API) selecionada para ser utilizada foi a Revit .NET API, que é uma poderosa API disponibilizada pela plataforma BIM do

software Revit. O artefato gerado nesse estágio de diagnóstico foi o do método de desenvolvimento, que foi então estabelecido e adotado nos próximos estágios da pesquisa. Uma reflexão sobre a viabilidade de utilização desse ambiente de *software* foi feita, levando em consideração também soluções computacionais similares, que foram analisadas para servirem de exemplo ou como base para a construção do protótipo. Com os estudos realizados, formou-se um conhecimento mais abrangente do problema a ser resolvido e das alternativas de solução viáveis. Dessa forma, o aprendizado foi registrado e utilizado para direcionar os próximos passos. Vale destacar que as atividades realizadas neste estágio buscaram atingir os objetivos específicos de analisar o uso do processo de modelagem BIM considerando o arcabouço normativo e regulatório nacional e internacional sobre esse tema e avaliar o uso do CICS brasileiro, e com isso viabilizar a formulação uma solução que possa subsidiar a geração de indicadores da qualidade da informação.

4.2 Concepção inicial

Esta seção mostra as atividades que foram realizadas no estágio de concepção inicial da solução proposta na pesquisa, no contexto da abordagem ADR. Uma versão preliminar do protótipo foi concebida. Primeiramente, são feitas algumas considerações sobre a concepção do protótipo, que é uma versão simplificada de um sistema de *software* ou aplicação computacional, e tem o propósito de recuperar e tratar informações armazenadas em projetos ou modelos BIM. Esses modelos contêm componentes denominados objetos BIM, que também armazenam informações a serem recuperadas. Ao realizar os primeiros testes para avaliar a viabilidade da implementação proposta, foi identificado que a verificação da existência de códigos de classificação associados a objetos BIM pode ser considerada uma solução do tipo verificação de regras (*rule checking*). Vale ressaltar que os códigos de classificação podem ser armazenados como parâmetros nos modelos BIM. Portanto, a informação necessária para a formulação proposta é recuperada mediante o acesso aos objetos BIM ou aos próprios modelos BIM que contêm esses objetos. Dessa forma, as verificações a serem realizadas pelo protótipo consistem na recuperação de valores contidos nesses parâmetros, não havendo, a princípio, processamentos adicionais, como a obtenção de dados derivados de relações entre os objetos BIM, o que poderia trazer mais complexidade para as regras a serem verificadas.

A proposta inicial de desenvolvimento do protótipo foi criar algumas funcionalidades para atribuir valores aos parâmetros que armazenam os códigos de classificação e posteriormente recuperar esses valores para permitir realizar uma análise de uso de um CICS. Entretanto, ao pesquisar nas bibliotecas de aplicativos de extensão ou suplementos para o *software* Revit, foi encontrado o *add-in* chamado *BIM Interoperability Tools*. Esse aplicativo de extensão possui um conjunto de ferramentas de interoperabilidade, entre elas uma aplicação que executa uma funcionalidade similar a uma parte do que se pretendia implementar inicialmente, que é aplicar a classificação aos modelos BIM. Esse aplicativo, chamado *Autodesk Classification Manager for Revit*, permite realizar a configuração e a aplicação de um sistema de classificação da informação da construção (CICS) a objetos e modelos BIM. Entretanto, ele não possui todas as funcionalidades necessárias para realizar a formulação proposta, que além de permitir a classificação de objetos, envolve a verificação do uso de um CICS.

O aplicativo *Autodesk Classification Manager for Revit*, doravante chamado de *Classification Manager*, utiliza uma planilha contendo as tabelas de um CICS para atribuir códigos de classificação aos componentes de um modelo BIM. Como ele é desenvolvido e disponibilizado pela própria empresa proprietária do *software* Revit, foi considerado uma alternativa viável para realizar as classificações nos modelos BIM no contexto da presente pesquisa. Esse aplicativo foi então instalado e testado para utilizar as tabelas e os códigos de classificação do CICS brasileiro. Inicialmente, identificou-se que era necessária a elaboração de uma planilha eletrônica personalizada contendo a especificação das tabelas de um CICS para que os códigos de classificação fossem carregados pelo *Classification Manager* em um modelo BIM. Para configurar um CICS a ser utilizado nos modelos BIM, além do carregamento das tabelas, um conjunto de parâmetros também precisa ser especificado na planilha. A seguir, são apresentados comentários acerca dos testes realizados para a criação desses parâmetros, e também um detalhamento sobre como utilizar esse aplicativo de forma personalizada, tendo em vista o ambiente de BIM do *software* Revit.

Ao iniciar os testes com o aplicativo *Classification Manager*, foi identificado que os parâmetros que contêm os valores dos códigos de classificação são armazenados internamente nos modelos BIM como parâmetros de Tipo de Família. Como já discutido anteriormente, na estrutura de dados interna do Revit, os Tipos de Família são descritores dos objetos BIM, assim como as Famílias. Famílias são as categorias

em que os objetos BIM são organizados. Os Tipos de Família são como subcategorias das Famílias. As Famílias funcionam como moldes para criar ou instanciar objetos nos modelos BIM. Assim, os objetos BIM são instâncias de Famílias. Vale reiterar que as Famílias no Revit podem ser divididas em três categorias: Famílias de sistema, Famílias editadas no local (no contexto do projeto do modelo BIM), e Famílias carregáveis (famílias geradas externamente que podem ser carregadas em um modelo BIM). Em ambos os casos, existe a vinculação aos Tipos de Família, que qualificam as Instâncias de Família ou objetos BIM.

Tendo em vista a estrutura interna do *software* Revit, vale ressaltar que os parâmetros criados diretamente nas instâncias ou objetos BIM são chamados parâmetros de Instância, e neste caso, cada objeto possui um valor individualizado atribuído ao parâmetro. Os parâmetros de Tipo são diferentes dos parâmetros de Instância, pois no caso dos parâmetros de Tipo o valor é o mesmo para todos os objetos existentes no modelo BIM que se referem ao mesmo Tipo de Família. Os parâmetros de Tipo são, portanto, definidos e atribuídos aos Tipos de Família, mas seu valor pode ser recuperado a partir de qualquer objeto BIM que possui vínculo com aquele Tipo. Assim, todos os objetos BIM de um dado Tipo de Família possuem o mesmo valor para cada parâmetro de Tipo definido. Dessa forma, a partir de objetos BIM, que são as instâncias de Famílias no contexto do ambiente BIM do *software* Revit, é possível recuperar os valores armazenados em parâmetros de Instância e os valores atribuídos aos parâmetros de Tipo, pois cada instância possui um Tipo de Família associado a ela.

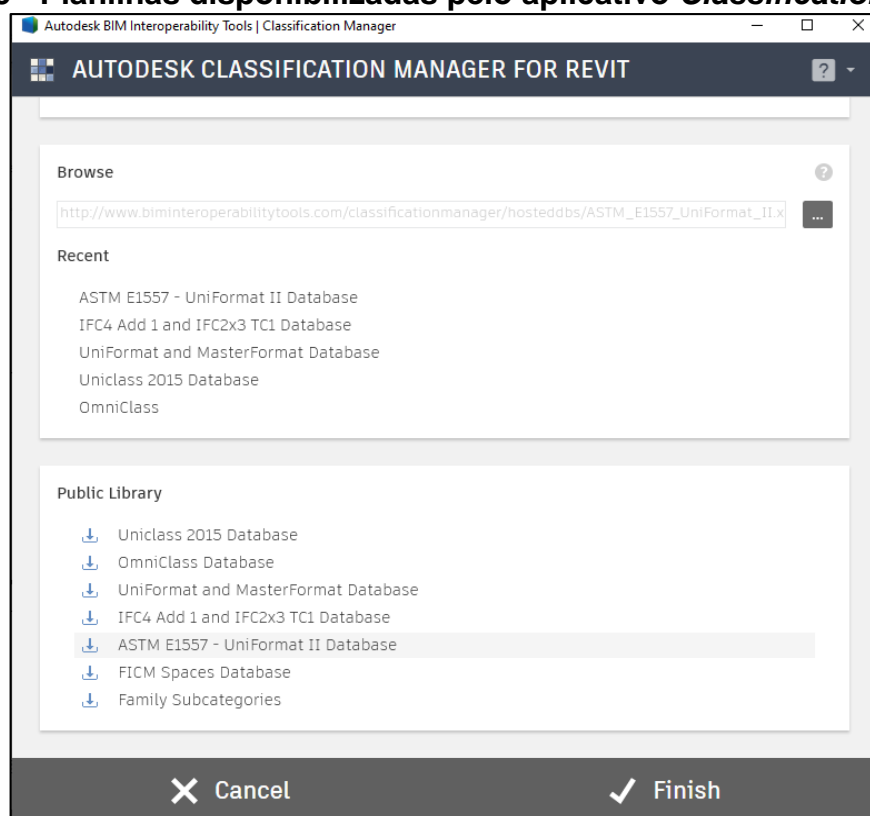
O acesso à estrutura interna dos modelos BIM via programação, entretanto, possui algumas diferenças no tratamento para recuperar e acessar os dados dos diversos objetos BIM existentes, tendo em vista as várias formas de relacionamento entre eles, que envolvem suas Famílias e seus Tipos de Família. Para lidar com essa complexidade, a solução formulada na presente pesquisa utilizou alguns padrões de projeto de *software* (GAMMA *et al.*, 2000). Os padrões de projeto adotados buscaram deixar o tratamento dos objetos BIM mais uniforme e permitir a execução do processo de verificação de regras de forma mais homogênea. As buscas pelos objetos BIM nos modelos não ficam dependentes da categoria de Família a que esses objetos pertencem e dos Tipos de Família que as categorias de Família possuem. Assim, foram utilizados padrões de projeto de *software* para resolver essa e outras questões técnicas de implementação e da arquitetura do *software* concebido.

Um problema identificado durante a concepção inicial do protótipo foi a falta de algumas tabelas de classificação do CICS brasileiro, pois ainda não tinham sido publicadas. Sem essas tabelas, o processo de classificação, bem como a planilha personalizada a ser gerada e carregada pelo aplicativo *Classification Manager*, ficariam comprometidos. Assim, cogitou-se uma alternativa de solução, que consistiu em substituir as tabelas ainda não publicadas do CICS brasileiro pelas tabelas correspondentes do sistema OmniClass. Isso levou à necessidade de um estudo mais detalhado da compatibilidade entre o CICS brasileiro e o OmniClass. Tendo em vista a proposta de elaboração do protótipo, esse estudo é apresentado a seguir.

4.2.1 Análise do uso do CICS OmniClass

A seguir são mostrados os testes realizados para analisar a viabilidade de utilização de parte do sistema OmniClass com o intuito de substituir as tabelas ainda não publicadas do CICS brasileiro. Planilhas contendo os principais CICS utilizados pelo setor de AEC são disponibilizadas pelo aplicativo *Classification Manager* e podem ser obtidas a partir de sua tela ou interface gráfica, como mostrado na Figura 25.

Figura 25 - Planilhas disponibilizadas pelo aplicativo *Classification Manager*



Fonte: Elaborado pelo autor.

A lista de planilhas disponíveis publicamente para utilização no *Classification Manager* pode ser vista na Figura 25, na divisão da tela chamada “Biblioteca Pública” (*Public Library*). Essas planilhas servem de modelo para que os usuários criem suas próprias planilhas personalizadas.

Uma planilha com a estrutura das tabelas de classificação do sistema OmniClass estava disponível para *download* pelo *Classification Manager*. Essa planilha foi utilizada como modelo para produzir a planilha personalizada, contendo o CICS brasileiro. Como o sistema Brasileiro é similar ao OmniClass, o mapeamento entre as tabelas de classificação desses sistemas foi direto. Primeiramente foram utilizadas as próprias tabelas do sistema OmniClass para realizar algumas simulações. Em seguida, as tabelas já publicadas do CICS brasileiro foram criadas em substituição das tabelas do sistema OmniClass, chegando assim na planilha personalizada utilizada no presente estudo, cujo detalhamento é apresentado a seguir. Os nomes das tabelas utilizadas na planilha personalizada, mesmo as que vieram do sistema OmniClass, foram mantidos como definido na ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). As tabelas do sistema OmniClass que precisaram ser mantidas na planilha personalizada foram:

- a) Tabela 21 (*Elements*), equivalente à Tabela 3E (Elementos) do CICS brasileiro;
- b) Tabela 22 (*Work results*), equivalente à Tabela 3R (Resultados) do CICS brasileiro;
- c) Tabela 11 (*Constuction Entities by Function*), equivalente à Tabela 4U (Unidades por função) do CICS brasileiro; e
- d) Tabela 13 (*Spaces by Function*), equivalente à Tabela 4A (Espaços por função) do CICS brasileiro.

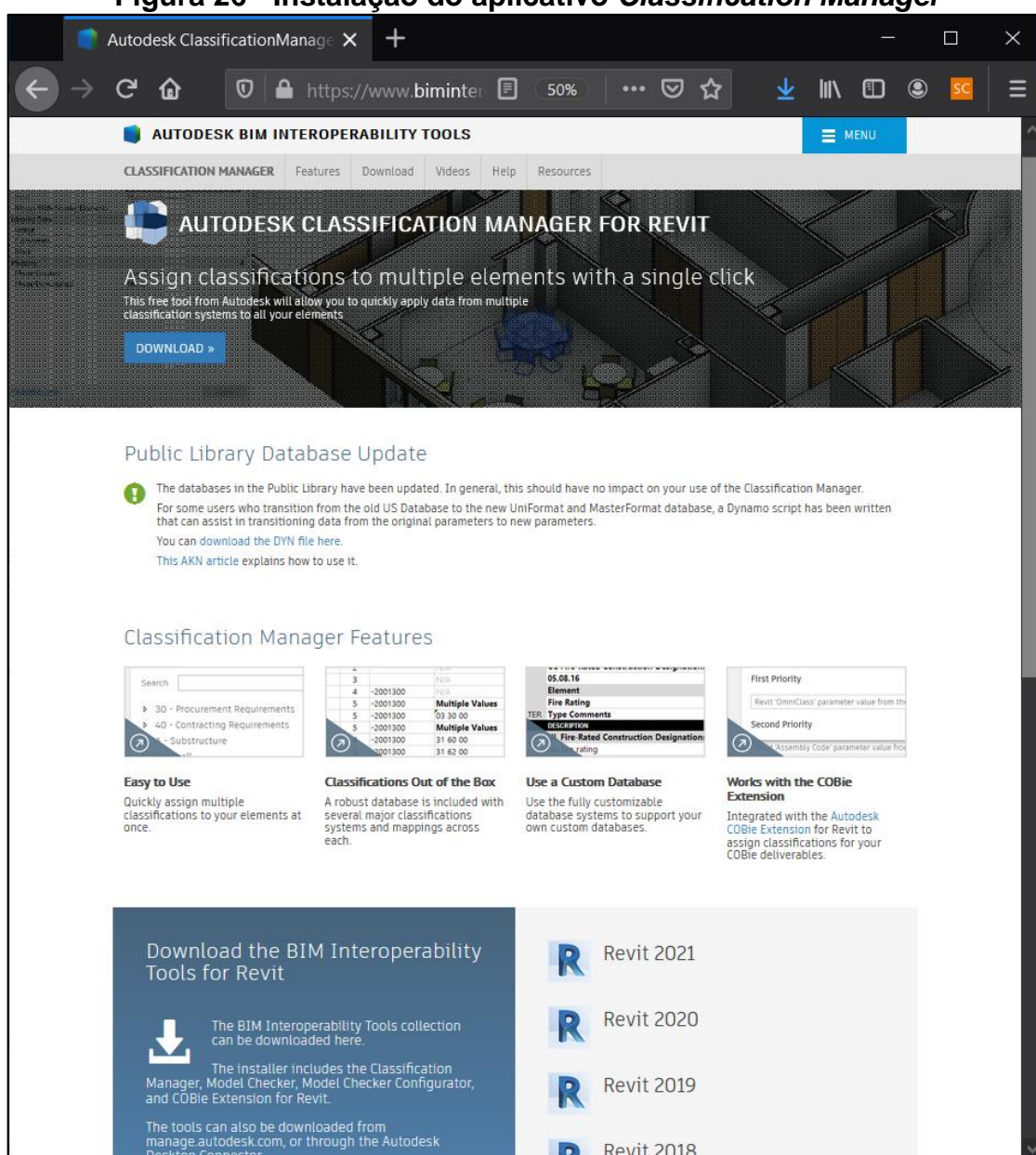
Nessas tabelas, os códigos de classificação foram igualados ao nome da tabela, ou seja, foi utilizado apenas o primeiro nível de classificação. As descrições das classificações, entretanto, permaneceram como estavam no sistema OmniClass. Vale ressaltar que isso foi feito apenas para fins de realização do experimento que faz parte da presente pesquisa.

A seguir são mostrados os procedimentos adotados para preparar o ambiente de *software* personalizado, envolvendo a elaboração e o carregamento da planilha personalizada, contendo as tabelas o CICS brasileiro, em um modelo BIM.

4.2.2 Preparação do ambiente de software

Como parte do processo de classificação utilizando a plataforma de *software* BIM Revit, selecionada previamente, foram necessários alguns procedimentos para preparar esse ambiente de *software*. Para carregar as tabelas e códigos de classificação de um CICS em um modelo BIM e atribuir a classificação aos objetos desse modelo, foi utilizado o *Classification Manager*. Os procedimentos adotados para o uso desse aplicativo no contexto do estudo realizado como parte da presente pesquisa bem como a planilha personalizada criada, são mostrados a seguir.

Figura 26 - Instalação do aplicativo *Classification Manager*



AUTODESK BIM INTEROPERABILITY TOOLS

CLASSIFICATION MANAGER Features Download Videos Help Resources

AUTODESK CLASSIFICATION MANAGER FOR REVIT

Assign classifications to multiple elements with a single click

This free tool from Autodesk will allow you to quickly apply data from multiple classification systems to all your elements

DOWNLOAD

Public Library Database Update

The databases in the Public Library have been updated. In general, this should have no impact on your use of the Classification Manager. For some users who transition from the old US Database to the new UniFormat and MasterFormat database, a Dynamo script has been written that can assist in transitioning data from the original parameters to new parameters. You can download the DYN file here. This AKN article explains how to use it.

Classification Manager Features

Easy to Use
Quickly assign multiple classifications to your elements at once.

Classifications Out of the Box
A robust database is included with several major classifications systems and mappings across each.

Use a Custom Database
Use the fully customizable database systems to support your own custom databases.

Works with the COBie Extension
Integrated with the Autodesk COBie Extension for Revit to assign classifications for your COBie deliverables.

Download the BIM Interoperability Tools for Revit

The BIM Interoperability Tools collection can be downloaded here.

The installer includes the Classification Manager, Model Checker, Model Checker Configurator, and COBie Extension for Revit.

The tools can also be downloaded from manage.autodesk.com, or through the Autodesk Desktop Connector.

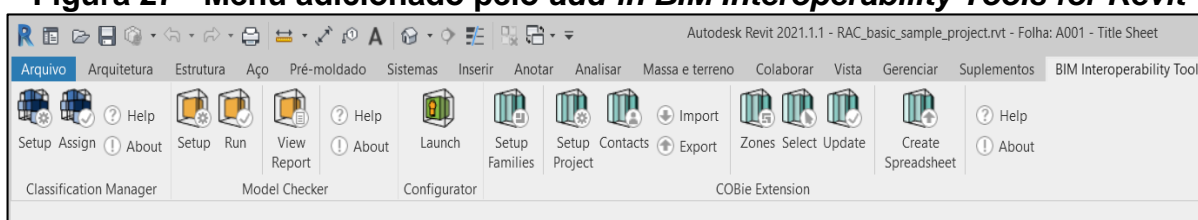
- Revit 2021
- Revit 2020
- Revit 2019
- Revit 2018

Fonte: (AUTODESK CLASSIFICATION MANAGER FOR REVIT, 2021).

Para iniciar a preparação do ambiente de *software*, foi necessário instalar o aplicativo *Classification Manager*. Esse aplicativo faz parte de um pacote de ferramentas chamado *BIM Interoperability Tools for Revit*, desenvolvido pela própria empresa desenvolvedora desse *software* BIM e disponibilizado como um *add-in* ou aplicativo de extensão. Ressalte-se que um arquivo de instalação diferente precisa ser obtido para cada versão do Revit, que então é instalado separadamente e adiciona funcionalidades a essa plataforma BIM. O website por meio do qual pode ser feito o download do aplicativo de extensão *BIM Interoperability Tools for Revit* é mostrado na Figura 26, onde se notam opções de instalação para quatro versões do *software* Revit, 2018, 2019, 2020 e 2021.

A Figura 27 mostra o menu que é adicionado à interface gráfica do *software* Revit após instalado o *add-in BIM Interoperability Tools*. Nota-se que há quatro divisões na barra de ferramentas adicionada. O primeiro agrupamento de funcionalidades se refere ao aplicativo *Classification Manager*. O segundo se refere ao *Model Checker*, um verificador de regras genérico para modelos BIM. O terceiro é um conjunto de funcionalidades denominado *Configurator*, utilizado para preparar os modelos para importações e exportações via processos de interoperabilidade. O quarto é chamado *COBie Extension*, e se refere às funcionalidades utilizadas para exportar o modelo BIM como uma planilha no formato Construction-Operations Building Information Exchange (COBie) (NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, 2014).

Figura 27 - Menu adicionado pelo *add-in BIM Interoperability Tools for Revit*



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após instalado o *add-in BIM Interoperability Tools for Revit*, que contém as funcionalidades do aplicativo *Classification Manager*, é necessário configurar seu uso. O primeiro passo é criar uma planilha personalizada contendo as tabelas de classificação.

Figura 28 - Planilha criada para carregar as tabelas de classificação

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

NUMBER	DESCRIPTION	LEVEL	REVIT CATEGORY
Componentes 2C			
Products (May 2012)			
2C.10.00.00	Produtos do lugar/terreno	2	-2001260
2C.10.01.00	Ancoragens do solo	3	
2C.10.01.01	Ancoras de estabilização e retenção do solo	4	
2C.10.01.01.01	Componentes para retenção e estabilização do solo	5	
2C.10.01.01.01.01	Cabeças de ancoras de estabilização do solo	6	
2C.10.01.01.01.02	Tendões de estabilização do solo	6	
2C.10.01.01.02	Âncoras grauteadas de estabilização do solo	5	
2C.10.01.01.03	Placas de ancoragem para estabilização do solo	5	
2C.10.01.01.04	Cabos atirantados de rocha para estabilização do solo	5	
2C.10.01.01.05	Ancoragem de rocha para estabilização do solo	5	
2C.10.01.01.06	Braçadeiras de ancoragem para estabilização do solo	5	
2C.10.01.02	Âncoras de reforço da Terra	4	
2C.10.01.02.01	Solo grampeado para reforço da Terra	5	
2C.10.02.00	Produtos para melhoramento do solo	3	
2C.10.02.01	Produtos para Estabilização do solo	4	
2C.10.02.01.01	Químicos injetáveis de estabilização do solo	5	
2C.10.02.01.02	Rejuntamento por pressão para Estabilização do solo	5	
2C.10.02.01.03	Estabilização do solo por congelamento	5	
2C.10.02.01.04	Preenchimento para Estabilização do solo	5	
2C.10.02.01.04.01	Blocos de Preenchimento para Estabilização do solo	6	
2C.10.02.01.04.02	Preenchimento Compressível para Estabilização do solo	6	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 28 mostra a planilha personalizada criada para conter as tabelas de classificação do CICS brasileiro. Com essa planilha é possível carregar os códigos de classificação em um modelo BIM. Além das tabelas de classificação, é necessário especificar os parâmetros que armazenarão os códigos de classificação e suas descrições. Esses parâmetros são criados automaticamente quando o *Classification Manager* carregar a planilha contendo as tabelas do CICS. A planilha personalizada com o CICS brasileiro, com destaque para a especificação dos parâmetros a serem utilizados na classificação, é mostrada na Figura 29.

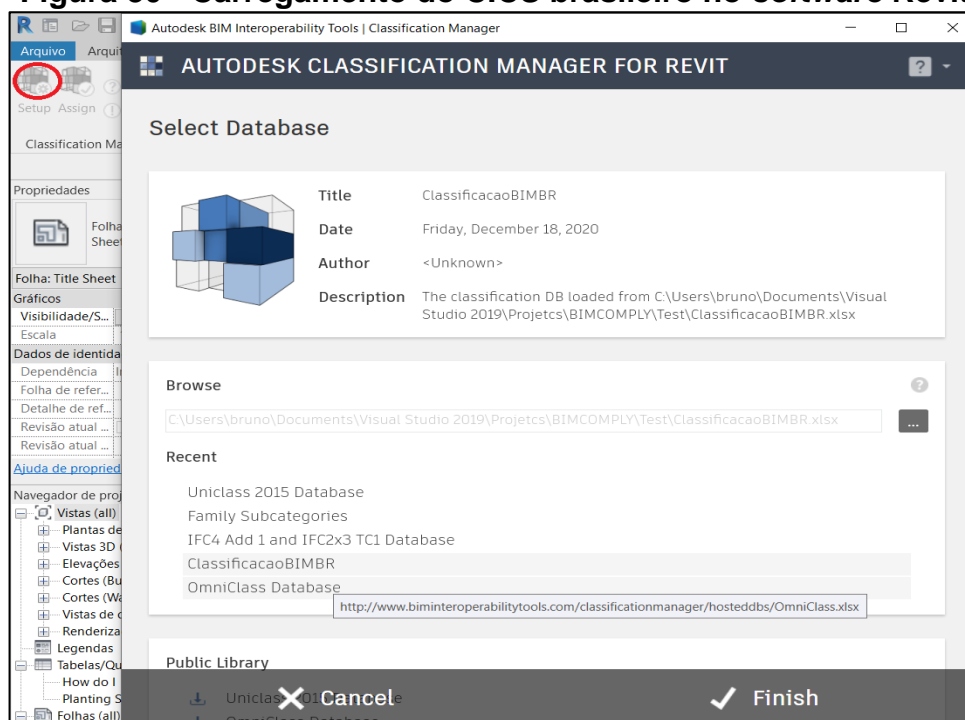
Figura 29 - Especificação de parâmetros

TYPE v INSTANCE	*PARAM	GUID	NAME	DATATYPE	DATA CATEGORY	GROUP	VISIBLE	DESCRIPTION	USERMO DIFIABLE	HIDEWHEN NOVALUE
Type	PARAM	bf747:	Classification.BIMBR.2C.Number	TEXT		2	1	Created for us	1	0
Type	PARAM	47838	Classification.BIMBR.2C.Description	TEXT		2	1	Created for us	1	0
Type	PARAM	d0f6d:	Classification.BIMBR.3E.Number	TEXT		2	1	Created for us	1	0
Type	PARAM	f8d10:	Classification.BIMBR.3E.Description	TEXT		2	1	Created for us	1	0
Type	PARAM	d3310:	Classification.BIMBR.3R.Number	TEXT		2	1	Created for us	1	0
Type	PARAM	81b92	Classification.BIMBR.3R.Description	TEXT		2	1	Created for us	1	0
Instance	PARAM	c287a:	Classification.BIMBR.4A.Number	TEXT		1	1	Created for us	1	0
Instance	PARAM	18547	Classification.BIMBR.4A.Description	TEXT		1	1	Created for us	1	0
Instance	PARAM	87793	Classification.BIMBR.4U.Number	TEXT		1	1	Created for us	1	0
Instance	PARAM	a12bd	Classification.BIMBR.4U.Description	TEXT		1	1	Created for us	1	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após abrir um arquivo de projeto ou criar um novo modelo BIM, é necessário carregar explicitamente as tabelas do CICS a ser utilizado. Esse processo é feito mediante a execução do formulário exibido com o acionamento do botão *Setup*, como mostrado na Figura 30.

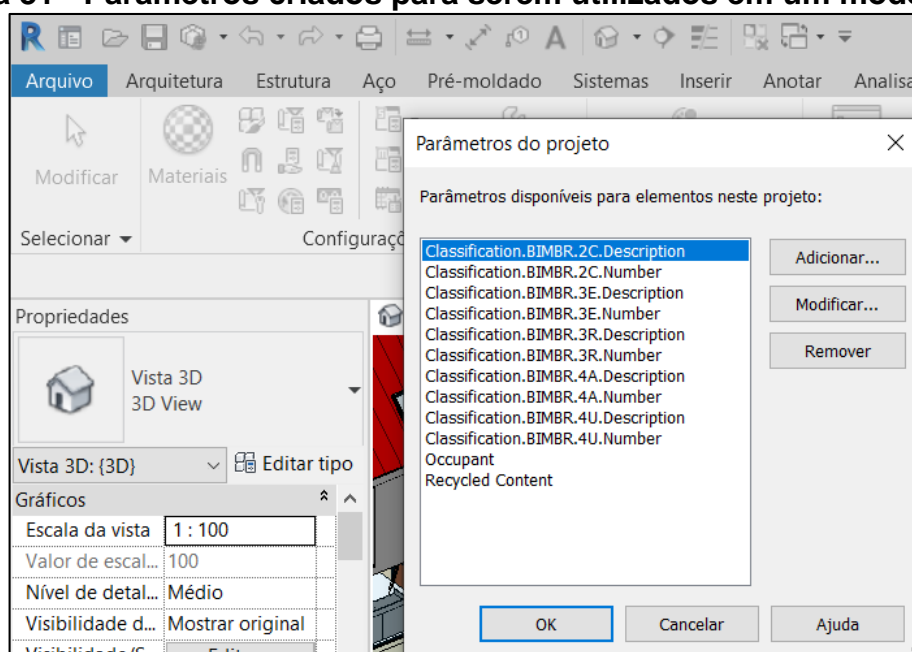
Figura 30 - Carregamento do CICS brasileiro no software Revit



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após configurar as tabelas do CICS utilizando o aplicativo *Classification Manager*, pode-se verificar se os parâmetros foram criados corretamente. Na Figura 31 são mostrados os parâmetros criados em um projeto ou modelo BIM aberto no *software* Revit. Como já mencionado, alguns desses parâmetros são referentes à classificação dos objetos BIM contidos no modelo, sendo aplicados aos Tipos de Família, enquanto outros são vinculados diretamente ao modelo BIM como um todo, e são chamados de parâmetros de informação do projeto no ambiente do *software* Revit. Os parâmetros iniciados por “*Classification.BIMBR*” se referem aos códigos de classificação do CICS brasileiro ou às suas descrições, e foram criados automaticamente com o carregamento desse sistema de classificação no *software* Revit pelo *Classification Manager*, após selecionada a planilha personalizada, como mostrado anteriormente.

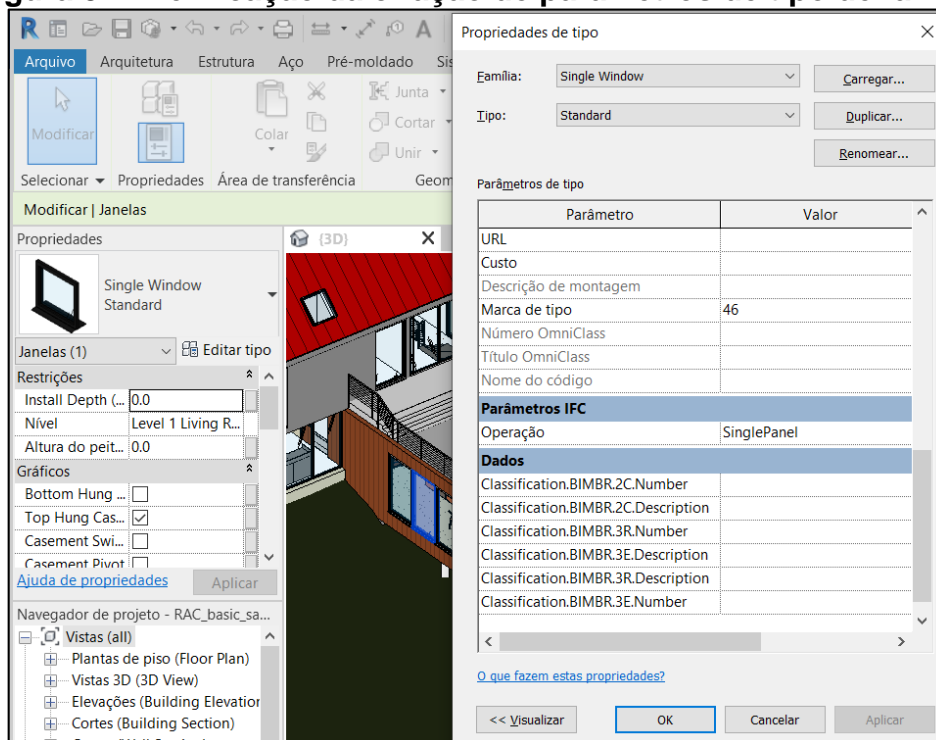
Figura 31 - Parâmetros criados para serem utilizados em um modelo BIM



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 32 mostra os parâmetros de Tipo de Família vinculados a um objeto BIM ou instância de Família.

Figura 32 - Verificação da criação de parâmetros de tipo de família

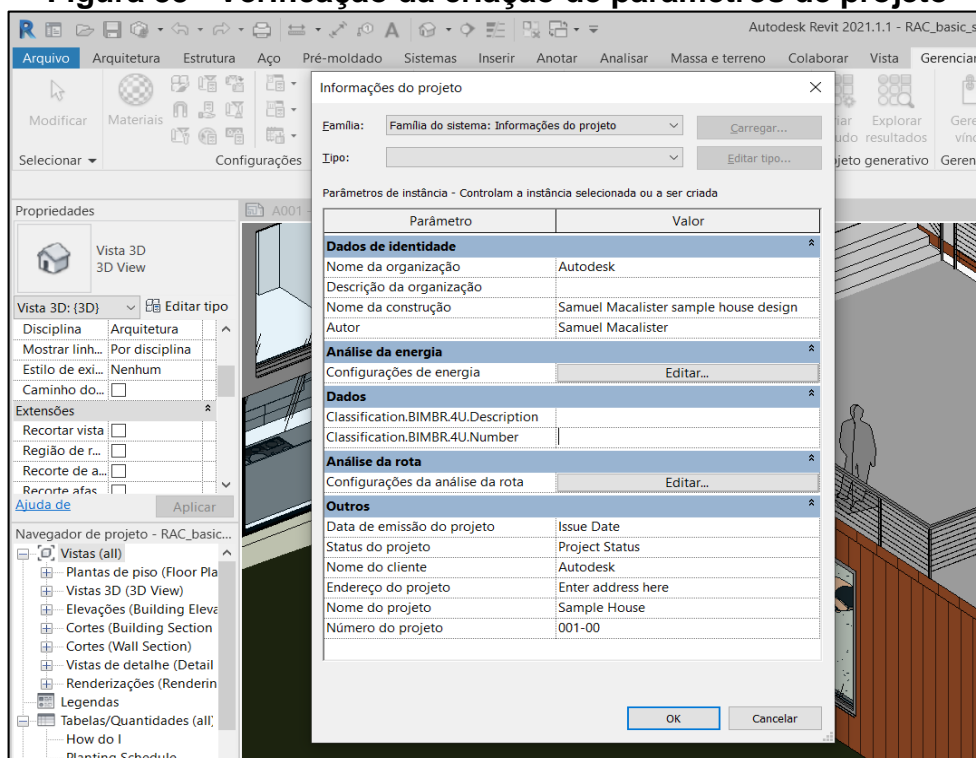


Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que na tela exibida do lado direito da Figura 32, que se refere às propriedades do Tipo de Família “*Standard*”, vinculado a uma instância da Família de janela “*Single Window*”. São exibidos nessa tela, além da descrição da Família, a descrição do Tipo de Família e a lista de parâmetros daquele tipo, sendo que entre esses parâmetros estão os que foram criados ao se carregar o CICS brasileiro usando o *Classification Manager*.

A Figura 33 mostra os parâmetros que se aplicam ao modelo BIM como um todo. Esses parâmetros são acessados pela funcionalidade “*Informações do Projeto*” do *software* Revit. Nota-se a existência de dois parâmetros que foram criados ao se carregar o CICS brasileiro usando o aplicativo *Classification Manager*.

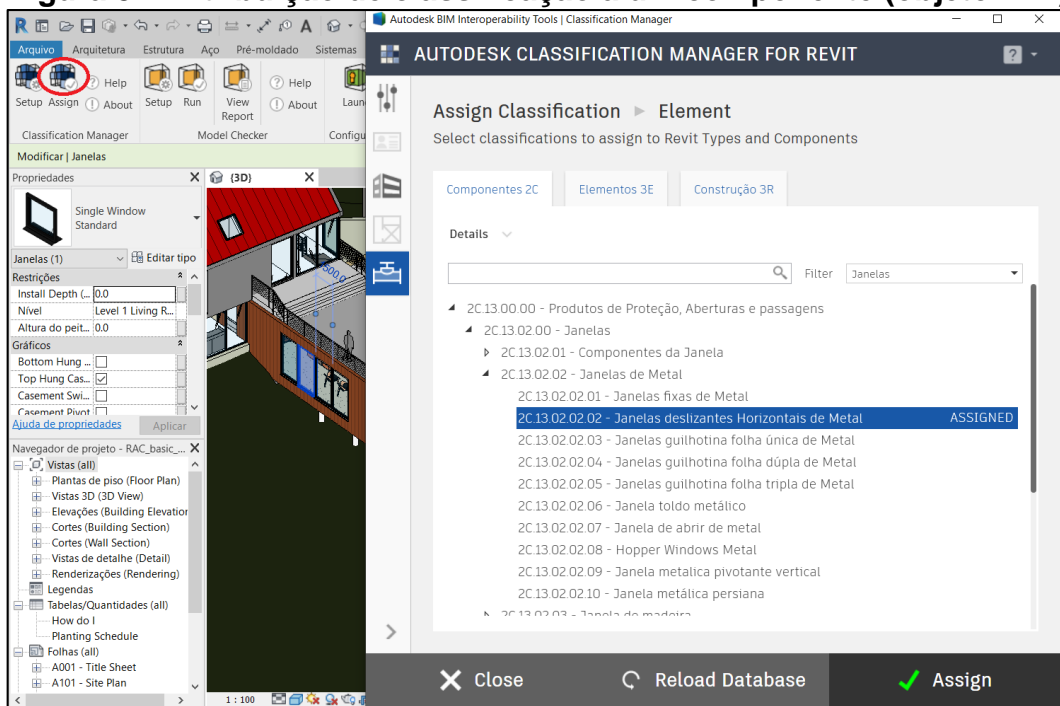
Figura 33 - Verificação da criação de parâmetros de projeto



Fonte: Elaborado pelo autor.

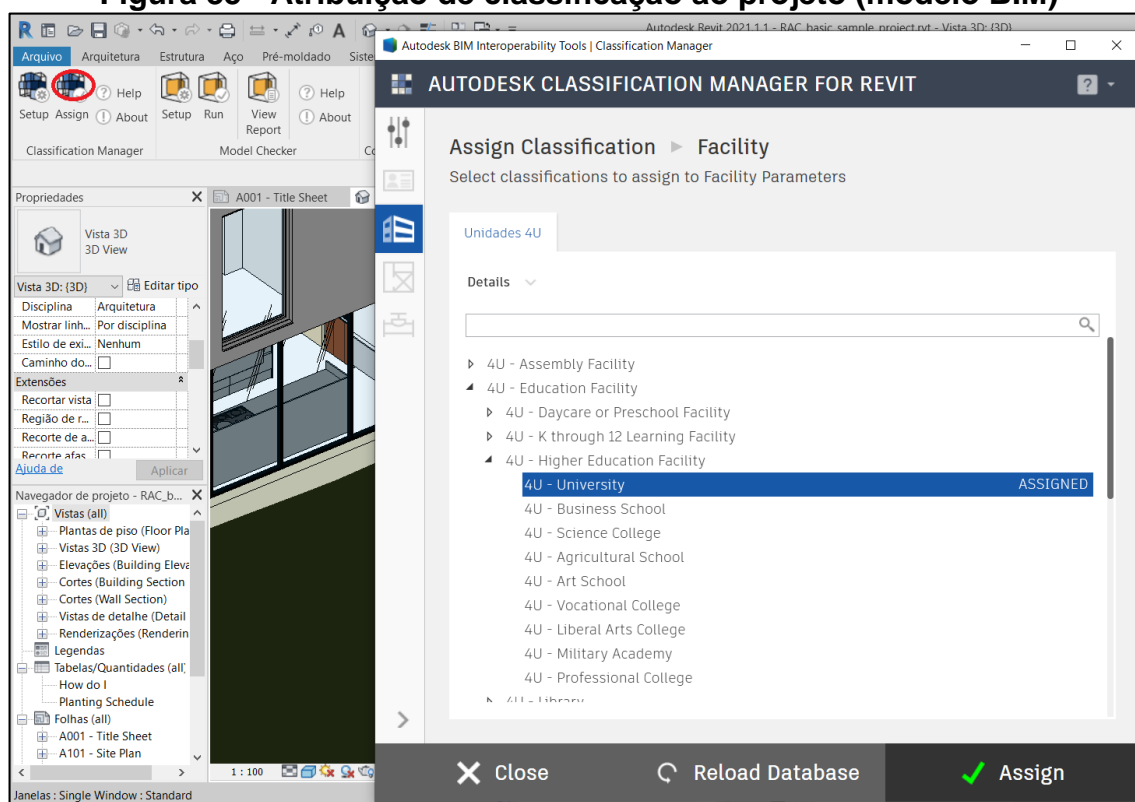
Ao acionar a funcionalidade “Assign” do aplicativo *Classification Manager*, Figuras 34 e 35, os parâmetros que contêm a descrição e os códigos de classificação são preenchidos e ficam armazenadas dentro do arquivo de projeto do modelo BIM.

Figura 34 - Atribuição de classificação a um componente (objeto BIM)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35 - Atribuição de classificação ao projeto (modelo BIM)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a etapa de atribuição de parâmetros, o protótipo desenvolvido nesta pesquisa como um aplicativo de extensão par a plataforma de *software* BIM Revit é usado para verificar se esses parâmetros foram preenchidos e usados corretamente, de acordo com um CICS. Com isso é possível medir a eficiência do uso de um CICS, como o sistema de classificação brasileiro definido pela norma ABNT NBR 15965, e assim propor a geração de indicadores da qualidade da informação. A concepção inicial do protótipo é apresentada na próxima seção.

4.2.3 Protótipo inicial

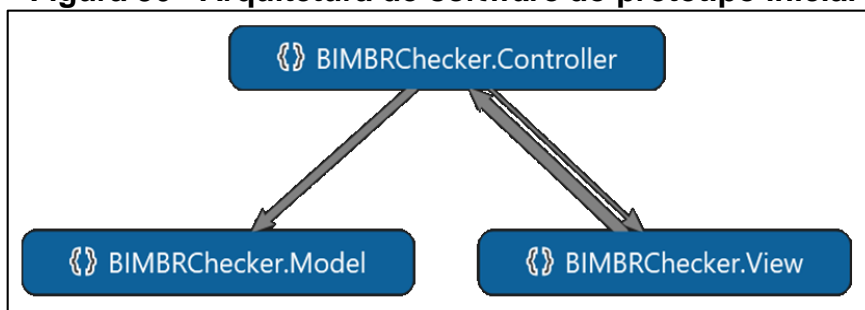
O projeto de concepção inicial do protótipo é apresentado nesta subseção. O protótipo, que é uma versão preliminar de um sistema de informação computacional, foi projetado e construído seguindo um processo simplificado de desenvolvimento de *software*, pois ele consiste em uma aplicação criada com um propósito específico, no contexto da realização da presente pesquisa. Ressalte-se que como as atividades de criação do protótipo não envolvem uma equipe de analistas e desenvolvedores de *software*, bem como não há uma orientação organizacional para seguir determinado

processo de *software*, como ocorre em grandes empresas de desenvolvimento, o processo adotado pode ser considerado um processo pessoal de *software*, no contexto da Engenharia de *Software* (PRESSMAN, 2005; PAULA FILHO, 2009). Algumas atividades que fazem parte dos processos de Engenharia de *Software*, entretanto, foram adotadas. Os seguintes Casos de Uso foram propostos para a concepção inicial do protótipo:

- a) selecionar um CICS para ser utilizado;
- b) atribuir códigos de classificação em objetos BIM;
- c) verificar o uso de um CICS em objetos BIM.

A Figura 36, a seguir, apresenta um diagrama, em alto nível, com a arquitetura projetada para o *software* a ser desenvolvido como um protótipo inicial. Vale ressaltar que a base para arquitetura do *software* concebido foi o padrão de projeto *Model-View-Controller* (MVC).

Figura 36 - Arquitetura de *software* do protótipo inicial



Fonte: Elaborado pelo autor.

O desenvolvimento da versão inicial do protótipo está detalhado no Apêndice A, que contém uma análise dos Casos de Uso inicialmente identificados, diagramas com as estruturas de dados concebidas preliminarmente, contendo classes, atributos e relacionamentos, e algumas telas sugeridas para a implementação. Vale ressaltar que a adoção do padrão de projeto de *software* MVC como base, bem como outros padrões em sua estrutura internamente, levou a ao projeto de um *software* com arquitetura modular e escalável. Assim, foi possível evoluir em sua criação aproveitando os desenvolvimentos já realizados, como pode-se ver nos detalhes apresentados nos próximos estágios da pesquisa.

4.2.4 Avaliação e resultados parciais

Nesta seção foi apresentada a personalização do ambiente de *software* e o projeto de concepção inicial protótipo. A plataforma de *software* BIM selecionada no estágio de Diagnóstico para o desenvolvimento do protótipo foi o Autodesk Revit, e sua API na linguagem C# foi definida, bem como o uso do IDE Microsoft Visual Studio 2019. Após essas definições, foi proposta uma concepção inicial para o protótipo, contendo algumas diretrizes para sua arquitetura de *software*. O protótipo contém um mecanismo de verificação automatizada de regras, utilizado para medir aspectos do uso de um CICS tendo como base um modelo BIM. Entretanto, uma avaliação preliminar da viabilidade da proposta de implementação identificou a falta de partes da ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Isso fez com que algumas tabelas do CICS brasileiro, que ainda não estavam disponíveis para consulta e uso, não pudessem ser utilizadas na pesquisa. Uma nova análise foi então necessária e foi considerado-se a possibilidade de substituir essas tabelas para viabilizar a construção do protótipo.

Apesar de algumas das partes ainda não publicadas da norma que especifica o CICS brasileiro definirem tabelas de classificação, isso não inviabilizou o desenvolvimento da pesquisa. Surgiram então alternativas de solução, entre elas a proposta de utilizar o conteúdo das tabelas equivalentes do sistema OmniClass apenas para substituir o das tabelas não publicadas do CICS brasileiro, uma vez que a estrutura daquele sistema é muito parecida com a deste. O sistema OmniClass foi então analisado e verificou-se que seria viável, para fins desta pesquisa, utilizar algumas de suas tabelas para substituir as tabelas 3E, 3R, 4A e 4U do CICS brasileiro. Ressalte-se que quando as partes da ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) que contêm essas tabelas forem publicadas, essas tabelas poderão ser especificadas na planilha personalizada que foi utilizada para classificar modelos BIM com o *Classification Manager* e os códigos de classificação adequados serão recuperados pelo protótipo. Essa substituição, portanto, teve pequeno impacto nos artefatos construídos, pois consistiu apenas em adaptações na planilha personalizada que define o CICS.

Como a planilha é carregada pelo aplicativo *Classification Manager*, o projeto de concepção do protótipo não precisou de alterações, pois ele faz referência apenas aos nomes dos parâmetros que armazenam os códigos de classificação. Entretanto,

o protótipo, que inicialmente seria utilizado apenas para verificar o uso do CICS brasileiro, teve sua concepção alterada para permitir a verificação de outros CICS. Testes de utilização do protótipo como os CICS OmniClass e Uniclass 2015 foram realizados e ajudaram a validar a concepção inicial.

As atividades descritas nesta seção, incluindo o processo de substituição de algumas tabelas na personalização da planilha que define o CICS, foram desenvolvidas no contexto do estágio de Concepção da abordagem ADR. As mudanças necessárias caracterizaram iterações neste estágio, que percorreram o ciclo elaborado da ADR. O principal artefato criado foi o projeto ou a concepção inicial do protótipo, que buscou criar uma solução que permita realizar uma verificação de conformidade normativa em modelos BIM, tendo em vista o uso de um CICS. Essa concepção do protótipo foi validada com a execução de alguns testes, cujos resultados foram registrados de acordo com as diretrizes do método DSR e da abordagem ADR. Com isso, o conhecimento gerado pode ser utilizado para continuar o desenvolvimento da pesquisa. Ressalte-se que o protótipo concebido, além de ser uma solução prática, voltada para a verificação de um CICS como o brasileiro, também pode ser utilizado em futuras pesquisas científicas que utilizem a metodologia BIM e as ferramentas de verificação de regras, bem como por outros trabalhos que façam referência ao arcabouço normativo e regulatório brasileiro sobre o BIM.

Neste ponto foi finalizada a concepção da versão preliminar do protótipo, concluindo o estágio de Concepção no contexto da ADR. Entretanto, um novo ciclo na etapa de Diagnóstico foi necessário, como apresentado a seguir.

4.3 Diagnóstico complementar

Após a concepção inicial do protótipo, notou-se que era necessário um roteiro para indicar os momentos ou marcos, ao longo do ciclo de vida do ambiente construído, em que deveriam ser realizadas as verificações nos modelos BIM. Dessa forma, é possível avaliar o correto uso de um CICS, tendo em vista a fase em que o ambiente construído se encontra de seu ciclo de vida. Com o aprendizado sobre o que faltava na concepção do protótipo, de forma que ele fosse totalmente funcional e adequado à proposta da pesquisa, foi necessário mais um estágio de Diagnóstico, tendo em vista a abordagem ADR. Neste diagnóstico complementar, foram pesquisados trabalhos científicos sobre o uso de sistemas de classificação associados

ao ciclo de vida do ambiente construído e à modelagem BIM. Foi identificada uma linha de pesquisa que envolve o gerenciamento do ciclo de vida de informações sobre ativos, incluindo os relacionados às construções.

Após uma pesquisa sobre possíveis guias, orientações ou roteiros para o gerenciamento de informações usando a metodologia BIM, com o objetivo de complementar o protótipo preliminar concebido, foi identificado o LITE *Framework* (SUCCAR; POIRIER, 2020). Nesse *framework*, são abordadas as transformações que ocorrem ao longo do fluxo da informação sobre os ativos envolvidos em uma construção. Os ativos mencionados nesse *framework* podem ser digitais, como os documentos gerados durante a construção, ou físicos, como os componentes do ambiente construído. Ressalte-se que os aspectos intangíveis, como as informações sobre os processos construtivos, também podem ser analisados por esse *framework*.

Uma análise detalhada sobre os conceitos envolvidos no LITE *Framework*, que trata da descrição de um fluxo informacional para acompanhar e controlar o ciclo de vida de ativos, é apresentada no Apêndice B. A subseção seguinte resume esse estudo para a avaliação da viabilidade de uso desse *framework*, de forma a complementar o protótipo inicialmente concebido. A análise foi feita mediante uma implementação computacional do LITE *Framework*. Após a implementação e a execução de alguns testes, uma avaliação é apresentada e comentada, mostrando os resultados da análise de viabilidade da utilização desse *framework*.

4.3.1 Análise do uso do LITE *Framework*

A análise de viabilidade de uso do LITE *Framework* foi feita mediante a identificação das características, conceitos e componentes envolvidos nesse *framework* para modelar e detalhar sua implementação computacional. Após levantar os requisitos, como a identificação das principais entidades, seus relacionamentos e possíveis valores de seus atributos, bem como as restrições aplicáveis, foi possível analisar o sistema, conceber e implementar computacionalmente esse *framework*. O detalhamento das classes criadas para implementar computacionalmente o LITE *Framework*, bem como das telas criadas e alguns testes e simulações realizados se encontram no Apêndice B. A implementação possibilitou avaliar a viabilidade da utilização desse *framework* no contexto do desenvolvimento do protótipo.

Os seguintes Casos de Uso foram inicialmente identificados para realizar essa implementação:

- a) usuário executa um passo do fluxo de informação no sentido direto
- b) usuário executa um passo do fluxo de informação no sentido reverso;
- c) usuário executa um passo do fluxo de informação no sentido interno;
- d) usuário executa um passo do fluxo de informação no sentido externo;
usuário executa um passo do fluxo de informação equivalente a um atalho.

Os Conjuntos de Informação (*Information Sets*) são os componentes do LITE *Framework* responsáveis por agrupar os registros de informações identificadas a respeito dos Ativos de Informação (*Information Assets*), que podem se referir a componentes Físicos ou Digitais do ciclo de vida do ambiente construído. Esses ativos possuem podem possuir o estado Almejado (*Targeted*) ou Real (*Actual*), e seguem um Fluxo de Informação (*Information Flow*) percorrendo Marcos de Informação (*Information Milestones*). As mudanças de marcos são caracterizadas por Ações de Informação (*Information Actions*) e cada incremento desse processo é chamado de Passo (*Step*). Assim, os fluxos são percorridos em uma sequência temporal rastreável, em que é possível identificar Atores ou Usuários responsáveis pela geração ou pelo uso da informação. O seguinte trecho traz a disposição sobre como ocorre a captura de informação nos conjuntos de informação no contexto do LITE *Framework*:

A captura de informações em conjuntos complementares expande o que é detalhado nos padrões e protocolos internacionais - por exemplo, o 'padrão' de intercâmbio de informações de construção de operação de construção (Construction-Operations Building information exchange - COBie) (NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES, 2014) - facilitando a comparação e a integração subsequente de todas as informações necessárias ao longo do ciclo de vida de um ativo. Os conjuntos podem incluir todas as informações que abrangem ativos físicos e digitais em seus respectivos estados almejados e reais, não apenas informações que abrangem ativos físicos que podem ser mantidos. Capturar essas informações necessárias permite a geração de uma trilha de auditoria, um histórico encadeado de um único produto ou de um sistema completo com o objetivo de reduzir o risco, monitorar a saúde e segurança, garantir a conformidade regulatória e aumentar a transparência.

Para agrupar e integrar informações em conjuntos de informações, o *framework* implementa uma linguagem orientada a processos para entregar Diagramas de Fluxo de Atividades informados por padrões aplicáveis em vários Níveis de Granularidade. (SUCCAR; POIRIER, 2020, tradução nossa).

O Grau de Integração (Degree of Integration - DoI) é uma medida responsável por escalonar as Camadas de Informação (*Information Tier*) no LITE Framework. O DoI reflete como as informações são organizadas ao longo do ciclo de vida dos ativos, sendo um índice que segue uma ordem de evolução e uma lógica similar à dos Modelos de Maturidade de Capacidade (*Capability Maturity Model*), como o CMM/CMMI (SEI, 2004). O Quadro 21 descreve os DoI e os níveis de maturidade:

Quadro 21 - Graus de integração e níveis de maturidade no LITE Framework

Grau de integração (DoI)	Nível de Maturidade	Descrição
[0] Referenciado (<i>Referenced</i>)	Nível de Maturidade a (<i>Maturity Level a</i>)	No Nível de Maturidade a [0] as Informações Referenciadas são aquelas necessárias, mas que não foram capturadas. Essas informações normalmente incluem disposições legais definidas externamente, apólices de seguro, códigos de prática, arcabouços normativos, guias, orientações, normas técnicas, padrões a serem seguidos em um mercado específico ou em um projeto específico. As informações referenciadas fazem parte do Espectro Geral de Informação, que inclui as informações necessárias e disponíveis. Alguns exemplos mencionados são referências feitas nos Conjuntos de Informação a itens específicos de Normas Técnicas (e.g. ISO ou ANSI), contratos (e.g. NEC ou FIDIC) ou o uso de Construction Information Classification Systems (CICS).
[1] Definido (<i>Defined</i>)	Nível de Maturidade b (<i>Maturity Level b</i>)	No Nível de Maturidade b [1] as Informações Definidas são necessárias e, portanto, capturadas no Ambiente Comum de Informações. Essas informações definidas não estão necessariamente conectadas entre si, mas são visíveis a todos os Atores e em todo o ambiente, de acordo com os respectivos Níveis e Permissões de Acesso. Nota-se aqui uma preocupação com aspectos relacionados com a Segurança da Informação.
[2] Gerenciado (<i>Managed</i>)	Nível de Maturidade c (<i>Maturity Level c</i>)	No Nível de Maturidade c [2] as Informações Gerenciadas são as que foram inspecionadas, harmonizadas, normalizadas e, portanto, podem ser usadas como parte de um Pool de Informação Unificado; e mudanças em um Conjunto de Informação gerenciado podem causar mudanças em outros Conjuntos/Subconjuntos.
[3] Integrado (<i>Integrated</i>)	Nível de Maturidade d (<i>Maturity Level d</i>)	No Nível de Maturidade d [3] as Informações Integradas são as que possuem a mesma estrutura esquemática e, portanto, povoam uma Plataforma de Informação Integrada. As informações integradas podem ser perfeitamente transformadas e trocadas de um Status/Estado/Marco de Informação para outro ao longo do Ciclo de Vida do Ativo; e quaisquer mudanças em um Conjunto de Informação integrado acionam uma mudança em todos os Conjuntos/Subconjuntos.
[4] Otimizado (<i>Optimised</i>)	Nível de Maturidade e (<i>Maturity Level e</i>)	No Nível de Maturidade e [4] as Informações Otimizadas são continuamente atualizadas ao longo do Ciclo de Vida do Ativo usando entradas de redes interconectadas, livros-razão distribuídos e Bancos de Dados centralizados - por exemplo, dados de sensores provenientes do uso de Internet das Coisas (<i>Internet of Things - IoT</i>) e Bancos de Dados públicos de acesso aberto. As informações otimizadas, quando habilitadas por Inteligência Artificial, interagem com o núcleo denominado Reator de Informação (<i>Information Reactor</i>), que processa de forma contínua e autônoma as transformações e trocas de informação durante o Ciclo de Vida do Ativo.

Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020, p. 17).

No LITE *Framework*, a captura de informações “permite a geração de uma trilha de auditoria, um histórico encadeado de um único produto ou de um sistema completo com o objetivo de reduzir o risco, monitorar a saúde e segurança, garantir a conformidade regulatória e aumentar a transparência” (SUCCAR; POIRIER, 2020, p. 16, tradução nossa). Os registros de informação são considerados sequenciais e rastreáveis no contexto desse *framework*, e podem ser obtidos em cada passo ao longo do fluxo de informação dos ativos, desde que esses elementos também contenham dados como data de registro e ator/usuário responsável. O seguinte trecho explica como ocorre a captura progressiva de informação e seu compartilhamento:

Organizando progressivamente a captura e o compartilhamento de informações por meio de um Ambiente Comum de Informações definido, um Pool de Informação Unificado gerenciado, e complementado por uma Plataforma de Informação integrada, o LITE *Framework* pode unir silos de informação e minimizar a confiança na documentação discreta com conteúdo sobreposto - por exemplo, Requisitos de informação Organizacional, de Ativos, de Projeto e de troca/interoperação (*exchange/interoperability*). Isso reduziria os riscos, desperdício e complexidade inerente à duplicação da captura/compartilhamento de informações e melhoraria o Fluxo de Informação e a interconexão em todo o ciclo de vida de um ativo. (SUCCAR; POIRIER, 2020, p.17, tradução nossa)

Os graus de integração são uma proposta do LITE *Framework* para medir o quanto as informações são organizadas ao longo do ciclo de vida dos ativos e, juntamente com os correspondentes níveis de maturidade, variam em uma escala de 0(a) até 5(e), seguindo uma lógica similar à dos modelos de maturidade de capacidade CMM/CMMI (SEI, 2004), comumente aplicados na área de Engenharia de *Software* (PRESSMAN, 2005; PAULA FILHO, 2009). Como detalhado no Quadro 21, no nível inicial a preocupação é em referenciar a informação, e os procedimentos adotados abrangem aspectos mais básicos como itens de normas técnicas e o uso de um CICS. No segundo nível as informações são definidas e procedimentos como segurança da informação são considerados. As informações são organizadas em uma escala crescente e no último nível, em que elas são otimizadas, os procedimentos adotados envolvem recursos avançados de TIC, como o uso de dados de sensores provenientes do uso de Internet das Coisas (Internet of Things - IoT) e de bancos de dados públicos de acesso aberto (SUCCAR; POIRIER, 2020).

Um exemplo de dados públicos de objetos BIM de acesso aberto é Biblioteca Nacional de componentes BIM (BNBIM), disponibilizada na plataforma da Estratégia BIM BR (PLATAFORMA BIM BR, 2021).

Os resultados da análise da implementação computacional do LITE *Framework* levando-se em consideração esses aspectos são apresentados a seguir.

4.3.2 Avaliação e resultados parciais

Para verificar o uso do CICS brasileiro, foi concebido um protótipo que realiza a verificação da existência de códigos de classificação em modelos BIM. Um dos pontos identificados com a análise e os testes realizados foi que as verificações a serem realizadas pelo protótipo precisavam se inserir em no contexto do ciclo de vida dos ativos que compõem os modelos BIM. Foi necessário, então, adotar um roteiro para indicar os momentos ou marcos ao longo do ciclo de vida desses ativos em que as verificações podem ocorrer.

As informações a serem classificadas se referem aos ativos da construção, que podem ser as partes físicas do ambiente construído, mas também diversos outros documentos ou produtos digitais. Esses ativos podem ainda conter aspectos temporários dos processos construtivos e diversas outras informações acessórias a serem utilizadas na metodologia BIM. Isso faz com que seja necessário considerar também informações adicionais sobre esses ativos, e todas essas informações precisam ser gerenciadas.

Tendo em vista a necessidade de gerenciamento da informação sobre os ativos que fazem parte do ambiente construído com o uso da metodologia BIM, o LITE *Framework* (SUCCAR; POIRIER, 2020) atendeu aos requisitos e foi implementado computacionalmente, e com isso também passou a ser utilizado como um roteiro para a aplicação da análise proposta na pesquisa. Como detalhado na análise desse *framework*, existem diversas entidades envolvidas no ciclo de vida dos ativos relacionados ao ambiente construído, e as interações entre elas e os atores que participam dos processos construtivos ativos são também inúmeras.

Um roteiro para orientar a aplicação da verificação de regras nos modelos BIM no contexto da análise da utilização dos CICS complementa a concepção inicial do protótipo. Tendo em vista a proposta abrangente do LITE *Framework* e o rigor científico de sua elaboração, bem como a viabilidade de sua aplicação em uma validação prática, como o estudo de caso que faz parte da presente pesquisa, esse *framework* foi adotado para ser utilizado junto ao protótipo, que passou a considerar o ciclo de vida da construção para executar a verificação de regras nos modelos BIM.

Considerando os resultados dos testes de implementação computacional, mostrados no Apêndice B, verificou-se a compatibilidade da implementação do LITE *Framework* com o protótipo inicial concebido para a solução proposta na presente pesquisa, e os componentes de *software* desenvolvidos foram então incorporados na concepção do protótipo. Utilizar um roteiro para gerenciar a informação ao longo do ciclo de vida dos ativos como o proposto pelo LITE *Framework* reduz a complexidade da busca por uma solução adequada, o que está alinhado com os princípios da DSR e da ADR.

Os diversos conceitos relacionados aos fluxos de informação dos ativos abordados no LITE *Framework* foram analisados e detalhados. Tendo em vista os aspectos de gestão da informação e do conhecimento (GIC) considerados nesse *framework*, incluindo as necessidades de troca de informação, e de procedimentos provenientes da Engenharia de *Software* (PRESSMAN, 2005; PAULA FILHO, 2009), como a proposta de uso de um modelo de maturidade de capacidade CMM/CMMI (SEI, 2004), ele também se mostrou viável para realizar a interoperabilidade entre os diversos sistemas de informação envolvidos nos processos de modelagem BIM.

Além disso, os conceitos de ambiente comum de informações, também chamado de ambiente comum de dados (Common Data Environment - CDE), de *pool* de informação unificado, e de plataforma de informação integrada, mencionados na descrição do LITE *Framework*, convergem para o uso de um repositório de informação ou banco de dados. Assim, os dados e informações devem preferencialmente ser tratados e armazenados de forma centralizada ou integrada para evitar redundância, perda de informação e retrabalho. Com as informações organizadas dessa forma, viabiliza-se sua recuperação de forma eficiente, e com isso é possível subsidiar seu uso racional ao longo do ciclo de vida dos ativos (digitais e/ou físicos) que fazem parte do ambiente construído. Nota-se, com isso, que o uso desse *framework* vai ao encontro dos objetos da presente pesquisa, que são de proporcionar uma forma de medir e melhorar a qualidade da informação utilizada na modelagem BIM.

Com isso, as atividades descritas nesta seção, de forma complementar, concluíram o estágio de Diagnóstico, conforme a abordagem ADR. Assim, a etapa de Concepção incorpora os desenvolvimentos já realizados ao protótipo concebido inicialmente, como mostrado a seguir.

4.4 Concepção

Nesta seção é apresentada a concepção do protótipo do sistema de informação desenvolvido como parte da pesquisa. O protótipo é parte da solução formulada para ajudar a responder à questão de pesquisa, que utilizou aspectos estudados na fundamentação teórico-conceitual, como o uso de um sistema de classificação da informação da construção (CICS) no contexto da modelagem BIM. A formulação tem como base a sistematização de um processo de verificação de regras (*rule checking*), considerando as diretrizes brasileiras e internacionais com relação ao uso do BIM. Na seção anterior foram apresentados os testes realizados para a implementação computacional do LITE *Framework*. A análise realizada nesse diagnóstico complementar mostrou que a utilização desse *framework* é viável. Assim, sua implementação computacional foi incorporada ao protótipo. Dessa forma, o fluxo de informação proposto nesse *framework* pode orientar a aplicação do mecanismo de verificação de regras, fornecendo pontos ao longo do ciclo de vida dos ativos que fazem parte do ambiente construído para demarcar momentos em que as verificações devem ser realizadas.

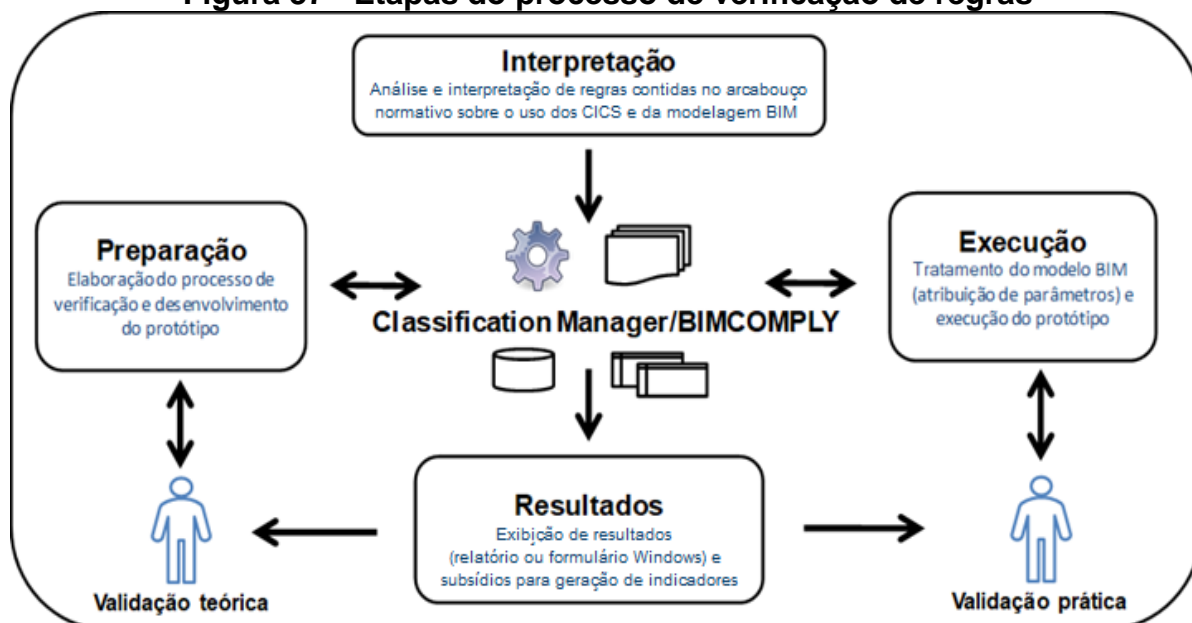
Além de fornecer esses marcos temporais, o uso do LITE *Framework* também aborda diversos outros aspectos relacionados com a gestão da informação, e alguns deles foram considerados na concepção do protótipo. Tendo isso em vista, a concepção inicial do protótipo foi aprimorada, que teve suas funcionalidades ampliadas. Um detalhamento do projeto do protótipo é apresentado a seguir. As etapas concebidas para a formulação proposta na pesquisa são primeiramente apresentadas.

O processo de verificação de regras adotado foi incorporado nessa formulação. O protótipo, que é uma versão simplificada de um sistema de informação ou aplicação computacional, executa o mecanismo de verificação de regras em modelos BIM. Ressalte-se que além de uma etapa para executar a verificação de regras usando o protótipo, o processo possui outras etapas, sendo que a primeira delas, a interpretação das regras a serem verificadas, já foi realizada nos estágios anteriores da pesquisa. Depois de apresentar as etapas do processo formulado, são detalhadas algumas classes e telas concebidas para o protótipo, que posteriormente é implementado com a incorporação de parte das funcionalidades do LITE *Framework*.

4.4.1 Processo de verificação de regras

O primeiro passo da solução formulada, que utiliza um processo de verificação de regras (*rule checking*), foi identificar os itens ou aspectos que poderiam ter sua verificação automatizada. As regras a serem verificadas podem estar contidas na legislação, por exemplo, em partes de leis, decretos ou códigos (*code checking*), ou mesmo em outros documentos como normas, guias e manuais. A partir dessas regras, os critérios para sua verificação são definidos para propor uma automação. Na formulação proposta, considerou-se ainda que as informações necessárias serão recuperadas a partir de modelos BIM. Com isso, os procedimentos de verificação puderam ser concebidos para posterior implementação computacional e testes de execução. Ao final desse processo, que foi sistematizado de acordo com a abordagem proposta de Eastman *et al.* (2009), é gerado um relatório com os resultados para conferência. Um diagrama com essa formulação é apresentado na Figura 37. Vale ressaltar que as etapas desse processo foram utilizadas para conduzir o desenvolvimento e a execução do protótipo, mas também orientaram a proposição e a elaboração de outras atividades da pesquisa, como apresentado a seguir.

Figura 37 - Etapas do processo de verificação de regras



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que no centro da Figura 37 encontra-se a solução computacional proposta, desenvolvida como um protótipo, e que foi denominada *BIMCOMPLY*. Essa

solução foi inicialmente concebida para analisar o CICS brasileiro, mas tornou-se mais genérica, podendo abranger mais sistemas de classificação e contar com a utilização do aplicativo *Autodesk Classification Manager for Revit* para realizar o tratamento dos modelos BIM e atribuir as classificações. Com isso, o processo proposto utiliza um ambiente personalizado de *software* para realizar a atribuição e a verificação da existência de códigos de classificação provenientes de um CICS em modelos BIM.

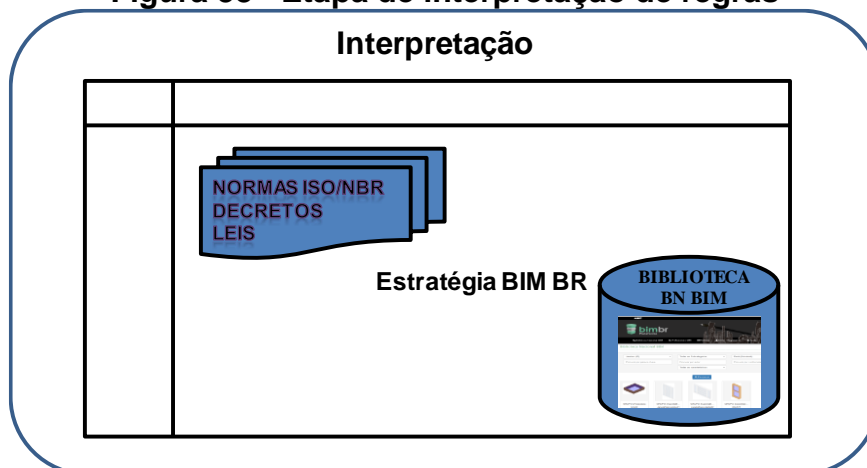
Como mostrado na Figura 37, a formulação proposta na pesquisa se iniciou com a etapa de Interpretação, que abrange a análise e a interpretação das regras contidas no arcabouço normativo e regulatório sobre o uso da metodologia BIM. Assim, essa etapa foi realizada no estágio de Diagnóstico da abordagem ADR. Entretanto, como a presente pesquisa teve um Diagnóstico, uma Concepção Inicial e um Diagnóstico Complementar, ela foi feita ao longo dessas três etapas, já detalhadas anteriormente.

A etapa de Preparação, mostrada do lado esquerdo na Figura 37, abrange a elaboração do processo de verificação de regras e o desenvolvimento do protótipo. Essa etapa foi realizada durante os estágios de Concepção e de Implementação no contexto da abordagem ADR. Na presente pesquisa as atividades de Preparação se referem tanto à personalização de um ambiente de *software* quando ao desenvolvimento do protótipo. Dessa forma, essa etapa foi desenvolvida ao longo dos estágios de Concepção e de Implementação.

As etapas de Execução e de Resultados, como mostrado na Figura 37, se referem às atividades de tratamento preliminar dos modelos BIM, de execução do protótipo sobre esses modelos BIM e de exibição dos resultados das verificações. Essas atividades foram realizadas com o estudo de caso, como apresentado mais adiante.

A etapa de Interpretação do processo de verificação de regras proposto por Eastman *et al.* (2009), adaptado para a presente pesquisa, consiste em analisar e interpretar as regras a serem verificadas. Um diagrama como o resumo das atividades realizadas na etapa de Interpretação é apresentado na Figura 38.

Figura 38 - Etapa de interpretação de regras

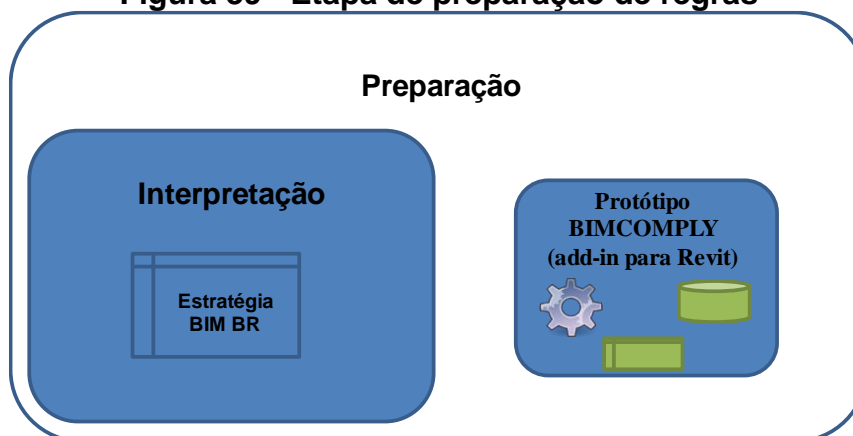


Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante o estágio de Diagnóstico, no contexto da ADR, foram analisados documentos que fazem parte do arcabouço normativo brasileiro e internacional sobre a metodologia BIM. Para isso, foram consultadas as orientações da Estratégia BIM BR, incluindo a Biblioteca Nacional BN BIM, os decretos brasileiros sobre a disseminação do BIM no Brasil e a norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), que especifica um CICS. As regras obtidas foram detalhadas e especificadas, como discutido no estágio de Diagnóstico, em que foi concebida a primeira versão do protótipo. Foram feitas especificações sobre como atribuir, armazenar e recuperar os códigos de classificação nos modelos BIM. Foram feitos alguns testes utilizando o CICS brasileiro, o OmniClass e o Uniclass 2015.

Um diagrama contendo as atividades de Preparação é apresentado na Figura 39. Essa etapa faz parte do processo de verificação de regras, como comentado anteriormente e mostrado na Figura 37. A etapa de Preparação consiste na elaboração do processo de verificação e no desenvolvimento do protótipo. Essa etapa abrange a elaboração do processo de verificação de regras e o desenvolvimento do protótipo. A elaboração do processo de verificação de regras utiliza os resultados da etapa anterior, em que as regras foram interpretadas e prepara ou concebe o protótipo, que contém o mecanismo de verificação dessas regras.

Figura 39 - Etapa de preparação de regras



Fonte: Elaborado pelo autor.

A elaboração do processo de verificação de regras foi iniciada durante os estágios de Diagnóstico e de Concepção da abordagem ADR, mas também abrange o estágio de Implementação. As regras obtidas nas fontes consultadas foram interpretadas e especificam como atribuir, armazenar e recuperar os códigos de classificação provenientes das tabelas do CICS a ser verificado nos modelos BIM. Vale ressaltar que a atribuição dos códigos de classificação aos objetos BIM é feita mediante o uso do aplicativo *Classification Manager*, como já detalhado anteriormente. Assim, em um processo de verificação de regras, o protótipo recupera dos códigos de classificação nos modelos BIM. A seguir é apresentada concepção desse protótipo, chamado BIMCOMPLY, que passou a incorporar funcionalidades do *LITE Framework*.

4.4.1 Protótipo utilizando o LITE Framework

O protótipo concebido passou a incorporar a implementação do *LITE Framework* (SUCCAR; POIRIER, 2020). Esse *framework* é utilizado como um roteiro para a execução do processo de verificação de regras, como apresentado a seguir.

Após realizado o processo de verificação de regras, os resultados mostram a quantidade de objetos BIM que possuem códigos de classificação atribuídos, indicando assim se o nível de utilização do CICS está adequado. Em seguida, os modelos BIM podem ser alterados e verificados novamente. Com esse processo, a verificação dos modelos BIM se assemelha a uma atividade de medição. Essas medições podem então ser utilizadas para indicar a qualidade da informação dos processos de modelagem BIM. No *LITE Framework* as medições são registradas nas

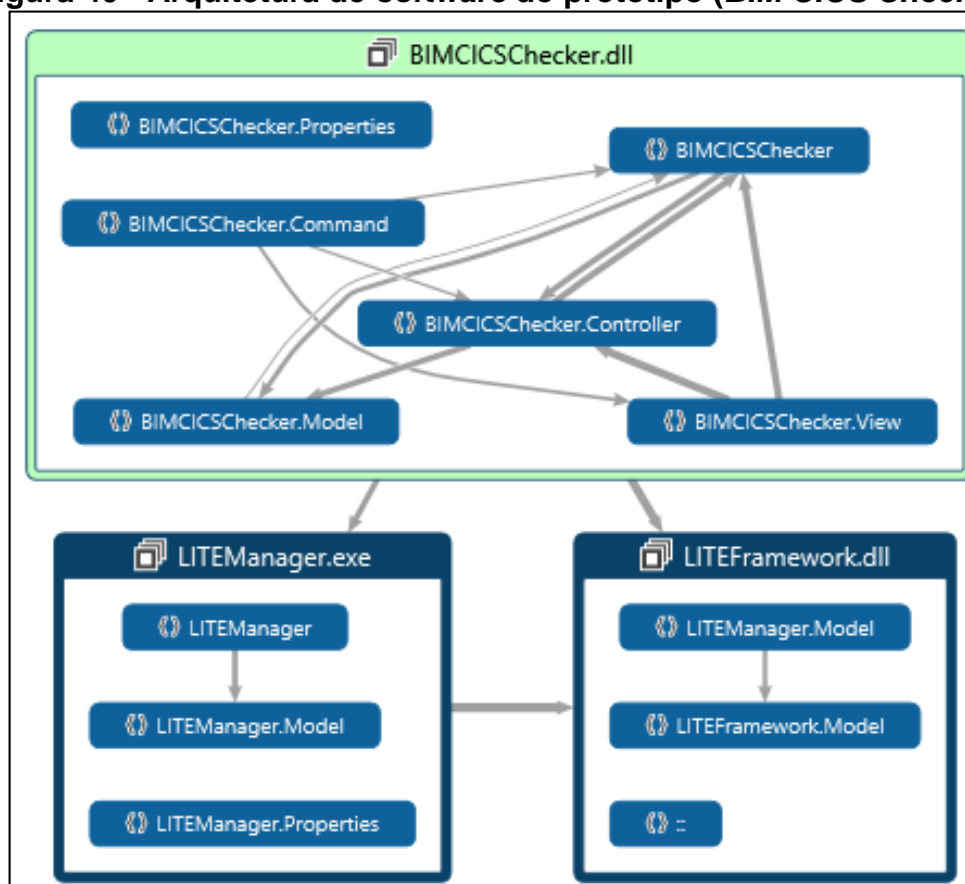
Ações de Informação Reversas. Nesse *framework*, as Ações estão associadas às mudanças de Marcos de Informação que ocorrem ao longo dos Fluxos de Informação. Na implementação proposta para esse *framework*, as Ações de Informação foram registradas na classe que representa a entidade Passo (*InformationFlowStep*). Assim, os Passos são os locais em que é armazenada a informação sobre os resultados dos processos de verificação de regras feitos sobre os modelos BIM.

O processo de verificação de regras nos modelos BIM pode ser feito de forma iterativa, como discutido anteriormente. Além disso, as verificações podem ter o propósito de realizar medições nos modelos BIM, o que permite diversas análises e simulações. Assim, a informação sobre os resultados das verificações de regras foi encapsulada em uma classe denominada Medição (*Measurement*), como detalhado na implementação do LITE *Framework*. O percurso que compreende as ações tomadas para a concepção e a criação de ativos digitais, incluindo os projetos de arquitetura e de engenharia, pode também ser percorrido de forma iterativa no LITE *Framework*. Nesse *framework*, as iterações de concepção dos projetos (*design*) significam percorrer esse percurso repetidas vezes. Dessa forma, sugere-se que os resultados das verificações a serem realizadas com o uso do protótipo estejam relacionados com Ações de Informação ou Atalhos de Informação que fazem parte das as iterações de *design*. Assim, na concepção proposta, identificou-se que as medições deveriam ser armazenadas ao longo das iterações de *design*, bem como deveriam ser capturadas nos Conjuntos e Marcos de Informação que fazem parte do fluxo de informação percorrido nessas iterações, no contexto do LITE *Framework*.

Vale ressaltar que a primeira versão do protótipo *BIMCOMPLY*, concebido inicialmente para avaliar o CICS brasileiro, foi denominada *BIMBR Checker*. A versão complementar desse protótipo, entretanto, ficou mais robusta e passou a ser denominada BIM CICS Checker. O detalhamento da concepção dessa segunda versão do protótipo *BIMCOMPLY* é mostrada a seguir.

A Figura 40, a seguir, apresenta um diagrama com a arquitetura de *software* geral do projeto de desenvolvimento do protótipo *BIM CICS Checker*, que é uma versão complementar ao protótipo *BIMBR Checker*, detalhado anteriormente. Ressalte-se que essa nova versão do protótipo mantém como base o padrão de projeto MVC.

Figura 40 - Arquitetura de software do protótipo (BIM CICS Checker)

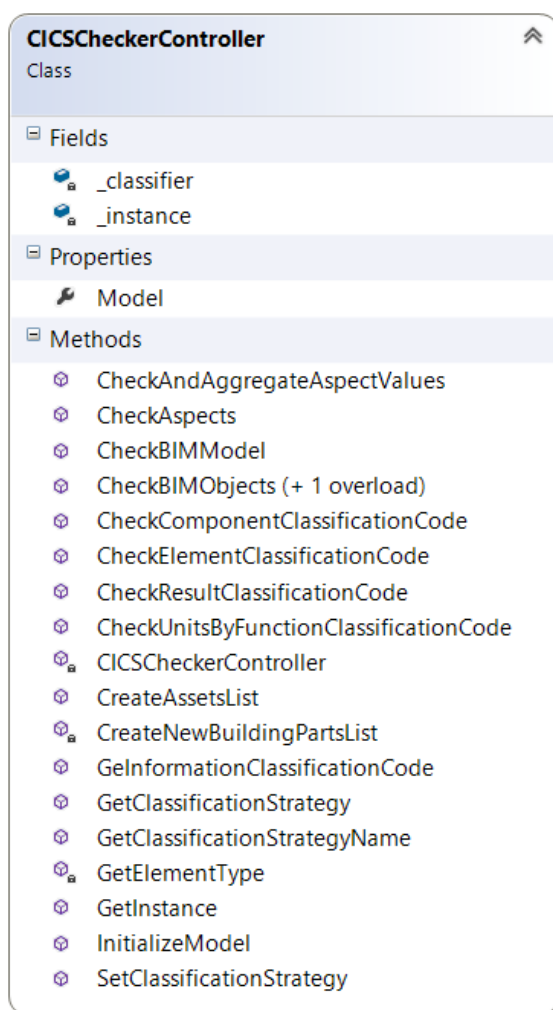


Fonte: Elaborado pelo autor.

Pacote *BIMCICSChecker.Controller*

As estruturas de Controle (*Controller*) do protótipo BIM CICS Controller permaneceram similares às da versão anterior do protótipo, detalhado no estágio de Concepção Inicial. Entretanto, foi acrescentada uma classe para implementar funções adicionais de controle, denominada *CICSCheckController*. Entre outras atribuições, essa classe é responsável por tratar os dados recuperados a partir do modelo BIM e criar uma lista de Ativos para serem analisados, tendo em vista o uso do LITE Framework. A estrutura da classe *CICSCheckController* é mostrada na Figura 41.

Figura 41 - Classe *CICSCheckerController*

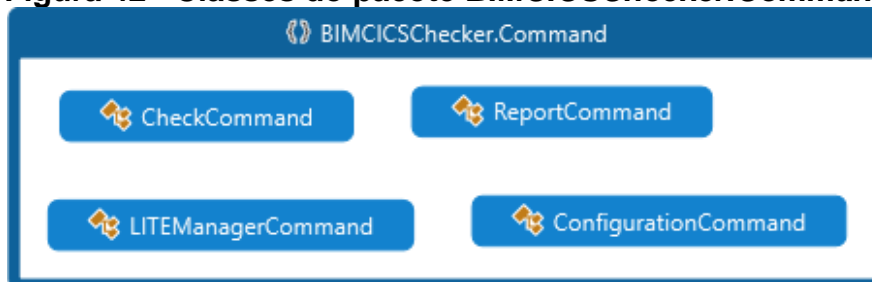


Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma diferença relevante com relação à versão anterior do protótipo foi a criação de quatro classes de comandos, como mostrado na Figura 42. A classe *ConfigurationCommand*, é responsável por executar um formulário de configuração do aplicativo, como a identificação dos Objetos BIM e a seleção de um CICS a ser utilizado na análise. A classe *CheckCommand* executa as verificações no modelo BIM e exibe alguns formulários para detalhar os itens verificados. A classe *ReportCommand* exibe os resultados da verificação e permite a visualização e a exportação das verificações realizadas como objetos da classe Medição (*Measurement*), que são salvas como itens de um Passo de Informação (*InformationStep*). Os Passos, por sua vez, são salvos na lista de Passos do Ativo Principal, representado pelo Modelo BIM, de acordo com a implementação do LITE *Framework*, já detalhada anteriormente. Inicialmente não foi concebida uma forma de armazenar as verificações individuais de cada Objeto BIM, pois todo o processo de

verificação de regras é feito de forma agrupada, em que todos os Objetos BIM pertencentes a certas Categorias de Famílias são analisados. A quarta classe mostrada na Figura 42 é a *LITEManagerCommand*, que executa o aplicativo LITE Manager e permite a consulta aos dados dos Ativos identificados no modelo BIM, bem como seus Passos e Medições.

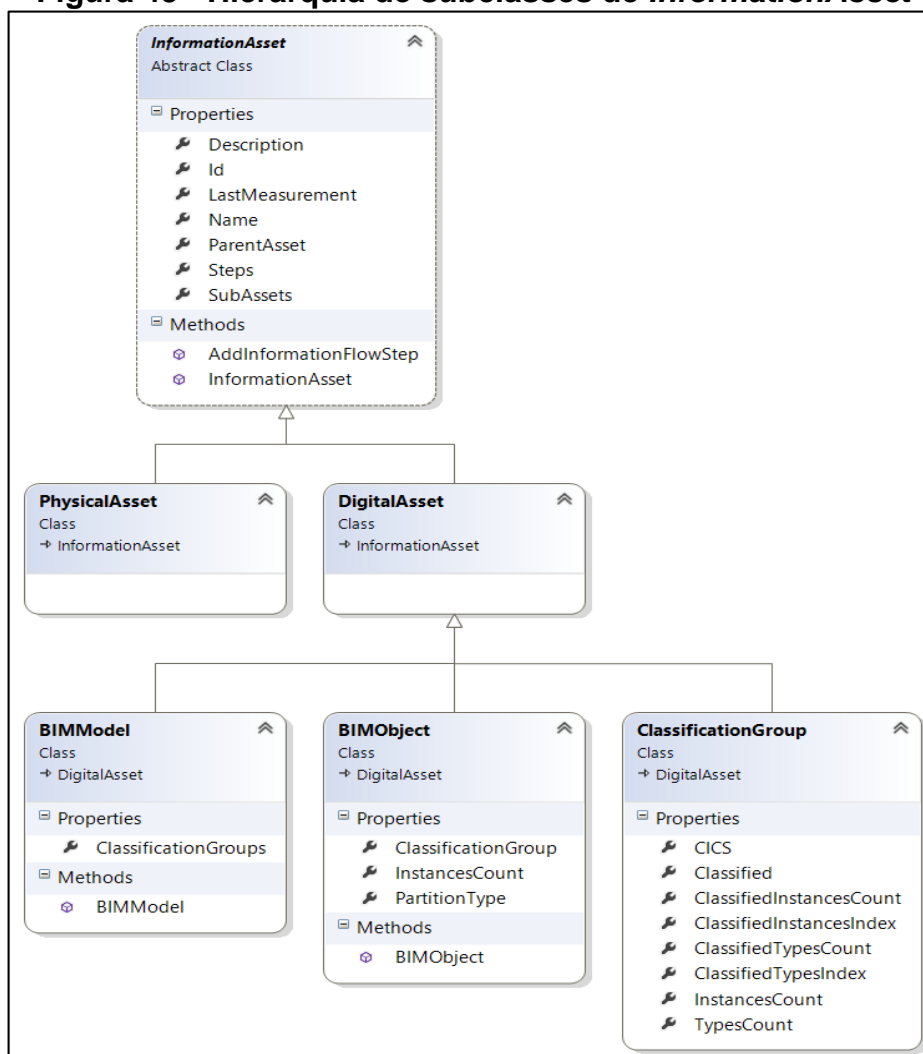
Figura 42 - Classes do pacote *BIMCICSChecker.Command*



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para implementar o LITE *Framework* no *software* Revit, foram necessários alguns desenvolvimentos adicionais, como a criação de novas classes. Os Ativos de Informação em um ambiente BIM podem ser do tipo Modelo BIM (*BIMModel*) ou Objeto BIM (*BIMObject*). Para cada um desses tipos de ativo, foi criada uma classe derivada de *DigitalAsset*, como pode ser visto na Figura 43. Nota-se que também foi criada a classe *ClassificationGroup*, que serve para representar os objetos BIM agrupados por Categorias de Famílias, e com isso permite que sejam armazenados os resultados consolidados das verificações realizadas nos modelos BIM.

Figura 43 - Hierarquia de subclasses de *InformationAsset*



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2 Avaliação e resultados parciais

O aplicativo independente (*standalone*) gerado para implementar o LITE *Framework*, denominado LITE *Manager*, foi incorporado ao protótipo. Com isso, o protótipo concebido passou a utilizar as funcionalidades desse *framework* na análise de conformidade de modelos BIM que ele executa, em um processo de verificação de regras (*rule checking*). Essa análise de conformidade é feita com relação ao uso de um sistema de classificação da informação da construção (CICS), como o especificado na norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Assim, foi apresentado neste estágio de Concepção o projeto complementar do desenvolvimento do protótipo, que tem a forma de um aplicativo de extensão para o *software* Revit e utiliza o contexto do LITE *Framework* como um

roteiro para realizar as verificações de conformidade com relação ao uso de um CICS, tendo em vista o ciclo de vida dos ativos relacionados ao ambiente construído.

A concepção do protótipo considerou o LITE *Framework* como roteiro para orientar os pontos, ou marcos, ao longo do ciclo de vida dos ativos que fazem parte do ambiente construído em que é interessante realizar as verificações de regras propostas. Esses pontos se relacionam com a coleta e a captura de informação, que deve ser tratada e organizada. Vale ressaltar que no LITE *Framework* é sugerida a utilização de uma escala de graus de integração ou níveis de maturidade com base em um modelo de maturidade de capacidade CMM/CMMI (SEI, 2004), em que dados e informações são cada vez mais coletados, tratados e utilizados. Com essa organização dos dados e informações, permite-se a elaboração de alguns índices. Algumas métricas podem então ser coletadas ao longo do ciclo de vida dos ativos e os índices obtidos a partir delas podem subsidiar a geração de indicadores. Além, das métricas ou medidas previstas para serem geradas pelo protótipo, que são relacionadas à quantidade de objetos BIM classificados, outros índices podem ser criados utilizando as funcionalidades concebidas no protótipo, tendo em vista que ele contém conceitos provenientes do LITE *Framework*. Exemplos de índices que podem ser construídos e que se relacionam com o nível de qualidade da informação utilizada na de modelagem BIM, tendo em vista alguns conceitos definidos no LITE *Framework* (SUCCAR; POIRIER, 2020), são mostrados a seguir:

- a) Índice de Recuperabilidade da Informação de *Design*: relacionado com os Níveis de X (Level of X - LoX) e com as Iterações de *Design* (*Design Iteration*), medidos no Laço de Informação Curto (*Short Information Loop*);
- b) Índice de Acoplamento Digital: relacionado com o número de Iteração de *Design* (*Design Iteration*) e com grau de Acoplamento Digital (*Digital Couple*), medidos no Laço de Informação Longo (*Long Information Loop*);
- c) Índice de Acoplamento Físico: relacionado com o número de Iterações de Entrega (*Delivery Iteration*) e com grau de Acoplamentos de Entrega (*Delivery Iteration*), medidos no Laço de Informação Curto (*Short Information Loop*).

Esses índices podem ser gerados a partir de uma análise dos passos seguidos ao longo do ciclo de vida dos ativos. Assim, eles viabilizam uma avaliação da conformidade ou aderência de modelos BIM a determinados protocolos, normas ou

regulamentos. Dessa forma, a solução implementada pode subsidiar a gestão da informação sobre o ambiente construído. Vale ressaltar que, além as métricas e índices sugeridos, diversos outros aspectos de avaliação e medição podem surgir e serem incorporadas em futuras versões do protótipo.

4.5 Implementação

A implementação do protótipo seguiu a concepção apresentada na seção anterior. Foi adotado um mecanismo de verificação de regras a ser executado como um aplicativo de extensão (*add-in*) para o Revit, uma plataforma de *software* BIM. Esse mecanismo permitir avaliar o uso de um CICS, como o definido pela Norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). Tendo em vista o contexto do gerenciamento do ciclo de vida das informações sobre os ativos que compõem o ambiente construído, também foi considerado na concepção do protótipo um roteiro para orientar a realização das verificações. Esse roteiro tem como base o LITE *Framework*, (SUCCAR; POIRIER, 2020).

Algumas soluções computacionais estudadas durante a seleção da plataforma de *software* BIM foram tomadas como referência para a implementação do protótipo (PORTO *et al.*, 2017; TAMMIK, 2020). Como discutido e detalhado anteriormente, o protótipo, desenvolvido como um aplicativo de extensão para o *software* Revit, recupera informação armazenada em modelos BIM para verificar a existência de códigos de classificação. Os aplicativos de extensão para o Revit permitem ampliar suas funcionalidades e são criados por meio de APIs. A API inicialmente utilizada na implementação do protótipo foi a disponibilizada pela versão 2020 do *software* Revit e a linguagem de programação de computadores adotada foi o C#.

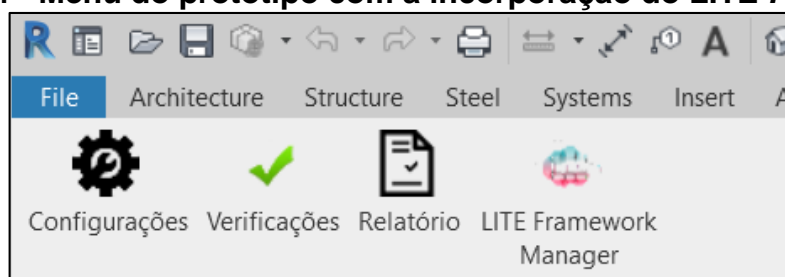
O protótipo desenvolvido recupera automaticamente informações dos modelos BIM e os procedimentos a serem adotados no desenvolvimento desse aplicativo utilizam uma solução de verificação de regras. Mesmo que essas regras sejam apenas recuperação de valores armazenados em parâmetros nos modelos BIM, que são os códigos de classificação, diversas normas técnicas e padrões legais aplicados à regulamentação do BIM no Brasil foram consultadas e levaram à primeira versão protótipo, apresentada no estágio de Concepção inicial. No decorrer do desenvolvimento da pesquisa, entretanto, identificou-se que seria interessante migrar o código-fonte criado para testar a implementação da sua primeira versão para a API

do Revit 2021, pois não foram detectadas incompatibilidades. Parte dessa primeira concepção do protótipo pôde então ser aproveitada nesta implementação, que teve seu escopo expandido para gerar uma versão mais robusta dessa aplicação, como discutido e apresentado anteriormente no estágio de Concepção complementar. A seguir, são apresentados alguns detalhes da implementação do protótipo, como as interfaces gráficas (menus, telas, janelas, botões etc), as classes criadas para representar os ativos e os controles do sistema e a forma de utilização das funcionalidades ao longo de cada situação ou passo do processo de verificação de regras.

4.5.1 Desenvolvimento do protótipo

O protótipo, que foi desenvolvido como um aplicativo de extensão para o *software* Revit, acrescenta funcionalidades a essa plataforma de *software* BIM, como pode ser visto na Figura 44, que mostra o menu criado para acessar as funcionalidades desse aplicativo. Nota-se, incorporado ao menu do protótipo desenvolvido, um botão para acessar as funcionalidades criadas para implementar o LITE *Framework* (SUCCAR; POIRIER, 2020). Vale ressaltar que esta versão do protótipo desenvolvido utiliza os conceitos e entidades apresentados no LITE *Framework* para contextualizar a verificação de uso de um CICS, considerando assim aspectos do ciclo de vida do ambiente construído.

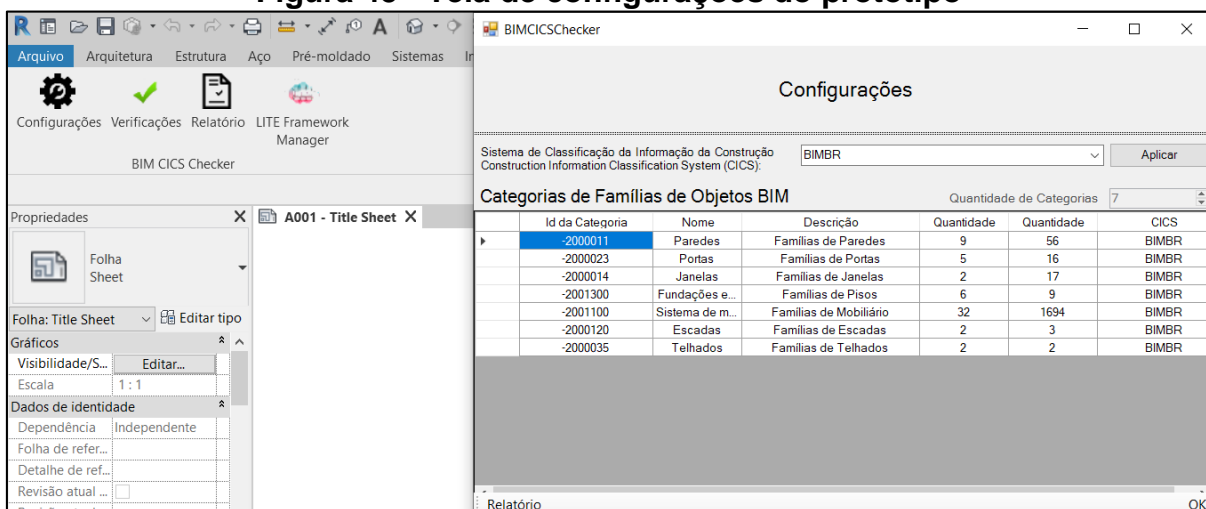
Figura 44 - Menu do protótipo com a incorporação do LITE *Framework*



Fonte: Elaborado pelo autor.

O botão “Configurações” do menu principal do protótipo executa o formulário mostrado na Figura 45.

Figura 45 - Tela de configurações do protótipo

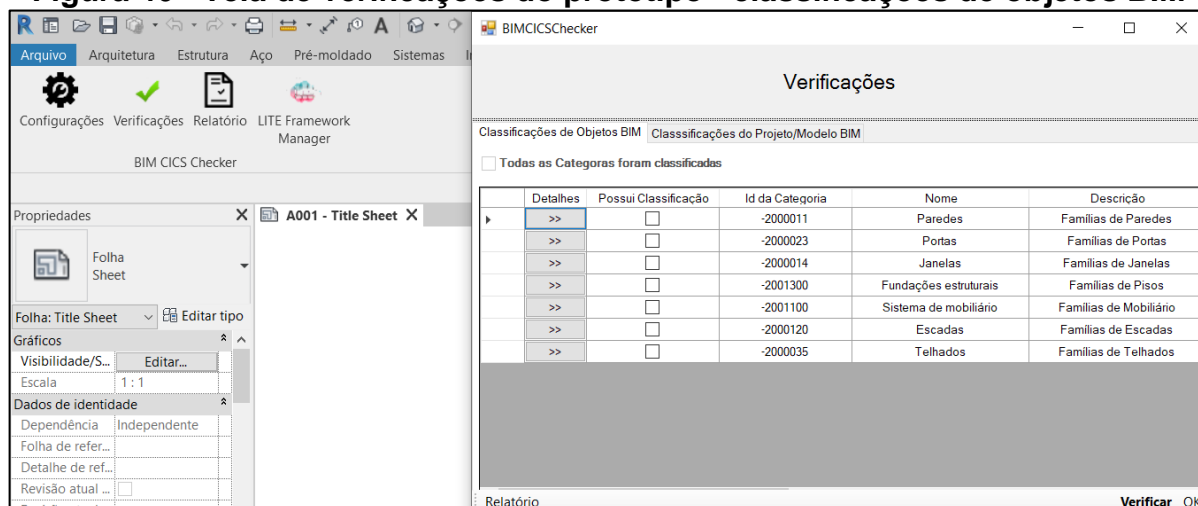


Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio do formulário mostrado na Figura 45 é possível vincular os objetos BIM que fazem parte do modelo BIM aberto no *software* Revit a um objeto da classe que representa um ativo (*InformationAsset*) ou uma de suas subclasses (*PhysicalAsset*, *DigitalAsset*, *BIMModel* ou *BIMObject*). Também pode ser escolhido nessa tela o CICS a ser utilizado na análise, que por padrão vem selecionada a opção BIMBR, que se refere ao sistema de classificação brasileiros, definido pela ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Ao acionar o botão “Verificações”, o comando *CheckCommand*, que faz parte do pacote *BIMCICSChecker.Command* é executado. Esse comando inicia o processo de verificação de regras e após a execução desse processo um resumo dos resultados é exibido no formulário mostrado na Figura 46.

Figura 46 - Tela de verificações do protótipo - classificações de objetos BIM

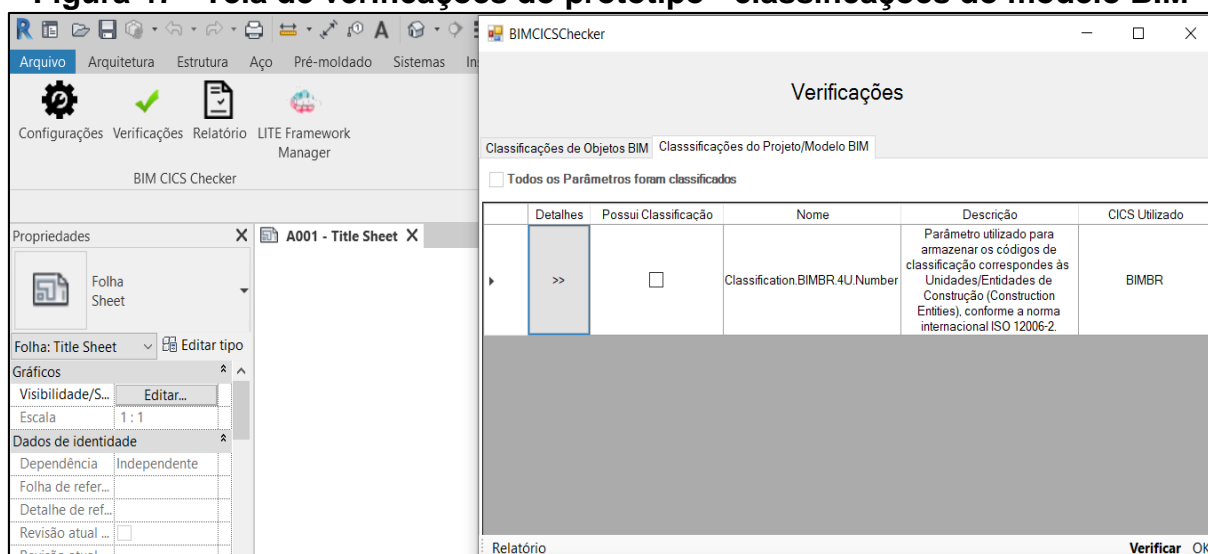


Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, o botão “Verificações” exibe um formulário com conteúdo similar ao apresentado na Concepção Inicial do protótipo. Nesse formulário, pode-se acionar o processo de verificação de regras, que busca por valores relativos aos códigos de classificação, tendo em vista a lista de ativos disponíveis para a análise, que são os objetos BIM. Ressalte-se que a análise verifica os objetos BIM de forma agrupada por Categorias de Famílias. Os ativos a serem verificados são os tipos de Família e as instâncias de Família das seguintes categorias: Paredes, Portas, Janelas, Pisos, Mobiliário, Escadas e Telhados. Vale destacar que nesta versão do protótipo foram implementadas apenas as verificações dessas Categorias de Família, mas outras podem ser futuramente incorporadas à análise.

Nota-se que o formulário de “Verificações”, exibido na Figura 46, possui duas abas. A primeira se refere às classificações que se aplicam aos objetos BIM. Vale reiterar que neste caso a análise é feita de forma agrupada por Categorias de Famílias. A segunda se refere às classificações dos modelos BIM como um todo. O conteúdo dessa segunda aba é mostrado na Figura 47, em que foi implementada a verificação da classificação do projeto ou modelo BIM com relação à tabela de Unidades por Função (4U), conforme ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), ou de Entidades da Construção (*Construction Entities*), conforme ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARRIZATION, 2015).

Figura 47 - Tela de verificações do protótipo - classificações do modelo BIM



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 48 apresenta os detalhes da classificação da Categoria de Famílias “Janelas”. Nota-se que no modelo BIM em análise existem dois Tipos de Famílias da categoria “Janelas” e nenhum deles está classificado, ou seja, não possui valores de código de classificação em nenhum dos parâmetros criados para classificar os objetos BIM, considerando o uso do CICS chamado de BIMBR, que se refere ao sistema definido pela ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), que foi selecionado no formulário de “Configuração”.

Figura 48 - Tela de verificações do protótipo - classificação de objetos BIM da categoria de famílias de janelas

	Detalhes	Possui Classificação	CICS Utilizado	Id do Tipo	Nome	Categoria	Quantidade de Instâncias
▶	>>	<input type="checkbox"/>	BIMBR	02a-5e81-49e7-93bb-ae5f002d921c-0003	Standard	Janelas	15
	>>	<input type="checkbox"/>	BIMBR	1745-d78a-4cca-860f-a55b170715ad-0007	1180 x 1170mm	Janelas	2

Tipos classificados/total de tipos: 0/2 = 0,0000 (0,00 %) OK

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 49 apresenta os detalhes da classificação do Tipo de Janela “Standard”. Nota-se que não foi recuperado o valor de nenhum dos códigos de classificação, ou seja, nenhuma das instâncias de Família desse Tipo de Janela foi classificada utilizando as tabelas de Componentes (2C), Elementos (3E) e Resultados da construção (3R), que fazem parte do CICS (BIMBR), conforme exibido na barra de status situada na parte inferior da tela. Ressalte-se que os campos mostrados na Figura 49 poderiam conter os valores recuperados, caso os códigos de classificação utilizados na análise tivessem sido atribuídos. Nota-se que do lado direito da tela são exibidas as tabelas de classificação equivalentes à do CICS brasileiro nos sistemas OmniClass e Uniclass 2015, bem como a tabela de referência da norma ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015).

Figura 49 - Tela de verificações do protótipo - classificação de um tipo de famílias de janelas

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 50 apresenta os detalhes da classificação do modelo BIM com relação ao parâmetro *Classification.BIMBR.4U.Number*.

Figura 50 - Tela de verificações do protótipo - classificação de unidades por função

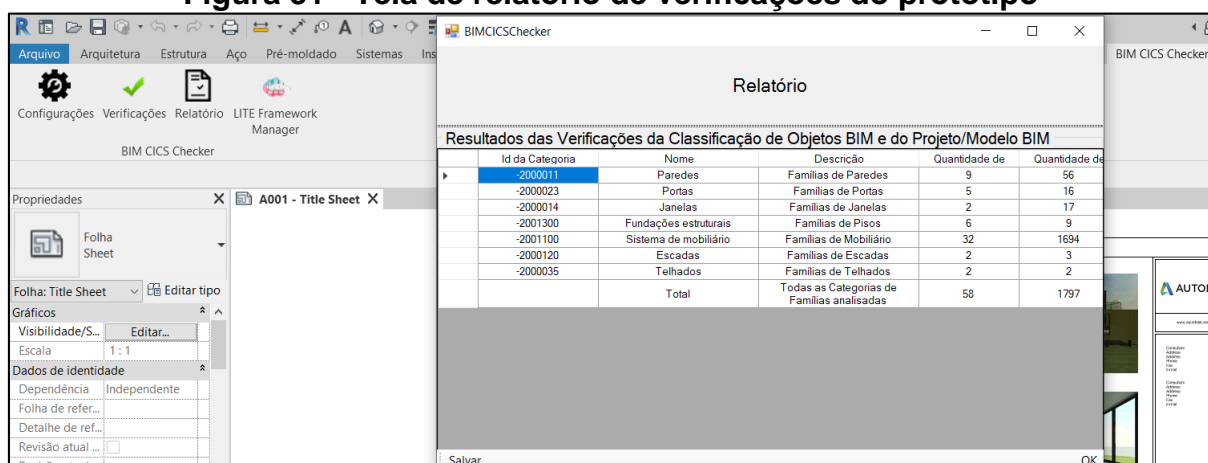
Fonte: Elaborado pelo autor.

O formulário mostrado na Figura 50 mostra a classificação do modelo BIM com relação à tabela de classificação Unidades por Função (4U) do CICS brasileiro, que corresponde às Entidades da Construção (*Construction Entities*), conforme norma ISO 12006-2:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION,

2015). Nota-se que não foi identificado valor para o código de classificação, indicando que essa classificação não foi atribuída ao modelo BIM analisado.

O botão “Relatório” apresenta os resultados da verificação realizada no modelo BIM, como mostrado na Figura 51. O relatório deve ser exibido após a execução do processo de verificação de regras, e a partir dele é possível salvar as medições, que são os resultados da verificação das regras, e são armazenadas na classe que representa as Medições (*Measurements*), que podem estar contidas na classe que representa um Passo (*InformationFlowStep*), que por sua vez está relacionado à execução de uma Ação de Informação ou um Atalho de Informação, como já detalhado anteriormente.

Figura 51 - Tela de relatório de verificações do protótipo



Id da Categoria	Nome	Descrição	Quantidade de	Quantidade de
-2000011	Paredes	Familias de Paredes	9	56
-2000023	Portas	Familias de Portas	5	16
-2000014	Janelas	Familias de Janelas	2	17
-2001300	Fundações estruturais	Familias de Pisos	6	9
-2001100	Sistema de mobiliário	Familias de Mobiliário	32	1694
-2000120	Escadas	Familias de Escadas	2	3
-2000035	Telhados	Familias de Telhados	2	2
	Total	Todas as Categorias de Familias analisadas	58	1797

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 52 mostra a tela exibida ao se acionar o botão “Salvar” a partir do formulário “Relatório”, que contém o relatório de verificações. Nota-se que o Passo gerado para armazenar as verificações realizadas possui um Marco de Informação Inicial e outro Marco de Informação Final, bem como datas e informações sobre as medições realizadas, que consistem no resultado da execução do processo de verificação de regras. Dessa forma, esse processo se insere no contexto do fluxo de informação proposto pelo LITE *Framework*.

Figura 52 - Tela de detalhes do passo gerado a partir do relatório de verificações

LITEManager

Adicionar Medição Remover Medição Detalhes do Passo

Passos

Id: Marco Inicial: Marco Final: Data: a

Ação/Atalho: Validar - em um processo assistido por computador, automatizado ou automático - Ativos Digitais Reais em relação aos Entregáveis Digitais Esperados.
Medir também a saúde/sanidade digital, a qualidade e a conformidade dos entregáveis em relação aos códigos e protocolos aplicáveis.
Esta ação de medição faz Parte da Rota II: Fluxo Automatizado

Descrição:

Quantidade de Medições:

	Nome	Descrição	Conteúdo	Critério	Observação
▶	Medição da Categoria de Famílias: Paredes - Id: -2000011	Verificação da classificação de Objetos BIM da Categoria de Famílias: Famílias de Paredes.	Quantidade de Tipos: 9; Índice de Classificação de Tipos: 0,0000 Quantidade de Instâncias: 56; Índice de Classificação de Instâncias: 0,0000	Uso do CICS BIMBR	Índice de Classificação de Tipos = Quantidade de Tipos Classificados/Quantidade de Tipos = 0/9 = 0,0000 (0,00 %) Índice de Classificação de Instâncias = Quantidade de Instâncias Classificadas/Quantidade de Instâncias = 0/56 = 0,0000 (0,00 %)
	Medição da Categoria de Famílias: Portas - Id: -2000023	Verificação da classificação de Objetos BIM da Categoria de Famílias: Famílias de Portas.	Quantidade de Tipos: 5; Índice de Classificação de Tipos: 0,0000 Quantidade de Instâncias: 16; Índice de Classificação de Instâncias: 0,0000	Uso do CICS BIMBR	Índice de Classificação de Tipos = Quantidade de Tipos Classificados/Quantidade de Tipos = 0/5 = 0,0000 (0,00 %) Índice de Classificação de Instâncias = Quantidade de Instâncias Classificadas/Quantidade de Instâncias = 0/16 = 0,0000 (0,00 %)
	Medição da Categoria de Famílias: Janelas - Id: -2000014	Verificação da classificação de Objetos BIM da Categoria de Famílias: Famílias de Janelas.	Quantidade de Tipos: 2; Índice de Classificação de Tipos: 0,0000 Quantidade de Instâncias: 17; Índice de Classificação de Instâncias: 0,0000	Uso do CICS BIMBR	Índice de Classificação de Tipos = Quantidade de Tipos Classificados/Quantidade de Tipos = 0/2 = 0,0000 (0,00 %) Índice de Classificação de Instâncias = Quantidade de Instâncias Classificadas/Quantidade de Instâncias = 0/17 = 0,0000 (0,00 %)
	Medição da Categoria de Famílias: Fundações estruturais - Id: -2001300	Verificação da classificação de Objetos BIM da Categoria de Famílias: Famílias de Pisos.	Quantidade de Tipos: 6; Índice de Classificação de Tipos: 0,0000 Quantidade de Instâncias: 9; Índice de Classificação de Instâncias: 0,0000	Uso do CICS BIMBR	Índice de Classificação de Tipos = Quantidade de Tipos Classificados/Quantidade de Tipos = 0/6 = 0,0000 (0,00 %) Índice de Classificação de Instâncias = Quantidade de Instâncias Classificadas/Quantidade de Instâncias = 0/9 = 0,0000 (0,00 %)
	Medição da Categoria de Famílias: Sistema de mobiliário - Id: -2001100	Verificação da classificação de Objetos BIM da Categoria de Famílias: Famílias de Mobiliário.	Quantidade de Tipos: 32; Índice de Classificação de Tipos: 0,0000 Quantidade de Instâncias: 1694; Índice de Classificação de Instâncias: 0,0000	Uso do CICS BIMBR	Índice de Classificação de Tipos = Quantidade de Tipos Classificados/Quantidade de Tipos = 0/32 = 0,0000 (0,00 %) Índice de Classificação de Instâncias = Quantidade de Instâncias Classificadas/Quantidade de Instâncias = 0/1694 = 0,0000 (0,00 %)
	Medição da Categoria de Famílias: Escadas - Id: -2000120	Verificação da classificação de Objetos BIM da Categoria de Famílias: Famílias de Escadas.	Quantidade de Tipos: 2; Índice de Classificação de Tipos: 0,0000 Quantidade de Instâncias: 3; Índice de Classificação de Instâncias: 0,0000	Uso do CICS BIMBR	Índice de Classificação de Tipos = Quantidade de Tipos Classificados/Quantidade de Tipos = 0/2 = 0,0000 (0,00 %) Índice de Classificação de Instâncias = Quantidade de Instâncias Classificadas/Quantidade de Instâncias = 0/3 = 0,0000 (0,00 %)
	Medição da Categoria de Famílias: Telhados - Id: -2000035	Verificação da classificação de Objetos BIM da Categoria de Famílias: Famílias de Telhados.	Quantidade de Tipos: 2; Índice de Classificação de Tipos: 0,0000 Quantidade de Instâncias: 2; Índice de Classificação de Instâncias: 0,0000	Uso do CICS BIMBR	Índice de Classificação de Tipos = Quantidade de Tipos Classificados/Quantidade de Tipos = 0/2 = 0,0000 (0,00 %) Índice de Classificação de Instâncias = Quantidade de Instâncias Classificadas/Quantidade de Instâncias = 0/2 = 0,0000 (0,00 %)
	Medição de todas as Categorias de Famílias	Verificação da classificação de Objetos BIM de todas as Categorias de Famílias analisadas.	Quantidade total de Tipos: 58; Índice de Classificação de Tipos: 0,0000 Quantidade total de Instâncias: 1797; Índice de Classificação de Instâncias: 0,0000	Uso do CICS BIMBR	Índice de Classificação de Tipos = Quantidade de Tipos Classificados/Quantidade de Tipos = 0/58 = 0,0000 (0,00 %) Índice de Classificação de Instâncias = Quantidade de Instâncias Classificadas/Quantidade de Instâncias = 0/1797 = 0,0000 (0,00 %)

OK

Fonte: Elaborado pelo autor.

O botão “LITE *Framework Manager*” executa o formulário principal criado para implementar esse *framework*, como apresentado anteriormente no Diagnóstico Complementar. Os ativos identificados no modelo BIM podem então ser consultados por essa funcionalidade. Ressalte-se que após verificar um modelo BIM e salvar os resultados apresentados no relatório, o ativo principal, que representa o modelo BIM como um todo, passa a conter esses resultados, que são armazenados como as medições de um passo, como mostrado na Figura 53.

Figura 53 - Telas de execução do aplicativo *LITE Framework Manager* no ambiente do *software Revit*

The screenshot displays the LITE Framework Manager application interface within the Revit environment. The main window shows a table of 'Ativos (Assets)' with columns for 'Id do Ativo', 'Nome', 'Descrição', and 'Quantidade de Subativos'. A 'Detalhes do Ativo Principal' dialog box is open, showing fields for 'Nome' (Modelo BIM), 'Descrição', and 'Quantidade de Passos' (1). Below this, a 'Detalhes do Passo' dialog box is open, showing fields for 'Id do Passo' (1), 'Marco Inicial' (6), 'Marco Final' (3), and 'Data' (10/10/2020). The 'Detalhes do Passo' dialog also includes a table of 'Passos' with columns for 'Nome', 'Descrição', 'Conteúdo', 'Critério', and 'Observação'. The table contains two rows of data related to CICS BIMBR verification.

Nome	Descrição	Conteúdo	Critério	Observação
Medição da Categoria de Famílias: Telhados - Id: -2000035	Verificação da classificação de Objetos BIM da Categoria de Famílias: Famílias de Telhados.	Quantidade de Tipos: 2. Índice de Classificação de Tipos: 0,0000 Quantidade de Instâncias: 2. Índice de Classificação de Instâncias: 0,0000	Uso do CICS BIMBR	Índice de Classificação de Tipos = Quantidade de Tipos Classificados/Quantidade de Tipos = 0/2 = 0,0000 (0,00 %) Índice de Classificação de Instâncias = Quantidade de Instâncias Classificadas/Quantidade de Instâncias = 0/2 = 0,0000 (0,00 %)
Medição de todas as Categorias de Famílias	Verificação da classificação de Objetos BIM de todas as Categorias de Famílias analisadas.	Quantidade total de Tipos: 58. Índice de Classificação de Tipos: 0,0000 Quantidade total de Instâncias: 1797. Índice de Classificação de Instâncias: 0,0000	Uso do CICS BIMBR	Índice de Classificação de Tipos = Quantidade de Tipos Classificados/Quantidade de Tipos = 0/58 = 0,0000 (0,00 %) Índice de Classificação de Instâncias = Quantidade de Instâncias Classificadas/Quantidade de Instâncias = 0/1797 = 0,0000 (0,00 %)

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5.2 Avaliação e resultados parciais

Após o estágio de Diagnóstico, foi concebida uma solução computacional para aplicar e verificar o uso de um sistema de classificação da informação da construção (CICS) em um modelo BIM. A Concepção inicial previa o projeto do protótipo de um sistema de *software* para realizar um processo de verificação de regras, permitindo assim avaliar modelos BIM com relação ao uso do CICS brasileiro, definido pela ABNT NBR 15965. Posteriormente foi feita a implementação do protótipo, que passou a permitir a verificação do uso de outros CICS e também a utilizar como roteiro, o processo de gerenciamento de informações sobre ativos que parte do ambiente construído proposto pelo *LITE Framework*. Assim, o protótipo executa um processo de verificação de regras considerando um aspecto de conformidade em modelos BIM. Essa análise de conformidade, que no caso do CICS brasileiro pode ser considerada

uma conformidade normativa, uma vez que esse sistema de classificação é definido por uma norma técnica, que fornece subsídios para uma análise da qualidade da informação.

O tratamento adequado e a organização da informação nas organizações podem ser implementados mediante os sistemas de informação, que utilizam os princípios da classificação para se estruturar. Os processos envolvidos na metodologia de modelagem BIM também têm sua base na classificação, se assemelhando assim ao desenvolvimento de um sistema de informação.

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, passando por estágios de diagnóstico, concepção e implementação do protótipo, semelhanças foram identificadas entre os conceitos e processos envolvidos na modelagem BIM e os procedimentos adotados pela Engenharia de *Software* (PRESSMAN, 2005; PAULA FILHO, 2009). Isso trouxe evidências de que essa metodologia de modelagem se assemelha ao desenvolvimento de um sistema de informação no contexto de organizações do setor de AEC. O Quadro 22 apresenta algumas semelhanças identificadas entre esses processos.

Quadro 22 - Semelhanças entre modelagem BIM e engenharia de *software*

Conceitos e processos envolvidos na Modelagem da Informação da Construção (BIM)	Conceitos e processos envolvidos na Engenharia de <i>Software</i>
Modelos BIM Reuso de componentes ou objetos BIM (por exemplo, Famílias no Revit) Bibliotecas digitais de componentes ou objetos BIM (por exemplo, Biblioteca BNBIM) Interoperabilidade	Sistemas de informação e bancos de dados Reuso de <i>software</i> Repositórios de componentes de <i>software</i> Sistemas de informação para a <i>web</i> /armazenamento em nuvem/interoperabilidade
Sistemas de classificação da informação da construção (Construction Information Classification Systems - CICS) Ambiente comum de dados ou informações (Common Data Environment - CDE/Common Information Environment) Matriz de maturidade BIM (BIm ³)	Sistemas de controle de versionamento Padrões de documentação e codificação Bancos de dados/sistemas de gerenciamento de bancos de dados (SGBD) Modelos de maturidade de capacitação de <i>software</i> (CMM/CMMI)
Especificação de requisitos de troca de informação Especificações BIM (ISO 19650) Padrões de informação e de projetos de engenharia arquitetura Planejamento da obra Interoperabilidade/intercâmbio de informações em BIM	Especificação de requisitos de <i>software</i> Padrões de documentação e projeto de <i>software</i> Planejamento do desenvolvimento do <i>software</i> Interoperabilidade/tecnologia de redes de telecomunicações/serviços em nuvem
Plano de execução BIM (BIM Execution Plan - BEP) Plano de implementação BIM (BIM Implementation Plan - BIP)	Documento de visão do sistema Documento de visão do projeto Planos de projeto, construção e implantação do sistema

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tendo em vista os desenvolvimentos realizados na pesquisa, o artefato construído neste estágio concluiu o protótipo de um sistema de informação computacional e precisa, então, ser testado e validado. Assim, após implementado, o protótipo foi executado em um estudo de caso real, como detalhado a seguir. O estudo de caso fecha o estágio de Implementação, conforme abordagem ADR. Com a realização do estudo de caso, o artefato criado nesse estágio, ou seja, o protótipo, pode começar a ter ciclos evolutivos de desenvolvimento.

4.6 Validação - Estudo de Caso: antiga EEUFMG

O estudo de caso apresentado nesta seção tem como objetivo validar o protótipo concebido e implementado. Conforme discutido nas seções anteriores. O protótipo implementado verifica o uso de um sistema CICS em modelos BIM. O estudo de caso consiste na execução do protótipo para avaliar aspectos do uso do CICS brasileiro, definido pelo conjunto de normas técnicas ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), no projeto de reforma da antiga Escola de Engenharia da UFMG (EEUFMG). Assim, o primeiro passo para a execução do protótipo foi a geração de modelos BIM a partir dos arquivos do projeto de reforma da antiga EEUFMG, que estavam em formato CAD. Esses modelos foram então tratados para a realização dos testes de execução do protótipo, tendo em vista a solução proposta, que utiliza um processo de verificação de regras (*rule checking*). Os resultados obtidos são analisados em uma avaliação final, utilizada para validar a formulação proposta.

O protótipo é executado como um aplicativo de extensão (*add-in*) para o *software* Revit, o que permite a utilização dos recursos e funcionalidades presente nessa plataforma BIM. Esse aplicativo foi implementado usando a linguagem de programação de computadores C# e a API .NET disponibilizada pelo *software* Revit. Os modelos BIM funcionam como um repositório de informações sobre o ambiente construído e o projeto de empreendimento imobiliário. Com o uso de aplicativos de extensão, é possível acessar grande parte da estrutura interna do *software* Revit, incluindo seu ambiente gráfico e os dados dos projetos ou modelos BIM, ampliando assim as possibilidades de recuperação da informação contida nesses modelos. Vale destacar que a avaliação da conformidade normativa de modelos BIM implementada é feita mediante o processo de verificação de regras. Esse processo permite medir a

aderência de modelos BIM com relação ao uso de um CICS, como discutido nas seções anteriores. A seguir são mostradas as construções que fazem parte do complexo imobiliário da antiga EEUFMG. Em seguida o processo adotado para realizar o estudo de caso é detalhado. Esse processo consiste na criação ou adaptação de modelos BIM para representar o complexo imobiliário, no tratamento desses modelos, incluindo a personalização do ambiente de *software* e a aplicação da classificação aos modelos e objetos BIM, e na execução do protótipo sobre o modelo BIM gerado e classificado conforme o CICS brasileiro.

4.6.1 Contextualização: antiga Escola de Engenharia da UFMG (EEUFMG)

A gestão de projetos envolvendo o ambiente construído público, abrangendo a construção e a manutenção de edificações, instalações e infraestruturas, possui similaridades e diferenças com relação ao setor privado. Destacam-se, entre os aspectos comuns, a busca por economia e eficiência na utilização dos recursos disponíveis. Nesse contexto, a gestão do patrimônio público, incluindo seu ambiente construído, pode obter benefícios ao utilizar as atuais tecnologias e metodologias como a modelagem da informação da construção (BIM), que é um tema cada vez mais discutido e regulamentado no Brasil, seja por meio de normas técnicas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018), por decretos de iniciativa do Governo Federal (BRASIL, 2018, 2019, 2020), ou até mesmo por iniciativas regionais, locais ou estaduais. Tendo em vista esse cenário, esta subseção apresenta o histórico e o estado atual do imóvel que abrigava a antiga EEUFMG, considerando sua proposta de renovação e reforma, que envolveu a elaboração de diversos projetos de arquitetura e de engenharia.

A seguir é apresentado um breve histórico desse complexo imobiliário, desde a construção da primeira edificação que compõe esse complexo, Edifício Arthur Guimarães, inaugurado em 1959, como descrito na seguinte publicação da UFMG:

Fundada em 1911, a Escola de Engenharia inicialmente ocupou o edifício Alcindo da Silva Vieira, na Praça da Estação. O prédio, sede da Escola até 1959, hoje abriga o Centro Cultural UFMG.

Em 1952, a Congregação da Escola aprovou o projeto de uma nova sede. Assim foi construído o Edifício Arthur Guimarães, inaugurado em 1959 e assim batizado em homenagem a um dos fundadores da Escola de Engenharia. O complexo seria ampliado com a construção do Prédio Álvaro da Silveira na Avenida do Contorno, 842.

Com a mudança da Escola para o Campus Pampulha, em 2010, o Edifício Arthur Guimarães foi cedido ao Tribunal Regional do Trabalho. Em 2015, foi aprovada a construção da nova sede do Fórum de Justiça do Trabalho no local (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2017).

Uma fotografia do Edifício Arthur Guimarães em sua concepção inicial como parte da antiga EEUFMG é apresentada na Figura 54.

Figura 54 - Antiga EEUFMG - Edifício Arthur Guimarães



Fonte: UFMG (2017).

O Projeto Campus 2000 propôs uma mobilização para concentrar as faculdades e escolas da UFMG em seu *campus* localizado na região da Pampulha, em Belo Horizonte - MG. O complexo imobiliário que abrigava a EEUFMG era uma das construções que seriam substituídas, e então iniciou-se o projeto de construção de uma nova sede para essa Escola. Após a construção das novas instalações, a EEUFMG se mudou para o *campus*. Com isso, tornou-se necessário encontrar uma nova destinação para a antiga propriedade, localizada no centro da cidade, que foi então cedido ao Tribunal Regional do Trabalho (TRT), em 2010. Esse complexo imobiliário recebeu nova concepção, e para isso seriam necessários projetos de reforma e adaptação. O novo responsável pela gestão desse complexo imobiliário que abrigava a antiga EEUFMG precisaria então realizar as obras e reformas, de forma a adaptar o imóvel ao seu novo uso.

Ao receber a transferência da posse dos ativos imobiliários da antiga EEUFMG, o TRT começou a planejar as reformas, adaptações e novas construções que pretendia realizar. O projeto arquitetônico para a reforma desse complexo imobiliário foi idealizado e sua concepção se iniciou em 2010. No entanto, o processo de aprovação do projeto junto a órgãos públicos locais envolveu diversos contratemplos, como a alteração da legislação específica em torno do empreendimento para adequar a vocação do local ao seu novo uso. O propósito dos projetos foi reformar o complexo imobiliário para que ele passe a abrigar a nova sede do Fórum de Justiça do Trabalho no local.

O complexo imobiliário que abrigava a antiga EEUFMG abrange dois quarteirões e é composto por um conjunto de edificações com diferentes estados de conservação e tombamento com relação ao patrimônio histórico e cultural. Os projetos de reforma foram desenvolvidos com base nos projetos originais das edificações, que tiveram que ser transcritos para o formato CAD, pois muitos deles tinham sido originalmente elaborados em pranchetas. Os projetos deveriam estar elaborados até 2014, data em que deveria estar pronto também o termo de referência a ser utilizado para a contratação das obras. Entretanto, esse processo se prolongou. A previsão de contratação da obra contava com a autorização de uma Operação Urbana Simplificada, que alterou os parâmetros urbanísticos na região, como o coeficiente de aproveitamento, o número de vagas de estacionamento e de carga e descarga, dada pela Lei Municipal de Belo Horizonte nº 10.731 de 23/05/2014 (BELO HORIZONTE, 2014). O imóvel é descrito no Artigo 1º pela Lei Municipal de Belo Horizonte nº 10.731 de 23/05/2014 (BELO HORIZONTE, 2014), da seguinte forma:

Art. 1º - Fica instituída a Operação Urbana Simplificada do Tribunal Regional do Trabalho de Minas Gerais, em conformidade com o disposto na seção II do Capítulo II do Título IV da Lei nº 7.165, de 27 de agosto de 1996.

§ 1º - A Operação Urbana Simplificada instituída por esta lei compreende as seguintes áreas da 1ª seção Urbana, identificadas nas plantas cadastrais CP-020-024-M e CP-001-051-F:

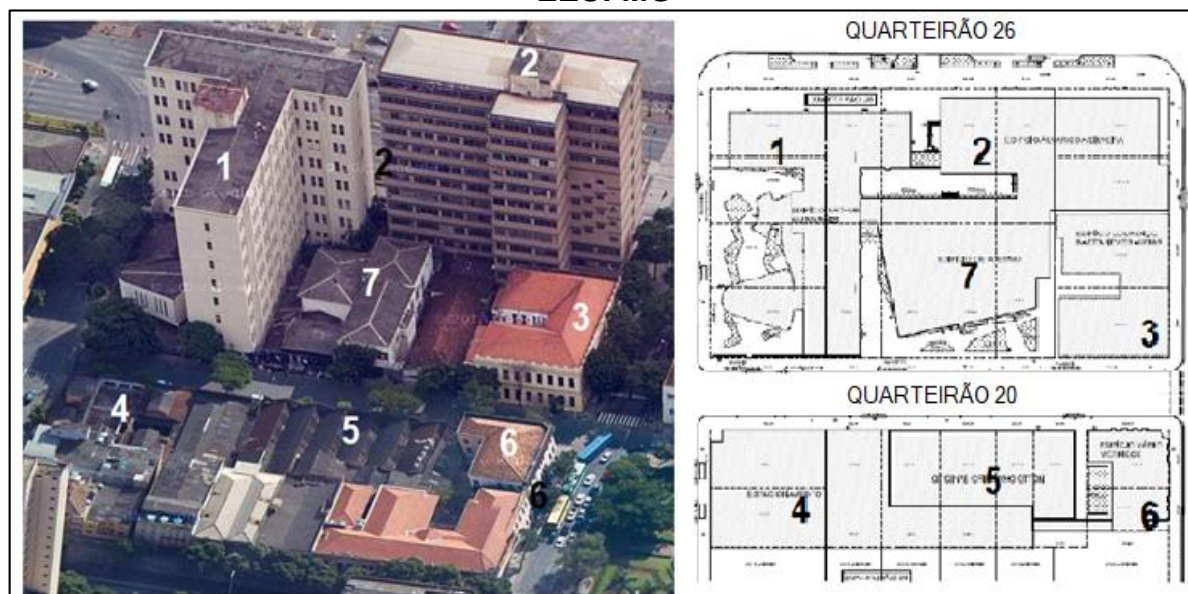
I - o quarteirão 26;

II - os lotes 009A, 010, 011A, 012A, 012B, 013 ao 016 do quarteirão 20. (BELO HORIZONTE, 2014).

As obras de construção e reforma do complexo imobiliário que abrigava a antiga EEUFMG foram licitadas em 2016. As obras começaram pelo Quarteirão Q20, situado em um terreno adjacente ao que abriga as construções maiores, como os edifícios Arthur Guimarães e Álvaro da Silveira. O Q20 possui edificações menores, a

serem utilizadas como anexo (Escola Judicial e Biblioteca) e estacionamento, como mostrado na Figura 55. Algumas edificações existentes nesse quarteirão precisariam ser reformadas e outras demolidas e reconstruídas. Entretanto, durante a execução das obras desse primeiro quarteirão, surgiram imprevistos e a construção teve que ser suspensa. Como as obras foram interrompidas, um impasse foi criado, pois um processo de licitação para contratar uma nova obra poderia ser necessário. Assim, em 2019, cogitou-se dar a essa propriedade outra destinação, como transferi-la para outro órgão público. No caso da retomada das obras, o projeto precisaria ser concebido novamente, de acordo com a legislação vigente. O projeto original da reforma não utilizou a metodologia de modelagem da informação da construção (BIM), mas nesse novo cenário, a modelagem BIM a poderia ser utilizada. O projeto de reforma do complexo imobiliário da antiga EEUFMG é composto por algumas intervenções, conforme mostrado na Figura 55, a seguir.

Figura 55 - Alterações propostas para o complexo imobiliário da antiga EEUFMG



Fonte: Adaptado do projeto de reforma do complexo imobiliário da antiga EEUFMG - TRT.

Do lado direito da Figura 55 é mostrada uma fotografia aérea do complexo imobiliário da antiga EEUFMG, tirada antes do início das obras de reforma. Esse complexo contém sete edificações principais, como mostrado no Quadro 23.

Quadro 23 - Modificações propostas para as edificações da antiga EEUFMG

	Quarteirão	Edificação Existente	Nova Concepção
1	Q26	Edifício Arthur Guimarães	A ser reformado
2	Q26	Edifício Álvaro da Silveira	A ser reformado
3	Q26	Edifício Lourenço Baeta Neves	A ser reformado
4	Q20	Edifício José Renault	A ser parcialmente reformado e nova concepção como Estacionamento, a ser construído
5	Q20	Oficinas Cristiano Ottoni	A serem parcialmente reformadas e nova concepção como Escola Judicial, a ser construída
6	Q20	Pavilhão Mário Werneck	A ser reformado e nova concepção como Biblioteca
7	Q26	Edificação administrativa e laboratórios	A serem demolidos e nova concepção como rampas de ligação, a serem construídas

Fonte: Adaptado do projeto de reforma do complexo imobiliário da antiga EEUFMG - TRT.

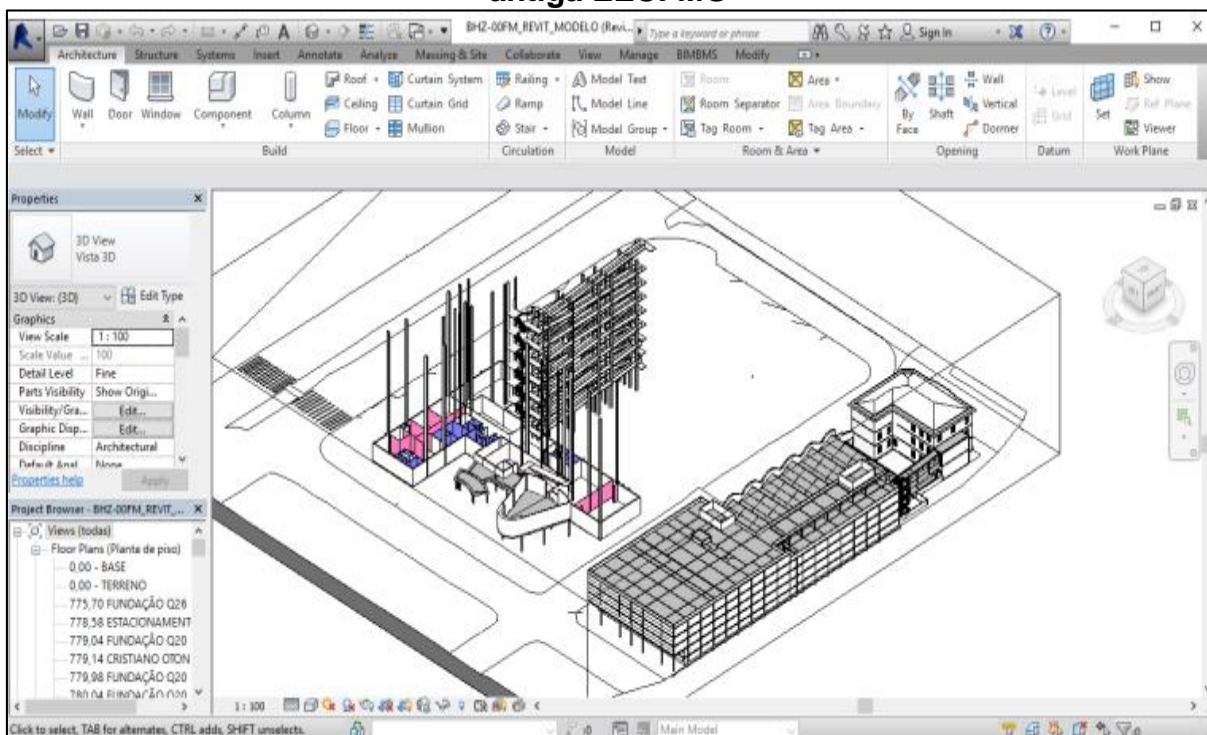
Algumas das edificações existentes seriam mantidas e reformadas, inclusive partes delas foram tombadas. Outras edificações seriam demolidas e os espaços utilizados em nova concepção. As adequações proposta são mostradas na Figura 55, e a identificação das novas concepções é mostrada na coluna do lado direito do Quadro 23. No contexto do presente estudo, foram criados e adaptados alguns modelos BIM para representar o complexo imobiliário da antiga EEUFMG, e com isso viabilizar a realização do experimento proposto. Vale ressaltar que esses modelos foram criados a partir de projetos elaborados com a tecnologia CAE e participaram da de sua criação, de forma colaborativa, o autor, alunos da UFMG e servidores do TRT. Os procedimentos adotados para a criação e adaptação desses modelos BIM são apresentados a seguir. Posteriormente é mostrado o tratamento desses modelos para a execução do protótipo, que realiza uma verificação de regras para identificar aspectos do uso do CICS brasileiro, definido pelo conjunto de normas técnicas ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

4.6.2 Criação de modelos BIM

Esta subseção apresenta o processo de criação de modelos BIM para representar o complexo imobiliário que abrigava a antiga EEUFMG. Ressalte-se que os modelos criados foram adaptados para permitir a realização da avaliação do desenvolvimento do protótipo criado como parte da presente pesquisa. A avaliação, que consiste na elaboração de um estudo de caso, executa um processo da verificação de regras nos modelos BIM.

O projeto de arquitetura para a reforma da antiga EEUFMG foi elaborado com o uso da tecnologia CAD, assim como os projetos complementares, que envolvem diversas disciplinas de engenharia. Esses projetos consistem em desenhos técnicos em formato CAD, além de outros documentos como planilhas eletrônicas, e foram utilizados a criação de modelos BIM, pois, como discutido anteriormente, os modelos BIM podem conter diversas informações, além da geometria dos componentes construtivos. A Figura 55 mostra o estado preliminar do processo evolucionário de modelagem BIM, usando o *software* Autodesk Revit, das construções que fazem parte do projeto de reforma do complexo imobiliário que abrigava a antiga EEUFMG. Nota-se que o modelo BIM foi previsto para conter tanto o Quarteirão 20 quanto o Quarteirão Q26. Assim, na Figura 56 é possível visualizar, além dos modelos BIM em desenvolvimento, a área do terreno que abrigava todo o complexo imobiliário da antiga EEUFMG, composta pelos quarteirões Q26 e Q20.

Figura 56 - Modelagem BIM do projeto de reforma do complexo imobiliário da antiga EEUFMG



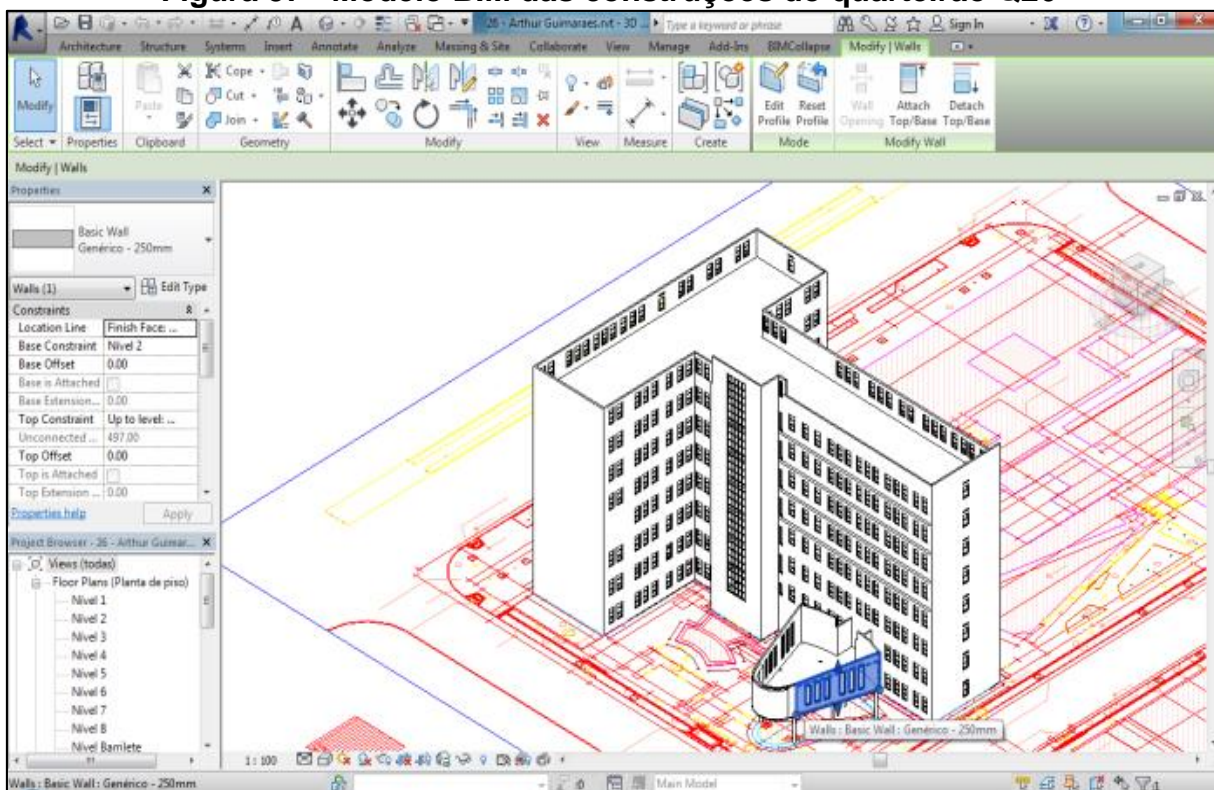
Fonte: Adaptado do projeto de reforma do complexo imobiliário da antiga EEUFMG - TRT.

A Figura 57 mostra um modelo BIM, em criação, para representar as edificações do Quarteirão Q26 do complexo imobiliário da antiga EEUFMG. Primeiramente, foram criados modelos BIM para representar os edifícios antigos da

forma como foram concebidos quando ainda faziam parte da antiga EEUFMG. Depois cedido ao TRT, esse complexo imobiliário passaria a ter novas edificações, que foram concebidas nos projetos e precisam ser criadas e adicionadas ao modelo BIM para uma análise completa desse complexo imobiliário.

Como as obras de reforma se iniciaram pelo Quarteirão Q20, os edifícios que compõem essa parte do complexo imobiliário foram primeiramente modelados em detalhes e utilizados nos testes de execução do protótipo, como mostrado a seguir.

Figura 57 - Modelo BIM das construções do quarteirão Q26

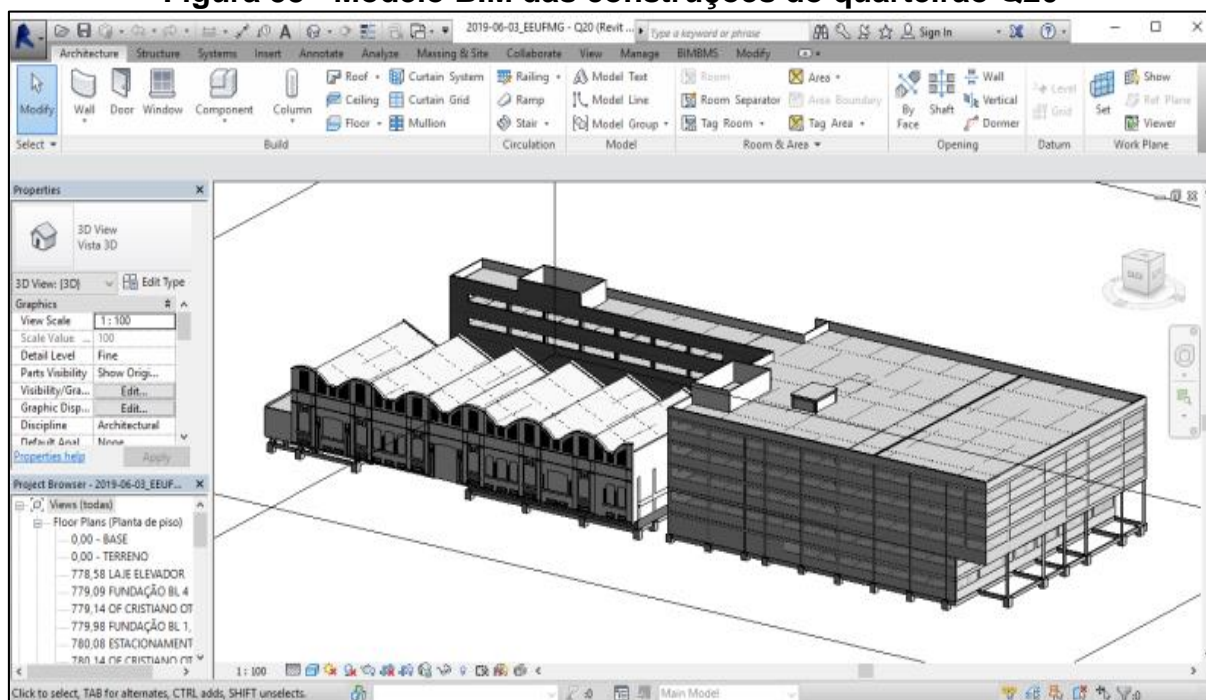


Fonte: Adaptado do projeto de reforma do complexo imobiliário da antiga EEUFMG - TRT.

A Figura 58 apresenta o modelo BIM dos edifícios que compõem o Quarteirão Q20 e fazem parte do complexo imobiliário que abrigava a antiga EEUFMG. Como apresentado anteriormente, esse quarteirão é composto por três edificações, a saber:

- a) Edifício de Estacionamento (antigo Edifício José Renault);
- b) Escola Judicial (antigas Oficinas Cristiano Otoni);
- c) Biblioteca (antigo Pavilhão Mário Werneck).

Figura 58 - Modelo BIM das construções do quarteirão Q20



Fonte: Adaptado do projeto de reforma do complexo imobiliário da antiga EEUFMG - TRT.

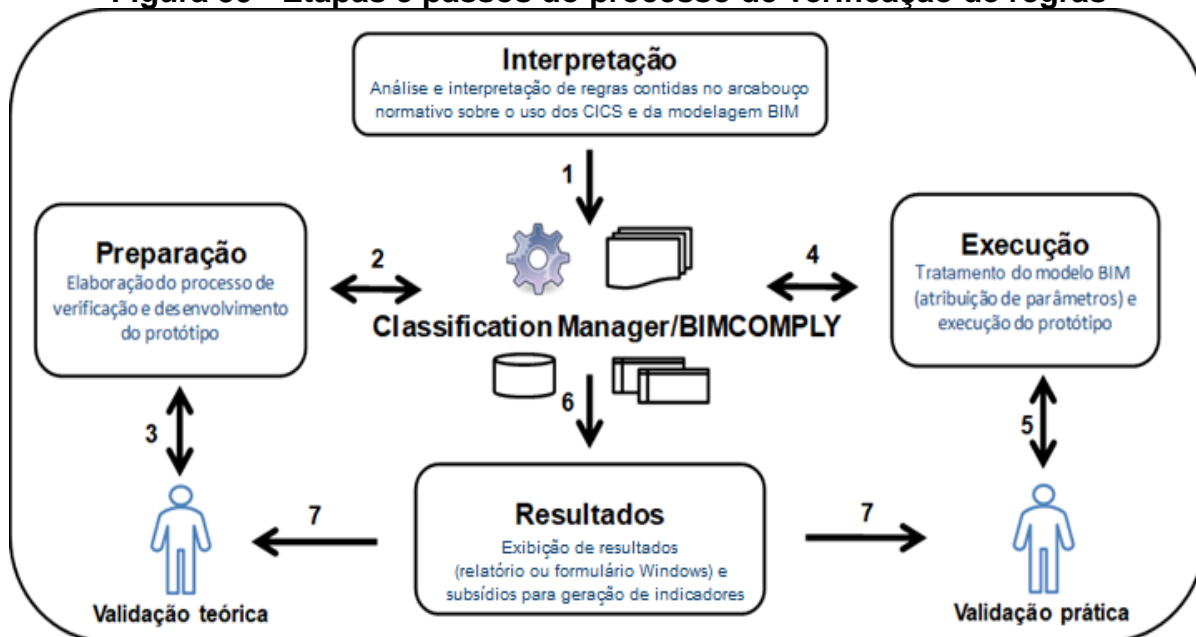
O modelo BIM criado para representar o complexo imobiliário que abrigava a antiga EEUFMG foi utilizado para realizar alguns testes de execução do protótipo implementado, como mostrado mais adiante. Uma das edificações que faz parte desse modelo BIM também foi utilizada isoladamente na execução dos testes com o protótipo. O protótipo foi implementado como um aplicativo de extensão para o *software* Revit, e recupera informação relativa ao uso de um CICS contida nos modelos BIM. Esses modelos precisaram então ter suas informações classificadas de acordo com o CICS brasileiro. Para isso, um tratamento preliminar para ajustar os modelos BIM foi necessário, como descrito a seguir. Vale reiterar que na formulação proposta, que tem como base um processo verificação de regras, após a criação dos modelos BIM, os passos para a etapa de Execução são o tratamento do modelo para viabilizar a realização dos testes e a execução propriamente dos testes com o protótipo, que utiliza o mecanismo de verificação automática de regras no modelo BIM. Em seguida, na etapa de Resultados, os resultados da verificação são exibidos em um relatório ou formulário que permite a realização de análises e avaliações.

4.6.3 Tratamento dos modelos BIM

A Figura 59 mostra um diagrama com as etapas e os passos de execução do processo de verificação de regras, conforme proposto na presente pesquisa. Ressalte-se que antes de iniciar o estudo de caso, os passos 1, 2 e 3 já tinham sido executados, pois representam o processo de desenvolvimento do protótipo. O passo 1 consistiu na análise do problema para a formulação de uma solução viável. O passo 2 envolveu a elaboração do protótipo, envolvendo sua concepção e implementação computacional. O protótipo consistiu em um sistema de informação, e foi desenvolvido de acordo com os artefatos previamente criados no passo 1, incluindo a análise realizada e a formulação de um processo a ser seguido para sua execução. Vale reiterar que protótipo foi implementado como um aplicativo de extensão (*add-in*) para o *software* ou plataforma BIM Revit.

A preparação do ambiente de *software* personalizado que faz parte do passo 3 consistem em configurar e utilizar o aplicativo *Classification Manager*, que aplica um sistema de classificação aos modelos BIM. A validação desse processo, que inclui o desenvolvimento do protótipo, a preparação do ambiente de *software* personalizado e os testes de implementação do protótipo, foi feita no passo 3. O passo 4, mostrado do lado direito da Figura 59, tem como entrada esses procedimentos e aplicativos a serem utilizados, bem como o modelo BIM a ser testado. Vale ressaltar que a etapa de execução do processo de verificação de regras, conforme mostrado na Figura 59, abrange os passos 4 e 5, sendo iniciado pelo tratamento preliminar dos modelos BIM, de acordo com os procedimentos de preparação do ambiente de *software*, como concebido no passo 3, e a aplicação da classificação dos modelos BIM. Depois disso o protótipo pode ser executado e o processo de verificação de regras é executado sobre os modelos BIM, como detalhado na subseção seguinte. Assim, o processo pode ser validado, conforme passo 5. Em seguida é executado o passo 6, que consiste na geração do relatório com os resultados das verificações, que são então avaliados para uma nova validação no passo 7, como mostrado na Figura 59.

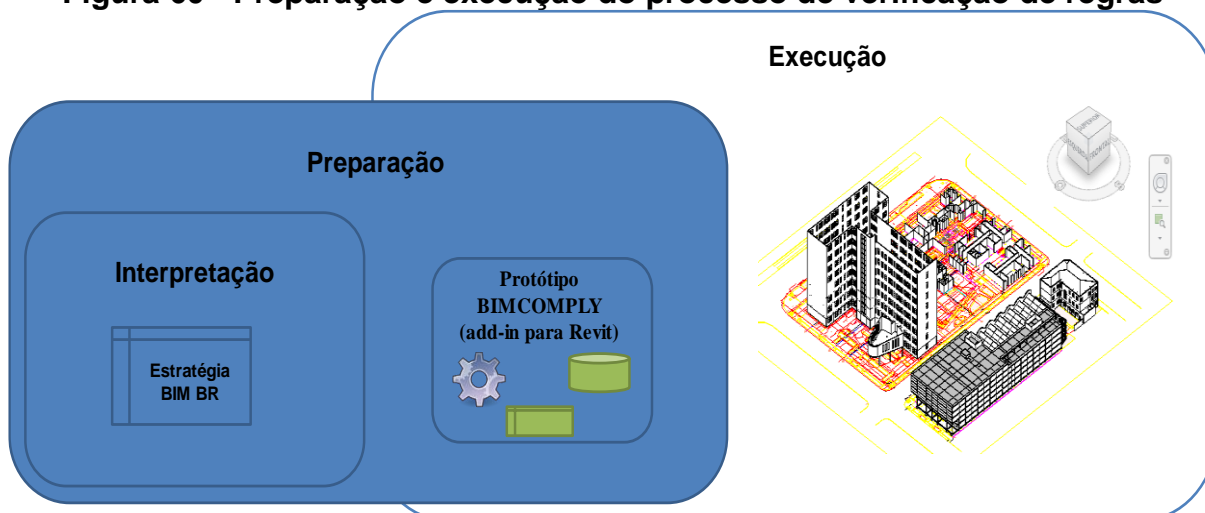
Figura 59 - Etapas e passos do processo de verificação de regras



Fonte: Elaborado pelo autor.

A transição entre as etapas de Preparação e de Execução do processo de verificação de regras formulado é mostrada na Figura 60. Nota-se que o protótipo é o elemento comum entre essas duas etapas. Dessa forma, na etapa de Preparação o protótipo foi concebido e implementado, e na etapa de Execução algumas configurações e tratamentos preliminares devem ser realizados antes da execução do protótipo, que realiza então a verificação de regras, mediante o processamento do mecanismo implementado sobre o modelo BIM previamente tratado.

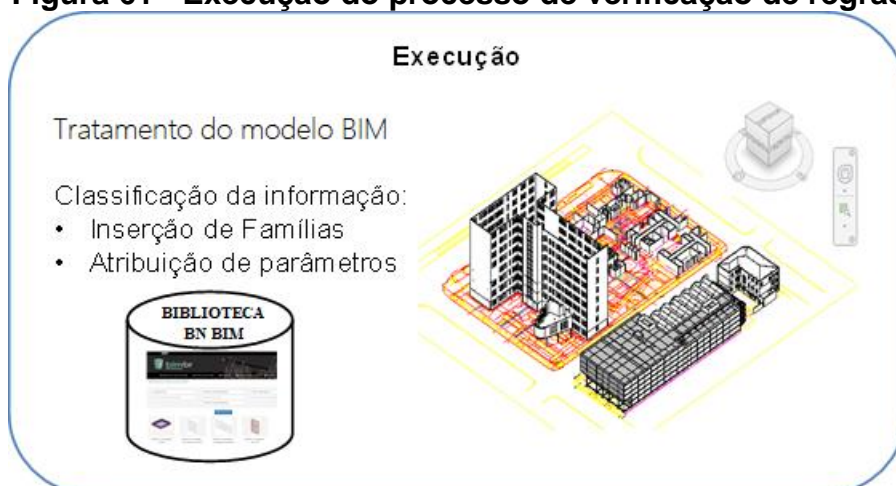
Figura 60 - Preparação e execução do processo de verificação de regras



Fonte: Elaborado pelo autor.

Algumas configurações são necessárias previamente à execução do protótipo, e envolvem uma série de procedimentos a serem feitos, tanto nos modelos BIM quanto no ambiente de *software* personalizado. Primeiramente, é feita a preparação do ambiente de *software*, que consiste na elaboração da planilha personalizada com o CICS a ser utilizado para classificar os modelos BIM e no seu carregamento no modelo a ser analisado. No estudo de caso, foi utilizada a planilha contendo o CICS brasileiro, definido pela ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), conforme apresentado anteriormente. Assim, o aplicativo de extensão *Autodesk Classification Manager for Revit*, ou simplesmente *Classification Manager*, deve estar instalado para que o CICS seja carregado e possibilite a atribuição de códigos de classificação aos modelos BIM.

Figura 61 - Execução do processo de verificação de regras

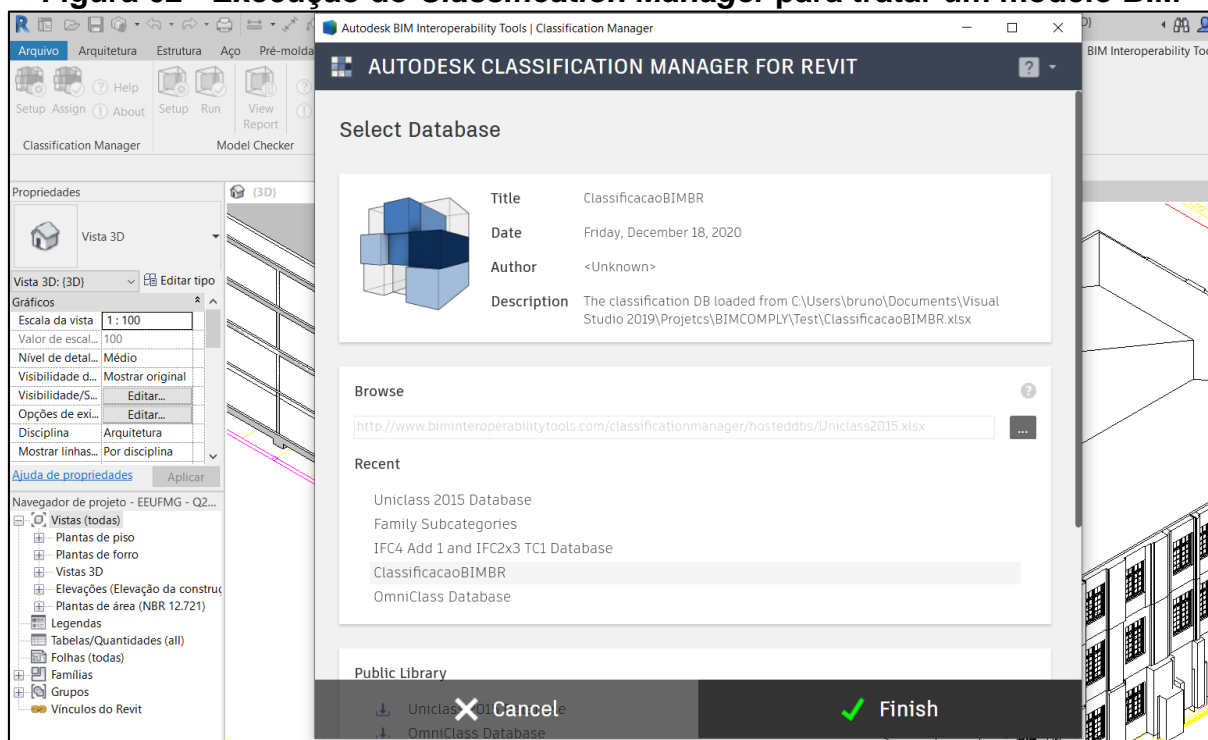


Fonte: Elaborado pelo autor.

Como mostrado na Figura 61, alguns tratamentos adicionais podem ser necessários, como a inserção ou o ajuste de famílias, a atribuição de parâmetros nos modelos. Ressalte-se que criação dos parâmetros a serem utilizados no estudo de caso e a aplicação das classificações é feita de forma automatizada, utilizando o aplicativo *Classification Manager*, como mostrado a seguir.

Para o tratamento preliminar do modelo BIM, é necessário carregar as configurações de um CICS. A Figura 62 mostra a tela executada para realizar o carregamento do CICS brasileiro com o uso do *Classification Manager*.

Figura 62 - Execução do *Classification Manager* para tratar um modelo BIM



Fonte: Elaborado pelo autor.

O pacote BIM *Interoperability Tools*, que contém o *Classification Manager* e consiste em um aplicativo de extensão para o Revit, adiciona dois botões à interface gráfica desse *software*, que acionam as funcionalidades de configuração (*Setup*) de um CICS e de atribuição (*Assign*) de códigos de classificação aos modelos BIM. Os passos para o carregamento do CICS brasileiro utilizando esse aplicativo são os seguintes:

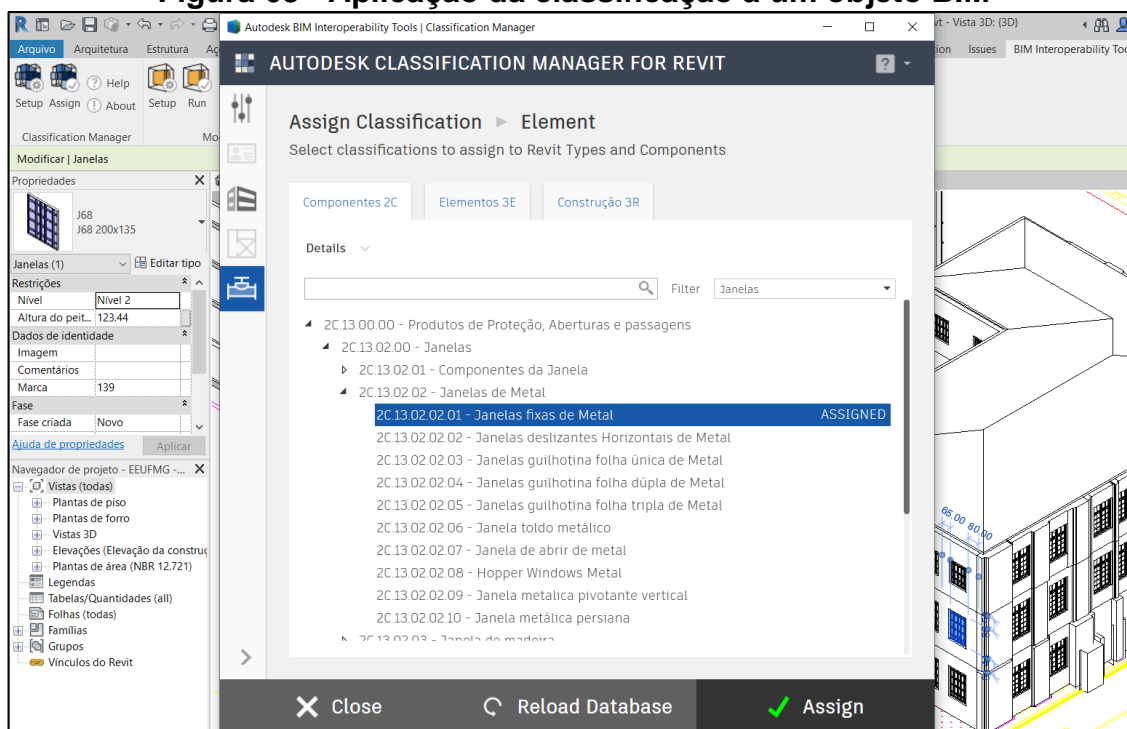
- a) com o modelo BIM aberto, aciona-se o botão de configuração do aplicativo *Classification Manager*;
- b) em seguida, seleciona-se a planilha eletrônica contendo as tabelas de classificação do CICS. Ressalte-se que a elaboração da planilha que especifica o CICS brasileiro foi detalhada anteriormente. Após selecionada a planilha contendo as tabelas do CICS brasileiro, aciona-se o botão de finalização (*Finish*) mostrado na Figura 62, que carrega esse sistema no modelo BIM;
- c) com isso, é feita a criação de alguns parâmetros de Tipo de Família, que podem ser atribuídos usando o botão de atribuição (*Assign*) do *Classification Manager*.

A atribuição de parâmetros aos objetos BIM via *Classification Manager* é feita da seguinte forma:

- seleciona-se um objeto BIM, por exemplo uma instância de uma Família de janela;
- com o objeto BIM selecionado no modelo, aciona-se o botão de atribuição (*Assign*) e a tela mostrada na Figura 63 é exibida;
- seleciona-se a classificação a ser atribuída ao objeto BIM, composta por um código e uma descrição;
- aciona-se o botão atribuir (*Assign*) da tela exibida.

A atribuição de parâmetros ao modelo BIM como um todo é feita de forma similar, mas sem a necessidade de selecionar o objeto BIM (item a).

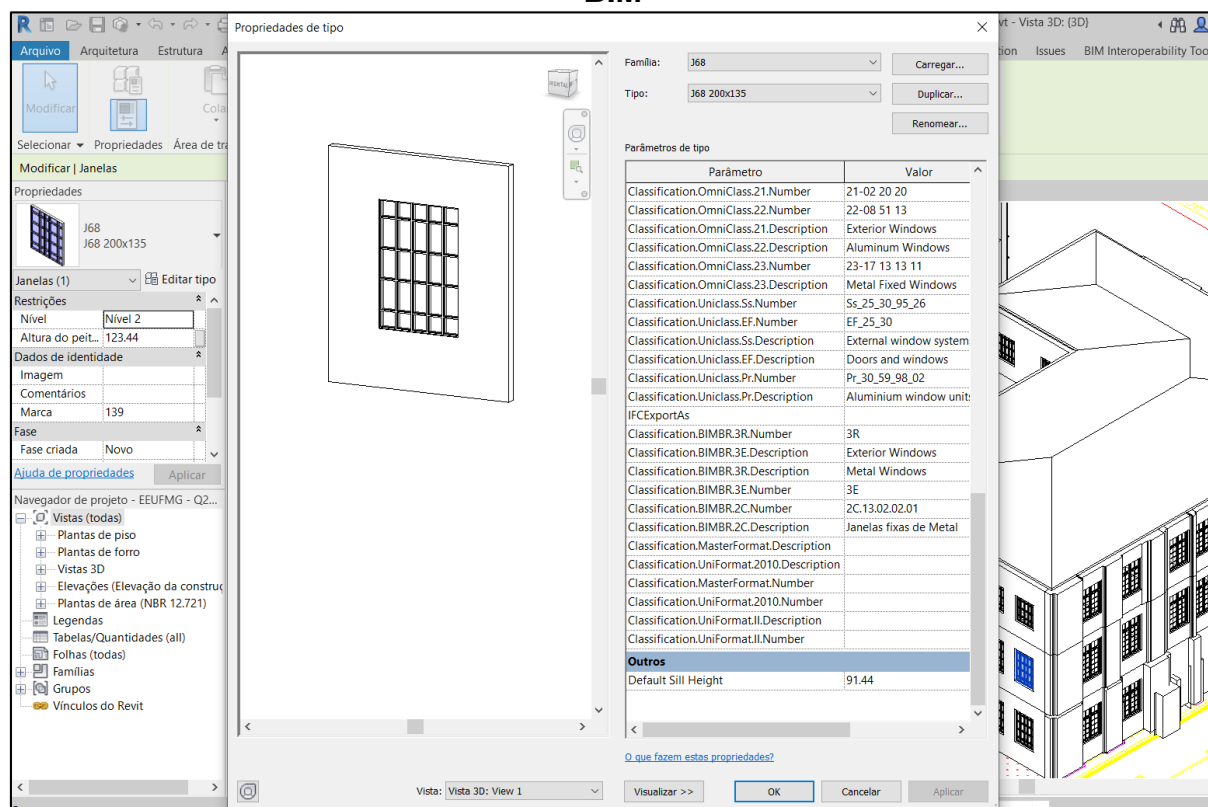
Figura 63 - Aplicação da classificação a um objeto BIM



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 64 mostra a visualização dos parâmetros atribuídos a um Tipo de Família, e se refere ao Tipo da janela selecionada. Nota-se que os parâmetros contêm os códigos e a descrições das classificações. Ressalte-se que múltiplas classificações podem ser feitas, tendo em vista o sistema de classificação facetado e a possibilidade de se utilizar mais de um CICS para classificar o mesmo modelo BIM.

Figura 64 - Visualização de códigos de classificação atribuídos a um objeto BIM



Fonte: Elaborado pelo autor.

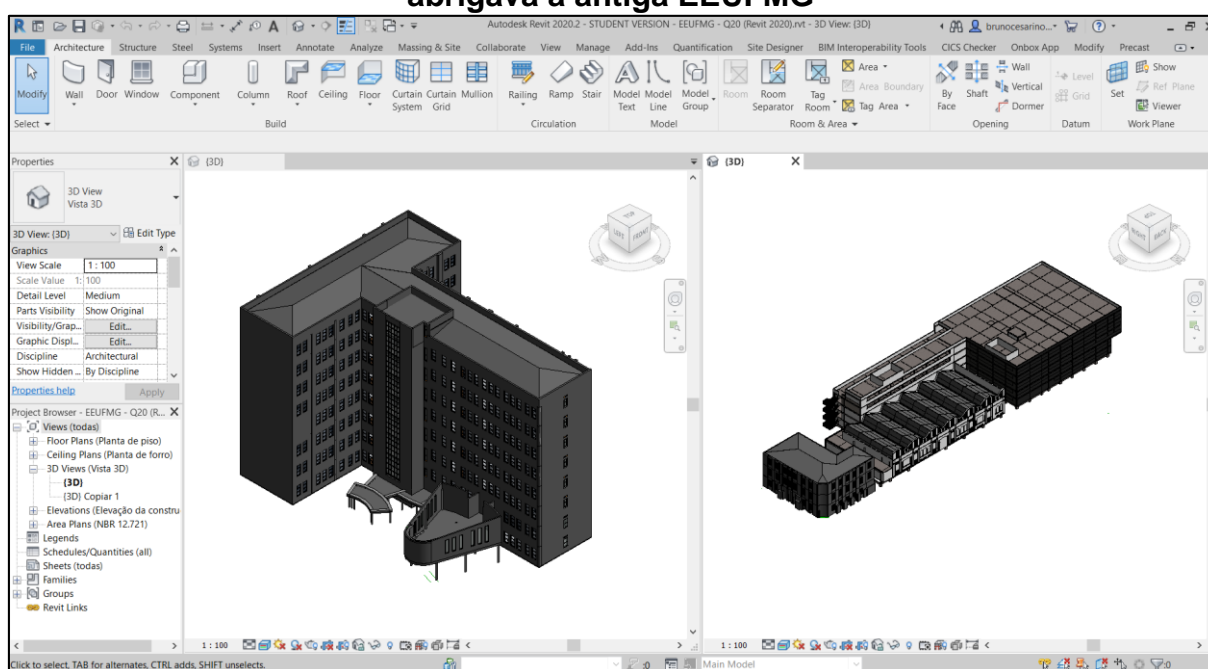
4.6.4 Execução do protótipo

Esta subseção apresenta os testes de execução do protótipo em modelos BIM da antiga EEUFMG. A execução do protótipo serviu para avaliar a sua implementação. O protótipo realiza um mecanismo de verificação de regras, que deve ser executado após a preparação dos modelos BIM, seguindo o processo formulado e adotado na presente pesquisa e detalhado anteriormente. Na subseção anterior foi mostrado o tratamento preliminar dos modelos BIM, realizado mediante o uso do aplicativo *Classification Manager*. Após o esse tratamento, o protótipo é executado, e o mecanismo de verificação de regras permite uma análise dos modelos BIM com relação ao uso de um CICS, como mostrado a seguir.

Os testes de execução do protótipo foram feitos mediante o uso de modelos BIM elaborados a partir do projeto de reforma e adaptação do complexo imobiliário da antiga EEUFMG, cuja criação e adaptação foi detalhada anteriormente e que foram previamente tratados e classificados utilizando o CICS brasileiro, definido pela ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

Com esses modelos BIM tratados e o ambiente de *software* configurado, o estudo realizado utilizou o protótipo, que implementa um mecanismo de verificação de regras, para recuperar automaticamente informações contidas nesses modelos, que são os códigos de classificação do CICS brasileiro. Assim, partir das informações recuperadas são gerados quantitativos de objetos BIM classificados que podem subsidiar a geração de indicadores da qualidade da informação armazenada nos modelos BIM. Assim, as informações contidas nos modelos BIM, que foram recuperadas e processadas pela verificação de regras, resultam em novas informações, que precisam ser tratadas e organizadas para viabilizar a análise. A Figura 65 apresenta os modelos BIM usados nos testes de execução do protótipo.

Figura 65 - Modelos BIM do projeto de reforma do complexo imobiliário que abrigava a antiga EEUFMG

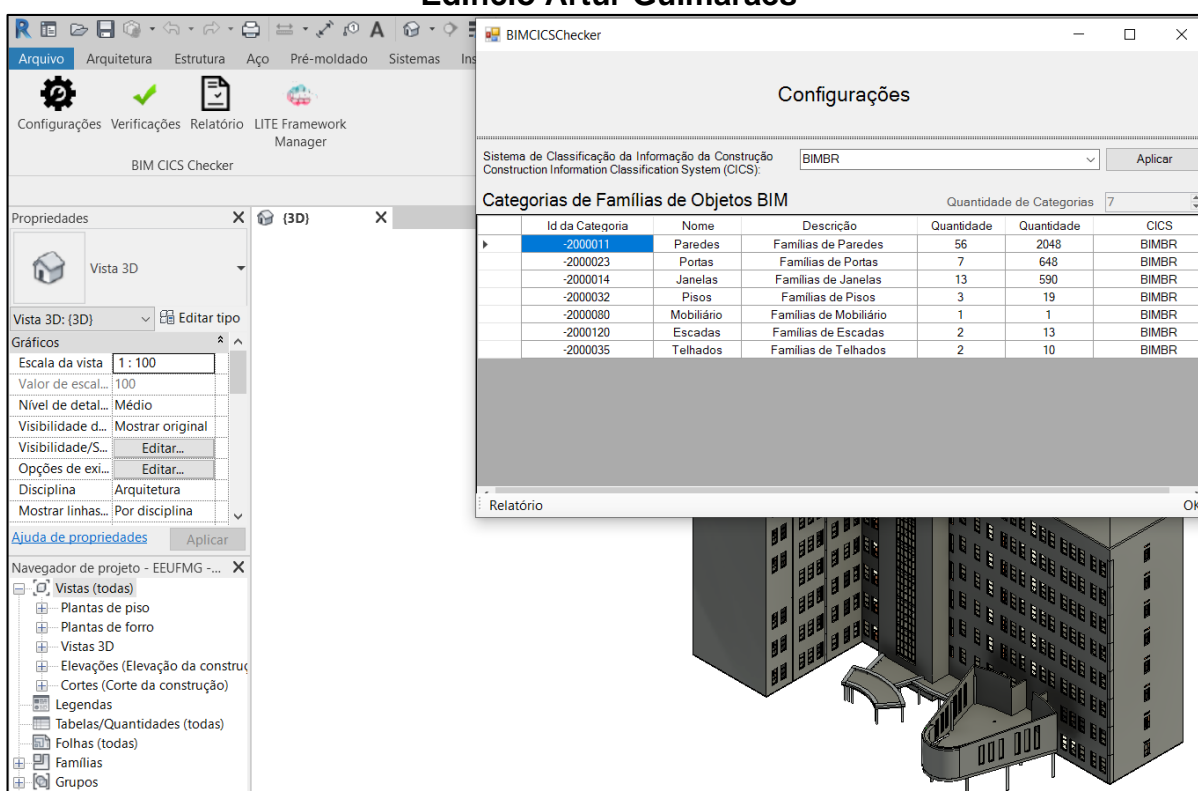


Fonte: Adaptado do projeto de reforma do complexo imobiliário da antiga EEUFMG - TRT.

O modelo BIM mostrado do lado esquerdo da Figura 65 se refere ao Edifício Artur Guimarães, situado no Quarteirão 26 do complexo imobiliário que abrigava a antiga EEUFMG. Ao lado direito da Figura 65 pode-se ver um modelo BIM composto por três edificações, situadas no Quarteirão 20 desse complexo imobiliário. A construção do Q20 contém um edifício de estacionamento (antigo Edifício José Renault), um edifício com a previsão para ser usado pela Escola Judicial (antigas Oficinas Cristiano Otoni) e outro edifício concebido para abrigar a Biblioteca (antigo Pavilhão Mário Werneck).

As Figura 66 e 67 apresentam telas do protótipo executado sobre o modelo BIM do Edifício Artur Guimarães. Na Figura 66 é mostrado o formulário de Configurações, que é exibido ao acionar o botão “Configurações” do menu do protótipo que foi desenvolvido como um aplicativo de extensão (*add-in*) para o *software* Revit, chamado BIM *CICS Checker*. O formulário de “Configurações” devem ser a primeira funcionalidade a ser executada e permite a seleção do CICS a ser utilizado na análise.

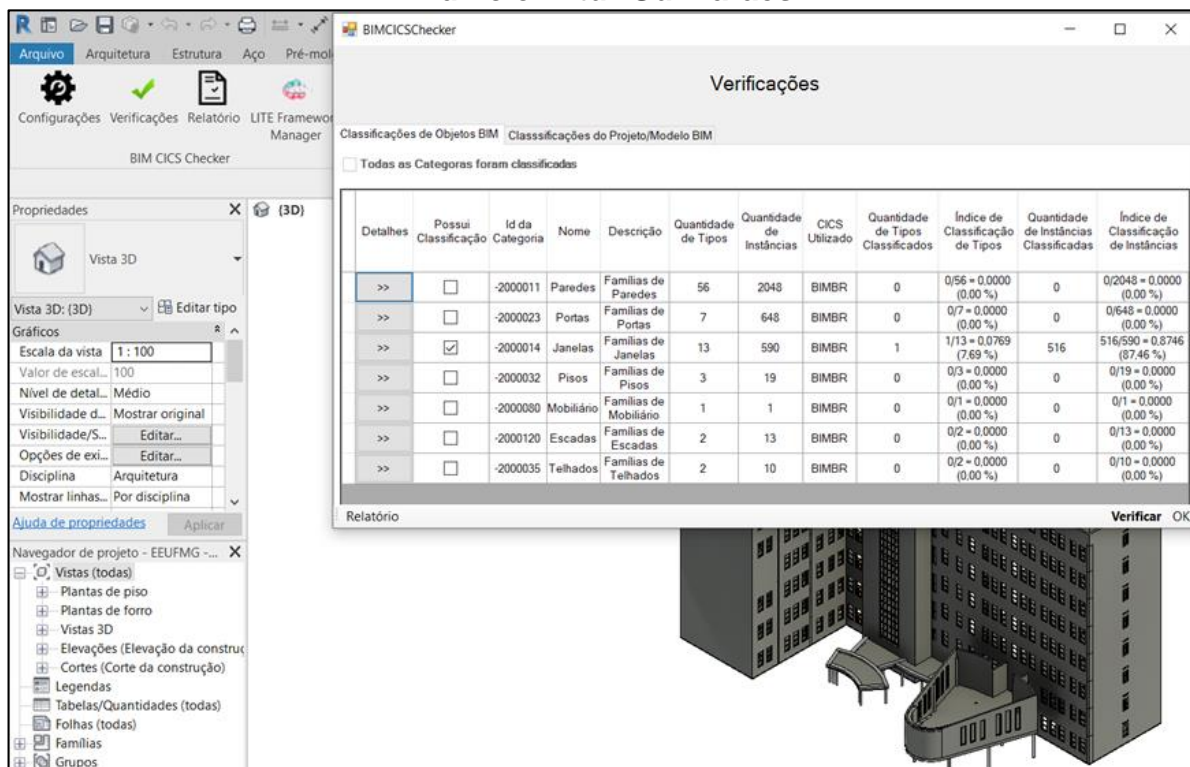
Figura 66 - Tela de configurações do protótipo executado no modelo BIM do Edifício Artur Guimarães



Fonte: Elaborado pelo autor.

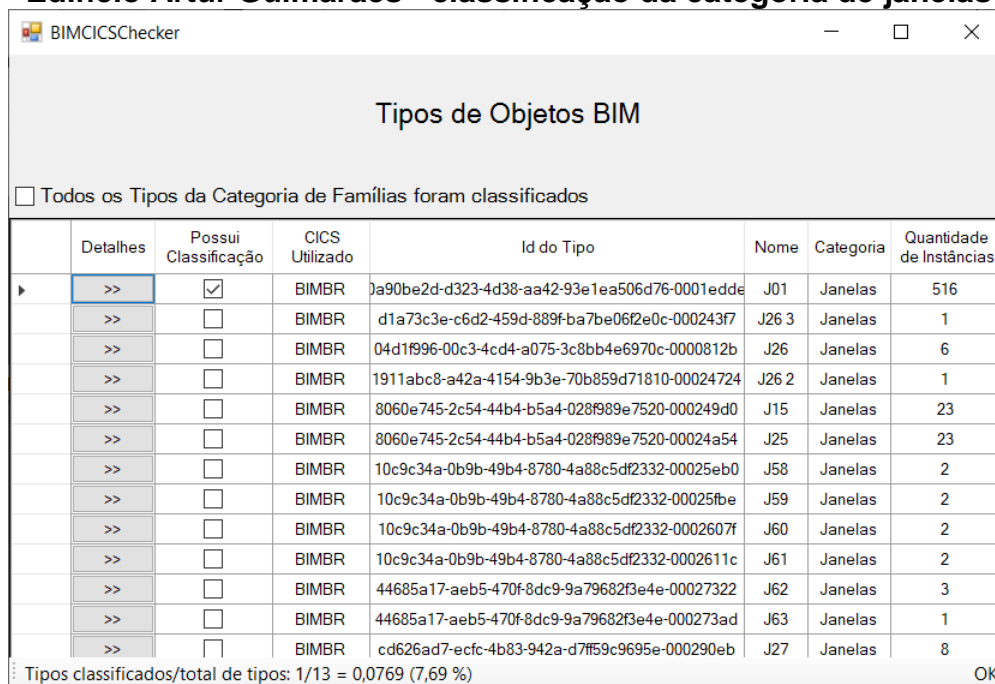
Na Figura 67 é mostrado o formulário exibido ao acionar o botão “Verificações” do menu do aplicativo BIM *CICS Checker*. Esse formulário contém uma lista com as Categorias de Família analisadas pelo protótipo. Os botões da coluna chamada “Detalhes”, exibidos no lado esquerdo de cada linha da tabela, permitem a exibição de outro formulário, que mostra o detalhamento da análise executada sobre cada Categoria de Famílias. Um exemplo desse formulário é mostrado na Figura 68.

Figura 67 - Tela de verificações do protótipo executado no modelo BIM do Edifício Artur Guimarães



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 68 - Tela de verificações do protótipo executado no modelo BIM do Edifício Artur Guimarães - classificação da categoria de janelas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 68 é exibida a classificação da Categoria de Famílias de “Janelas”. Nota-se que há apenas um Tipo dessa Categoria de Família classificado entre os 13 tipos existentes no modelo BIM em análise. Entre todas as Famílias de Janelas utilizadas pelo modelo BIM do Edifício Artur Guimarães, 516 instâncias foram classificadas e todas elas são do Tipo de Família de Janelas denominado “J01”. As demais não possuem classificação.

Na Figura 69 é mostrado um formulário com detalhes da classificação do Tipo de Família de janela “J01”. Esse formulário é exibido após o acionamento do botão da coluna de “Detalhes” da linha correspondente ao Tipo de Família de janela “J01”, como destacado na Figura 68. Nota-se a existência de classificações para os códigos 2C, 3E e 3R. Vale ressaltar que os valores das classificações exibidos foram atribuídos a esse Tipo de Família por meio do aplicativo *Classification Manager*, que utilizou a planilha personalizada para o CICS brasileiro, conforme detalhado anteriormente.

Figura 69 - Tela de verificações do protótipo executado no modelo BIM do Edifício Artur Guimarães - classificação de um tipo de família de janelas

Códigos de Classificação	Tabelas
<input checked="" type="checkbox"/> Componentes (BIMBR/NBR 15965-4) Construction Products (ISO 12006-2)	2C (BIMBR/NBR 15965-4) A.3 (ISO 12006-2) 23 (OmniClass) Pr (Uniclass)
<input checked="" type="checkbox"/> Elementos (BIMBR/NBR 15965-5) Construction Elements (ISO 12006-2)	3E (BIMBR/NBR 15965-5) A.11 (ISO 12006-2) 21 (OmniClass) EF (Uniclass)
<input checked="" type="checkbox"/> Resultados (BIMBR/NBR 15965-5) Work Results (ISO 12006-2)	3R (BIMBR/NBR 15965-5) A.12 (ISO 12006-2) 22 (OmniClass) Não se aplica (Uniclass)

CICS utilizado: BIMBR

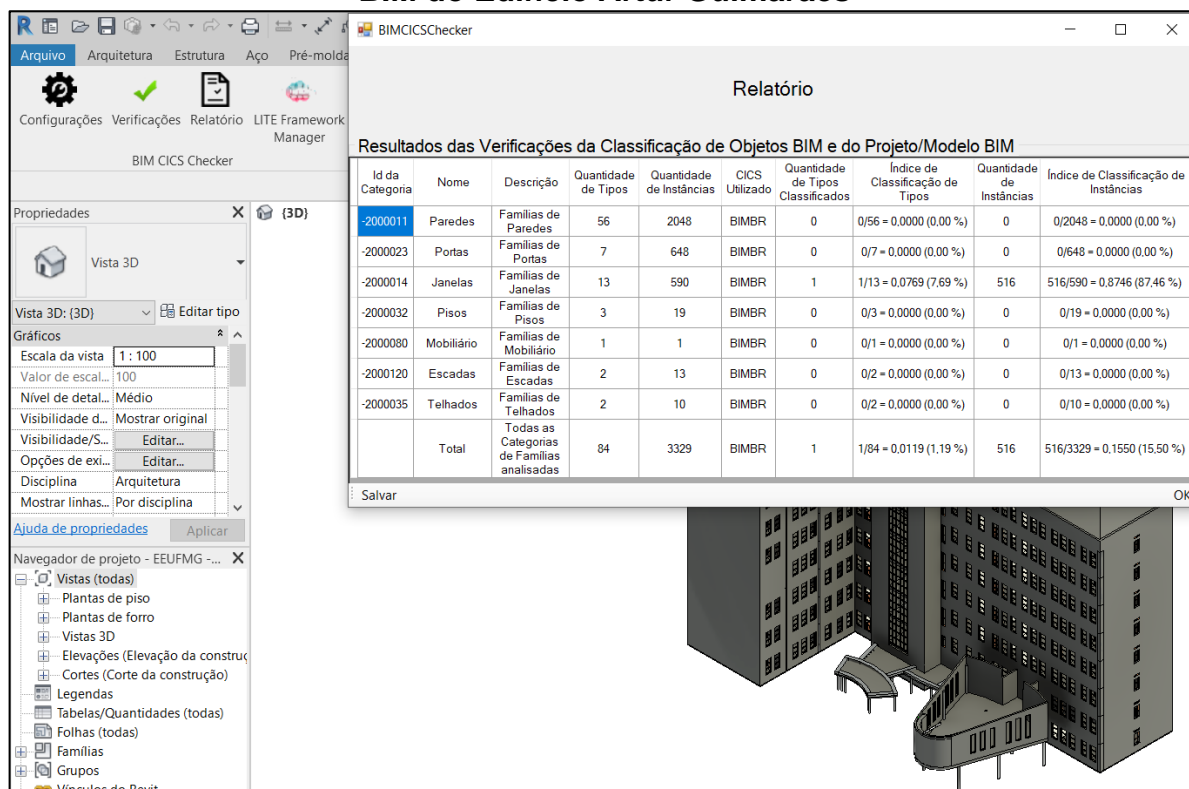
Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelas Figuras 70, 71 e 72, nota-se que o modelo BIM analisado possui 516 instâncias de Famílias de Janelas classificadas, e a quantidade total de instâncias de Famílias de janelas do modelo é 590. Assim, tem-se o percentual de 87,46 % (516/590) das instâncias de janelas classificadas. Caso sejam considerados os Tipos

de Família ao invés das instâncias, esse percentual equivale a aproximadamente 7,69 % (1/13). Ressalte-se que esses percentuais podem ser utilizados para subsidiar a geração de indicadores, que ao medirem um nível de aderência do modelo ao uso de um CICS, fornecem uma forma de avaliar a qualidade da informação dos modelos BIM.

Na Figura 70 é exibida a tela contendo os resultados das de verificações do protótipo executado no modelo BIM do Edifício Artur Guimarães. O formulário é exibido quando se aciona o botão “Relatório” do menu do aplicativo BIM CICS Checker. Esse formulário também pode ser acessado por meio do acionamento de botões existentes nos formulários de configurações e de verificações. Entretanto, para que o relatório contenha resultados válidos e atualizados ele deve ser executado depois do acionamento do comando “Verificações”.

Figura 70 - Tela de relatório de verificações do protótipo executado no modelo BIM do Edifício Artur Guimarães



Relatório

Resultados das Verificações da Classificação de Objetos BIM e do Projeto/Modelo BIM

Id da Categoria	Nome	Descrição	Quantidade de Tipos	Quantidade de Instâncias	CICS Utilizado	Quantidade de Tipos Classificados	Índice de Classificação de Tipos	Quantidade de Instâncias	Índice de Classificação de Instâncias
-2000011	Paredes	Famílias de Paredes	56	2048	BIMBR	0	0/56 = 0,0000 (0,00 %)	0	0/2048 = 0,0000 (0,00 %)
-2000023	Portas	Famílias de Portas	7	648	BIMBR	0	0/7 = 0,0000 (0,00 %)	0	0/648 = 0,0000 (0,00 %)
-2000014	Janelas	Famílias de Janelas	13	590	BIMBR	1	1/13 = 0,0769 (7,69 %)	516	516/590 = 0,8746 (87,46 %)
-2000032	Pisos	Famílias de Pisos	3	19	BIMBR	0	0/3 = 0,0000 (0,00 %)	0	0/19 = 0,0000 (0,00 %)
-2000080	Mobiliário	Famílias de Mobiliário	1	1	BIMBR	0	0/1 = 0,0000 (0,00 %)	0	0/1 = 0,0000 (0,00 %)
-2000120	Escadas	Famílias de Escadas	2	13	BIMBR	0	0/2 = 0,0000 (0,00 %)	0	0/13 = 0,0000 (0,00 %)
-2000035	Telhados	Famílias de Telhados	2	10	BIMBR	0	0/2 = 0,0000 (0,00 %)	0	0/10 = 0,0000 (0,00 %)
	Total	Todas as Categorias de Famílias analisadas	84	3329	BIMBR	1	1/84 = 0,0119 (1,19 %)	516	516/3329 = 0,1550 (15,50 %)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma análise de todo o modelo, considerando as sete Categorias de Família compreendidas pelo protótipo, pode ser vista na Figura 70. Nota-se o percentual de 15,50 % (516/3329) das instâncias de Famílias classificadas e de 1,19 % (1/84) dos

Tipos de Família classificados nesse modelo BIM. Nota-se, novamente, que esses percentuais podem subsidiar a geração de indicadores, e com isso permitir avaliar a qualidade da informação recuperada dos modelos BIM, que neste caso se referem ao uso de um CICS. Ressalte-se ainda que essas medições podem ser realizadas ao longo do ciclo de vida do ambiente construído. No protótipo implementando, esses dados, que se referem a medições realizadas nos modelos BIM, são representados por objetos da classe *Measurement*, e ficam armazenados como atributos dos objetos da classe que representa um Passo ao longo do Fluxo de Informação (*InformationFlowStep*). Utilizando esse procedimento, os resultados da verificação do modelo BIM que representa o Edifício Artur Guimarães foram analisados e salvos dentro do próprio modelo, como pode ser visto na Figura 71.

Figura 71 - Tela de salvamento das medições em um passo ao longo do ciclo de vida do modelo BIM do Edifício Artur Guimarães

The screenshot shows the BIMCICSChecker application window with a 'Relatório' (Report) window open. The report window displays the following table:

Índice de Classificação de Tipos	Quantidade de Instâncias	Índice de Classificação de Instâncias
0,0000 (0,00 %)	0	0/2048 = 0,0000 (0,00 %)
0,0000 (0,00 %)	0	0/648 = 0,0000 (0,00 %)
0,0769 (7,69 %)	516	516/590 = 0,8746 (87,46 %)
0,0000 (0,00 %)	0	0/19 = 0,0000 (0,00 %)
0,0000 (0,00 %)	0	0/1 = 0,0000 (0,00 %)
0,0000 (0,00 %)	0	0/13 = 0,0000 (0,00 %)
0,0000 (0,00 %)	0	0/10 = 0,0000 (0,00 %)
0,0119 (1,19 %)	516	516/3329 = 0,1550 (15,50 %)

The 'LITeManager' dialog box is open, showing 'Detalhes do Passo' (Step Details) for step 2. The description is 'Verificação do uso do CICS BIMBR'. Below the dialog, a table shows the results for three measurement categories:

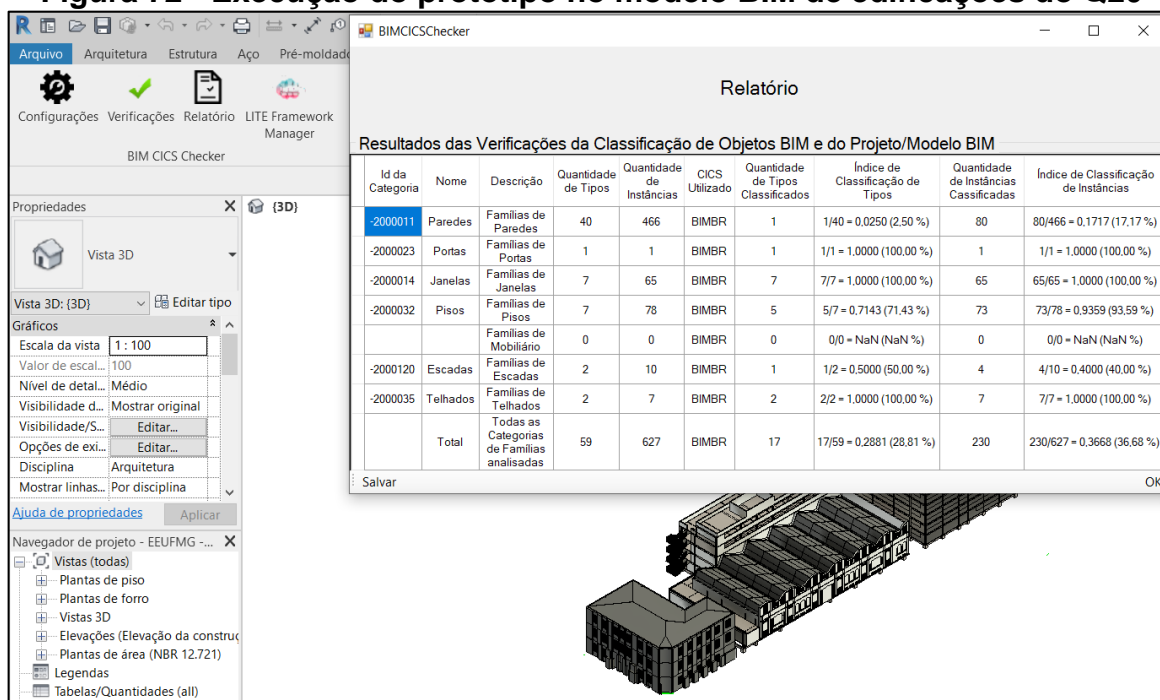
Nome	Descrição	Conteúdo	Critério	Observação
Medição da Categoria de Famílias: Escadas - Id: -2000120	Verificação da classificação de Objetos BIM da Categoria de Famílias: Famílias de Escadas.	Quantidade de Tipos: 2; Índice de Classificação de Tipos: 0,0000 Quantidade de Instâncias: 13. Índice de Classificação de Instâncias: 0,0000	Uso do CICS BIMBR	Índice de Classificação de Tipos = Quantidade de Tipos Classificados/Quantidade de Tipos = 0/2 = 0,0000 (0,00 %) Índice de Classificação de Instâncias = Quantidade de Instâncias Classificadas/Quantidade de Instâncias = 0/13 = 0,0000 (0,00 %)
Medição da Categoria de Famílias: Telhados - Id: -2000035	Verificação da classificação de Objetos BIM da Categoria de Famílias: Telhados.	Quantidade de Tipos: 2; Índice de Classificação de Tipos: 0,0000 Quantidade de Instâncias: 10. Índice de Classificação de Instâncias: 0,0000	Uso do CICS BIMBR	Índice de Classificação de Tipos = Quantidade de Tipos Classificados/Quantidade de Tipos = 0/2 = 0,0000 (0,00 %) Índice de Classificação de Instâncias = Quantidade de Instâncias Classificadas/Quantidade de Instâncias = 0/10 = 0,0000 (0,00 %)
Medição de todas as Categorias de Famílias	Verificação da classificação de Objetos BIM de todas as Categorias de Famílias analisadas.	Quantidade total de Tipos: 84; Índice de Classificação de Tipos: 0,0119 Quantidade total de Instâncias: 3329; Índice de Classificação de Instâncias: 0,1550	Uso do CICS BIMBR	Índice de Classificação de Tipos = Quantidade de Tipos Classificados/Quantidade de Tipos = 1/84 = 0,0119 (1,19 %) Índice de Classificação de Instâncias = Quantidade de Instâncias Classificadas/Quantidade de Instâncias = 516/3329 = 0,1550 (15,50 %)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Seguindo o mesmo procedimento descrito anteriormente para analisar o modelo BIM do Edifício Artur Guimarães, o protótipo foi executado sobre o modelo BIM do Quarteirão Q20. A Figura 72 mostra os resultados da verificação do uso do CICS brasileiro feita no modelo BIM desse quarteirão. A análise considerou todas as três edificações desse modelo, que são o edifício de estacionamento, o edifício

previsto para abrigar a Escola Judicial do e o edifício que será a Biblioteca. Nota-se que os percentuais obtidos nessa análise são 36,68 % (230/627) das instâncias de Famílias classificadas e 28,81 % (17/59) dos Tipos de Família classificados nesse modelo BIM.

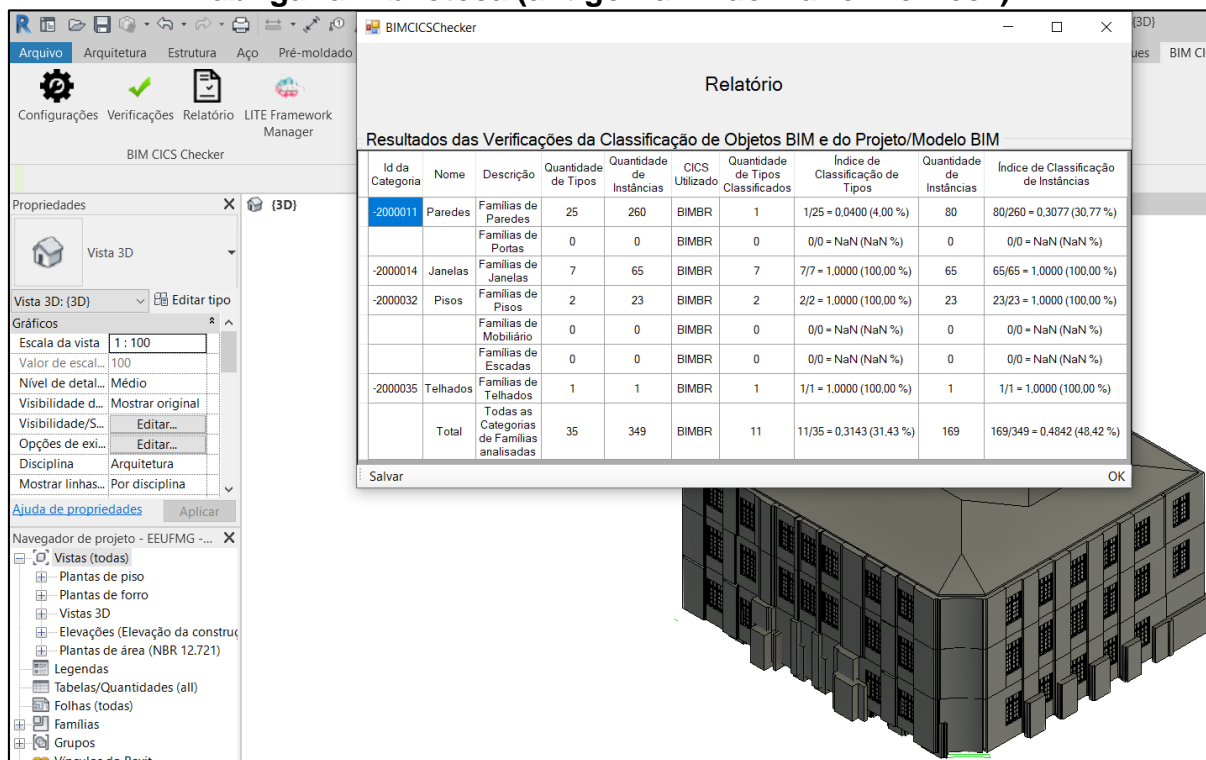
Figura 72 - Execução do protótipo no modelo BIM de edificações do Q20



Fonte: Elaborado pelo autor.

Também foi analisado um modelo BIM contendo apenas o edifício concebido para abrigar a Biblioteca (antigo Pavilhão Mário Werneck). Os resultados da verificação da existência de códigos de classificação do CICS brasileiro nesse modelo BIM podem ser vistos na Figura 73. Assim, os percentuais obtidos a partir da análise desses resultados são 48,42 % (169/349) das instâncias de Famílias classificadas e 31,43 % (11/35) dos Tipos de Família classificados nesse modelo BIM.

Figura 73 - Execução do protótipo no modelo BIM do edifício concebido para abrigar a Biblioteca (antigo Pavilhão Mário Werneck)



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6.5 Resultados e avaliação

A partir da questão de pesquisa, que propões uma busca para avaliar como o uso da modelagem BIM pode melhorar a qualidade da informação, da gestão e da organização da informação e do conhecimento sobre o ambiente construído, uma solução teórica foi formulada. A formulação consistiu em um procedimento para analisar e medir a informação contida em modelos BIM e desenvolvida como um protótipo computacional. Os principais artefatos criados ao longo desse desenvolvimento foram o método de solução proposto, a concepção e a implementação do protótipo, que é uma versão simplificada de um sistema de *software* desenvolvido como um aplicativo de extensão para a plataforma BIM do Revit. Ao longo da pesquisa foram identificados trabalhos relevantes, que complementaram o embasamento científico e reforçaram a necessidade prática de construção desses artefatos. Os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa avançaram pelos estágios de diagnóstico, concepção e implementação, no contexto da abordagem Action Design Research (ADR) e do modelo de processo proposto por Mullarkey e Hevner (2019). Após a

implementação do protótipo, um estudo de caso foi realizado para validar a formulação. O estudo consistiu na execução do protótipo sobre modelos BIM que representam partes do complexo imobiliário da antiga Escola de Engenharia da UFMG (EEUFMG), cujos resultados são apresentados a seguir.

Após a criação e o tratamento preliminar dos modelos BIM, foi realizado um processo de verificação de regras utilizando o protótipo desenvolvido. As regras verificadas foram obtidas a partir da especificação do CICS brasileiro. Vale reiterar que foram utilizados no experimento realizado alguns códigos de classificação provenientes de tabelas do sistema OmniClass. Ressalte-se, ainda, que não foi avaliado se o uso dos códigos de classificação estava correto, mas somente se existiam esses códigos. Os resultados das execuções do protótipo, decorrentes do processo de verificação automática de regras sobre três modelos BIM que representam partes do ambiente construído do complexo imobiliário da antiga EEUFMG, são apresentados na Tabela 3. Os resultados mostrados nessa tabela são dados referentes à quantidade de objetos BIM classificados em cada modelo BIM, e cobrem tanto as Instâncias de Famílias quanto os Tipos de Famílias existentes nos modelos, levando a percentuais de classificação.

Tabela 3 - Resultados da execução do protótipo

Modelo BIM	Instâncias de Famílias			Tipos de Famílias		
	Classificadas	Total	Percentual de classificação	Classificados	Total	Percentual de classificação
Edifício Artur Guimarães	516	3.329	15,50%	1	84	1,19%
Construções do Quarteirão Q20	230	627	36,68%	17	59	28,81%
Biblioteca (antigo Pavilhão Mário Werneck)	169	349	48,42%	11	35	31,43%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por meio da análise desses resultados, a interpretação desses dados leva a uma informação útil para avaliar aspectos de qualidade desses modelos BIM. Assim, os percentuais de classificação identificados podem gerar pelo menos duas métricas que têm como base o uso de um CICS nos objetos BIM: uma que mede a quantidade de Instâncias de Famílias e outra, a quantidade de Tipos de Família que estavam classificadas nos modelos BIM no momento da verificação. Essas medições podem,

portanto, ser consideradas em uma avaliação de aderência ao uso de um CICS ou, no caso do sistema de classificação brasileiro, que é normalizado pela ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), de conformidade normativa. Essa informação pode, ainda, subsidiar a geração de alguns indicadores e sua coleta sistemática, ao serem coletadas de maneira sistemática durante as fases de desenvolvimento de projetos e de execução das obras e serviços. Com isso, pode-se ajudar a acompanhar a qualidade da informação durante todo o ciclo de vida do ambiente construído.

Os resultados mostrados na Tabela 3 foram exibidos pelo protótipo em uma tela ou formulário *Windows*, que faz parte do aplicativo implementado, como detalhado anteriormente. Esses resultados também foram salvos como medições em um passo do ciclo de vida do modelo BIM, que representa um ativo digital, no contexto do LITE *Framework* (SUCCAR; PIRIER, 2020). Vale reiterar que esse arcabouço (*framework*) foi implementado computacionalmente e incorporado ao protótipo para orientar sua execução. Ele apresenta uma estrutura para acompanhamento da informação sobre os ativos que fazem parte do ambiente construído ao longo de seu ciclo de vida. Oito marcos temporais, chamados Marcos de Informação, integram a estrutura desse *framework*, e suas transições representam o que os autores chamam de Ações de Informação. A execução de uma dessas ações é chamada de Passo. Os passos são então percorridos ao longo do ciclo de vida dos ativos, e são eles que armazenam as medições, no contexto do protótipo desenvolvido.

Considerando que a implementação computacional do protótipo seguiu procedimentos metodológicos encontrados na literatura, com base no conhecimento proveniente de estudos previamente realizados; que os novos conhecimentos surgidos ao longo do desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa foram registrados e incorporados na formulação; e que os testes de execução do protótipo se mostraram pertinentes com relação ao propósito da pesquisa, foi conferida uma validação aos artefatos criados e à formulação proposta. A relevância prática do estudo de caso também se destaca, pois os modelos BIM utilizados refletem o estado de um projeto de construção e reforma real. Com isso considera-se que os procedimentos adotados levaram até a entrada no estágio de evolução da abordagem ADR. Novas versões do protótipo poderão ser então implementadas, bem como ajustes ou melhorias nos artefatos produzidos nos estágios anteriores de diagnóstico, concepção e implementação.

5 DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem da informação da construção (BIM) abrange, além da geometria dos componentes construtivos, diversas características e propriedades dos ativos que fazem parte do ambiente construído, dos processos construtivos e da infraestrutura que os suporta. Com o uso dessa metodologia de modelagem, diversas informações são geradas, tratadas, recuperadas e utilizadas, sejam elas sobre a modelagem tridimensional dos projetos, sobre os processos construtivos e obras de execução, ou mesmo sobre a operação e a manutenção dos ativos que compõem o ambiente construído. Grande parte dessas informações podem ser recuperadas a partir dos modelos BIM, que funcionam, então, como bases de dados ou repositórios de informações. As informações contidas nesses modelos precisam ser organizadas e tratadas para que possam ser recuperadas, processadas e utilizadas de forma eficiente. Assim, o gerenciamento do ciclo de vida do ambiente construído utilizando a modelagem BIM se alinha ao uso de um sistema de informação sobre os ativos da construção.

A área de arquitetura, engenharia e construção (AEC), que é o segmento da indústria em que se executam os processos de modelagem BIM, utiliza tradicionalmente sistemas de classificação da informação da construção (CICS) para se organizar. O uso desses sistemas, entretanto, não é padronizado porque existem especificidades em cada projeto e organização, ou mesmo diferenças regionais ou nacionais. Nesse contexto, a especificação de um CCIS padronizado foi uma das medidas adotadas no Brasil. Esse sistema de classificação, definido pela norma ABNT NBR 15965 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), se propõe a funcionar como uma base para a adoção da modelagem BIM nacionalmente e se insere na estratégia nacional de disseminação da modelagem BIM, a Estratégia BIM BR (BRASIL, 2018; 2019; 2020). Vale ressaltar que os processos de adoção, implementação e uso da modelagem BIM se integram e interoperam com diversos outros sistemas de informação e processos organizacionais.

Tendo em vista esse cenário, a pesquisa realizada abrangeu a formulação de uma solução teórica, que foi concebida, implementada e executada em um estudo prático. Os procedimentos adotados levaram a discussões que orientaram o desenvolvimento de um protótipo de uma aplicação computacional que foi validado em um estudo de caso. A partir da questão de pesquisa, buscou-se uma solução para

melhorar a qualidade da informação, da gestão e da organização da informação e do conhecimento sobre o ambiente construído, tendo em vista o problema identificado, que evidencia a necessidade de utilização eficiente da tecnologia disponível. A pesquisa foi conduzida, primeiramente, a partir de uma revisão da literatura abrangendo os aspectos da gestão, organização, tratamento e recuperação da informação, tendo em vista sua aplicação na área de AEC. A investigação procurou formar, com isso, uma fundamentação teórico-conceitual para compreender esses processos e identificar medidas, avaliações e formas de monitorar a qualidade da informação no contexto da modelagem BIM e do uso de um CICS.

A pesquisa compreendeu um estudo sobre os CICS, em especial o sistema brasileiro. Documentos que fazem parte do arcabouço regulatório brasileiro sobre o uso da modelagem BIM foram analisados. Como parte desses documentos faz referência a normas, padrões e práticas internacionais, o uso da modelagem BIM foi estudado tendo em vista tanto o cenário nacional quando o internacional. Identificou-se que existem algumas medidas do nível de desenvolvimento, detalhamento e acurácia da informação em modelos BIM. Entretanto, não há um critério único e bem definido para realizar essas medições. Assim, não há uma forma precisa para avaliar a qualidade da informação armazenada em modelos BIM, que possa ser medida objetivamente, e isso também se aplica à informação relativa ao uso de um CICS. Para solucionar essa lacuna, a pesquisa apresentou uma forma de avaliar a qualidade da informação armazenada nos modelos BIM tendo como base a verificação do uso de códigos de classificação de um CICS.

Os procedimentos metodológicos executados na pesquisa, que seguiram a abordagem Action Design Research (ADR), passaram por estágios de diagnóstico, concepção e implementação do protótipo apresentado nesta tese. Os procedimentos desenvolvidos foram detalhados ao longo dos estágios da pesquisa. Em cada estágio, foram criados artefatos que puderam ser validados por análises de resultados parciais e avaliados ao final mediante um estudo de caso, que também evidenciou a relevância prática da formulação proposta. Regulamentos, leis, normas técnicas, guias, manuais técnicos e outros documentos e itens que compõem e auxiliam o entendimento do processo de regulação e uso dos CICS no contexto da modelagem BIM foram analisados e permitiram o desenvolvimento do protótipo. Durante o desenvolvimento dos trabalhos, os resultados permitiram a geração de conhecimento sobre os temas envolvidos e instigar novas investigações. A combinação do conhecimento gerado e

adquirido também foi observada nesse processo. Assim, considera-se que o objetivo geral da pesquisa, de propor e avaliar uma ferramenta para verificar a aderência do uso da modelagem BIM ao arcabouço normativo e regulatório brasileiro sobre esse tema, dando subsídios para melhorar qualidade da informação, a gestão e a organização da informação e do conhecimento sobre o ambiente construído, foi atingido. Com o estudo realizado, verificou-se que é possível subsidiar a geração de indicadores que, se adequadamente coletados e analisados, podem subsidiar o processo de gestão do ambiente construído.

Ao longo do desenvolvimento da pesquisa foram identificadas semelhanças entre a modelagem BIM e procedimentos adotados na Engenharia de *Software*. Para aproximar a modelagem BIM do uso de um sistema de informação abrangente, entretanto, é preciso observar e utilizar aspectos da gestão da informação e do conhecimento (GIC), como a indexação e a classificação. Esse sistema deve cobrir de maneira livre de ambiguidades todo o ambiente informacional que permeia os processos construtivos, o ambiente construído e a infraestrutura que os suporta. Vale ressaltar que de acordo com o BIM *Framework* (SUCCAR, 2009) a metodologia BIM envolve os campos da política, da tecnologia e dos processos, avança pelos estágios de modelagem, de colaboração e de integração, e pode ser vista sob lentes disciplinares, de escopo ou conceituais. Assim, um sistema abrangente deve conter todas as etapas, fases, disciplinas e tecnologias e demais elementos envolvidos no fluxo informacional que acompanha o ciclo de vida do ambiente construído, observando-se os diversos aspectos envolvidos na modelagem da informação ao longo desse processo.

As plataformas de *software* BIM geralmente utilizam a orientação a objetos (OO) para estruturar os componentes internos dos modelos BIM. Esses componentes, ou objetos BIM podem, então, ser organizados de diversas maneiras, dependendo da forma como se relacionam. Vários atores participam dos processos de modelagem BIM, sendo responsáveis por classificar os objetos BIM que criam ou modificam, quando necessário. Esses usuários da informação têm, portanto, papel fundamental tanto na geração da informação quanto no seu uso. Ressalta-se, com isso, a necessidade de se utilizar adequadamente os CICS, que servem para organizar as categorias e as relações entre elas para a interpretação humana. A organização e o tratamento da informação evitam problemas que poderiam ocorrer com a geração excessiva ou a falta de informação. O processamento da informação

também precisa ser otimizado, evitando a realização de traduções e transformações desnecessárias de dados, o que necessitaria de mais trabalho para a interpretação e a geração de novas informações. Dessa forma, o fluxo informacional fica mais eficiente e com menos retrabalho.

A GIC foi fundamental para compreender os tópicos estudados, que envolvem a geração, a utilização, o tratamento, a recuperação e a organização da informação sobre o ambiente construído e os processos construtivos. Os desenvolvimentos da pesquisa começaram por um aprendizado básico que teve a preocupação de quais dados devem ser gerados e armazenados no contexto da modelagem BIM. Além disso, foi necessário saber como, onde e quando devem ocorrer os processos informacionais. A pesquisa passou também pelo estudo das formas de recuperação e uso da informação, agregando interpretação aos dados contidos nos modelos BIM. A continuidade desse processo levou a uma compreensão maior da metodologia de modelagem BIM, que por sua vez utiliza processos, técnicas e procedimentos oriundos da GIC, como a classificação da informação, para se organizar. O uso prático de sistemas de classificação na modelagem BIM, entretanto, parece ser esparso e incompleto, pois ainda é aplicado em contextos isolados e não padronizados. Os CICS são utilizados, muitas vezes, em função da necessidade de informação de determinados usuários ou partes interessadas ou de demandas pontuais, como a elaboração de planilhas de custos ou a adoção de uma terminologia específica de um projeto ou de uma organização. Vale ressaltar que a classificação das informações sobre os objetos e modelos BIM é a base para a integração e a interoperabilidade entre os diversos contextos e processos existentes na metodologia BIM. A aplicação prática da GIC apresentada na presente tese permitiu compreender mais um aspecto dessa metodologia de modelagem, que pode ser vista como parte de um sistema de informação sobre o ambiente construído. Assim, a solução desenvolvida ressalta a importância de utilização dos CICS no contexto da modelagem BIM e pode ainda ser expandida para diversos outros usos. De forma mais abrangente, sob o olhar da gestão do conhecimento, essas reflexões podem servir para organizar o conhecimento sobre todo o processo envolvido na metodologia de modelagem BIM e com isso formar a base para utilização de um sistema de organização do conhecimento (KOS) sobre o ambiente construído.

A pesquisa realizada abordou uma forma de medir aspectos do uso de um CICS em modelos BIM. O CICS brasileiro faz parte do arcabouço normativo e regulatório

brasileiro, e uma avaliação de seu uso vai ao encontro das necessidades organizacionais do setor de AEC e do interesse nacional de disseminação do uso do BIM em conjunto com o desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras. Espera-se com essas discussões, motivar a continuidade dos trabalhos desenvolvidos para que o conhecimento sobre o uso da metodologia de modelagem BIM possa evoluir e futuramente se constituir em um sistema robusto, com o uso adequado da informação, critérios objetivos e práticas da GIC, subsidiando assim a gestão do ambiente construído. Algumas considerações finais são feitas a seguir.

Uma limitação da implementação realizada na pesquisa é o fato de ela não ter utilizado o armazenamento dos modelos BIM em formatos ou padrões abertos, como o IFC (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018a). A solução desenvolvida, entretanto, possui uma arquitetura de *software* extensível e modular e pode ser adaptada a esses formatos ou a outras plataformas de *software* BIM. A implementação não cobriu todas as funções possíveis relativas ao uso dos sistemas de classificação, mas foi possível expandir a concepção inicial que pretendia analisar apenas o CICS brasileiro para que o protótipo pudesse verificar a conformidade de mais outros dois CICS, o OmniClass e o Uniclass 2015. Nem todos os aspectos de uma análise do ciclo de vida do ambiente construído foram implementados, mas a utilização do LITE *Framework* (SUCCAR; POIRIER, 2020) como um roteiro para realizar as verificações nos modelos BIM foi uma expansão importante e agregou robustez ao protótipo inicialmente concebido. Assim, nota-se que formulação inicialmente proposta teve seu escopo ampliado mediante novos conhecimentos que foram gerados, combinados e utilizados durante o desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa. Com isso, espera-se que a partir das análises e procedimentos realizados, assim como das novas possibilidades de investigação e análise incorporadas à pesquisa, surjam desdobramentos que possam ser continuados e em trabalhos futuros, como comentado a seguir.

Como sugestão para trabalhos futuros fica a incorporação das demais tabelas do CICS brasileiro às verificações realizadas pelo protótipo, assim que estiverem disponíveis. Outra possível evolução do protótipo é a efetiva geração de indicadores com base nas verificações realizadas e no fluxo de informação ao longo do ciclo de vida do ambiente construído. Além disso, pode-se expandir a verificação para permitir uma análise do conteúdo dos códigos de classificação aplicados aos objetos BIM, que devem possuir uma relação semântica válida no modelo BIM, como sua função, forma

ou outra que seja relevante. Outros aspectos contidos nas prescrições dos CICS também podem ser considerados e implementados em evoluções do protótipo, deixando a análise mais completa e abrangente. Considerações sobre a gestão da informação utilizada no ambiente construído, como as especificações, procedimentos e práticas sugeridas pela norma internacional ISO 19650 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018b, 2018c), que tem previsão para ser publicada como uma norma brasileira, também podem ajudar a avaliar o uso de um CICS no contexto da modelagem BIM. A implementação de aspectos decorrentes dessas especificações também fica como sugestão de aprimoramento do protótipo desenvolvido. Uma vez que o protótipo foi elaborado de forma evolutiva, há ainda a possibilidade de expandi-lo para permitir uma análise mais completa, utilizando outros CICS.

O uso de um banco de dados externo ao ambiente da plataforma de *software* BIM e a evolução do protótipo desenvolvido para que ele se torne um sistema de informação mais abrangente sobre o ambiente construído seriam outras sugestões para continuação da pesquisa. Uma versão da solução formulada que utilize formatos abertos como o IFC ou outra plataforma de *software* BIM também pode ser desenvolvida. Fica como sugestão, ainda, a utilização dos resultados da pesquisa para realizar outros desenvolvimentos, como a obtenção de critérios objetivos para a avaliar e comparar modelos BIM em uma avaliação de alternativas projetos de investimento imobiliário. Apesar da subjetividade presente em um processo de tomada de decisão, as alternativas poderiam ser comparadas objetivamente utilizando critérios com base em indicadores de qualidade da informação recuperados diretamente dos modelos BIM.

Por fim, considerando que a gestão do ambiente construído busca o controle eficiente dos processos e recursos aplicados aos ativos envolvidos na construção, a manutenção e a operação do ambiente construído com o menor desperdício possível, avaliar a qualidade da informação utilizada nesse processo é fundamental. Tendo em vista esse cenário, foi proposta e implementada na presente pesquisa uma formulação que permite subsidiar a geração de indicadores de qualidade da informação utilizada na metodologia de modelagem BIM, e com isso incentivar seu uso de forma mais eficiente e otimizada.

REFERÊNCIAS

AFSARI, Kereshmeh; EASTMAN, Charles M. A Comparison of construction classification systems used for classifying building product models. *In*: CONFERENCE, 52nd ASC, 2016. **Annual International Conference Proceedings**. Atlanta, Georgia: ASC, April, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303484920_A_Comparison_of_Construction_Classification_Systems_Used_for_Classifying_Building_Product_Models. Acesso em: 29 out. 2020.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Coletânea guias BIM ABDI-MDIC/ABDI**. Brasília/DF: ABDI, 2017a. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/projetos/bim>. Acesso em: 21 out. 2020.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **GUIA 2 - Classificação da Informação no BIM**. Brasília/DF: ABDI, 2017b. Disponível em: https://api.abdi.com.br/file-manager/upload/files/GUIA_BIM02_20171101_WEB.pdf. Acesso em: 21 out. 2020.

AISH, Robert. 3D input for CAAD systems. **Computer-Aided Design**, v. 11, n. 2, p. 66-70, 1979.

AISH, Robert. Building modelling: the key to integrated construction CAD. 5^o CIB international. *In*: SYMPOSIUM ON THE USE OF COMPUTERS FOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING RELATED TO BUILDINGS, 5., 1986. London. **Anais [...]**, London: University College London, 7-9 Jul. 1986.

AL-KASASBEH, M., ABUDAYYEH, O.; LIU, H. A unified work breakdown structure-based framework for building asset management. **Journal of Facilities Management**, v. 18, n. 4, p. 437-450, 2020. Disponível em: <https://doi-org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1108/JFM-06-2020-0035>. Acesso em 29 out. 2020.

ALMEIDA, Mauricio Barcellos. Revisiting Ontologies: a necessary clarification. **Journal of the American Society of Information Science and Technology**, v. 64, n. 8, p. 1682-1693, 2013.

ALMEIDA, Mauricio Barcellos. Uma abordagem integrada sobre ontologias: ciência da informação, ciência da computação e filosofia. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 19, n. 3, p. 242-258, jul./set. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1981-5344/1736>. Acesso em: 29 out. 2020.

ALVARENGA NETO, Rivadávia Correa Drummond de; BARBOSA, Ricardo Rodrigues, CENDON, Beatriz Valadares. A construção de metodologia de pesquisa qualitativa com vistas à apreensão da realidade organizacional brasileira: estudos de casos múltiplos para proposição de modelagem conceitual integrativa. **Informação & Sociedade: Estudos**, João Pessoa, v. 16, n. 2, p. 63-78, jul./dez. 2006.

ALVARENGA NETO, Rivadávia Correa Drummond de. **Gestão do conhecimento em organizações**: proposta de mapeamento conceitual integrativo. 2005. Tese (Doutorado) - Escola de Ciência da Informação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

ALVARENGA NETO, Rivadávia Correa Drummond de. **Gestão do conhecimento em organizações**: proposta de mapeamento conceitual integrativo. São Paulo: Saraiva, 2008

ALVES, Alessandra; BARBOSA, Ricardo Rodrigues. Influências e barreiras ao compartilhamento da informação: uma perspectiva teórica. **Ciência Informação**, Brasília, v. 39, n. 2, p.115-128, ago. 2010.

AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Integrated project delivery**: a guide. Califórnia: AIA, 2007. Versão 1. Disponível em: <https://www.aia.org/resources/64146-integrated-project-delivery-a-guide>. Acesso em: 29 out. 2020.

ANDERSON, Neil; HERRIOT, Peter; HODGKINSON, Gerard P. The practitioner-researcher divide in Industrial, Work and Organizational (IWO) psychology: where are we now, and where do we go from here? **Journal of Occupational and Organizational Psychology**, v. 74, n. 4, p. 391-411, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1348/096317901167451>. Acesso em: 29 out. 2020.

ANDRADE, Max Lira Veras X. de; RUSCHEL, Regina Coeli. Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v., 4, n. 2, p. 76-111, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.4237/gtp.v4i2.102>. Acesso em: 29 out. 2020.

ARAI, Eiji; IWATA, Kazuaki. Product design logic for an intelligent product modelling system. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 4, n. 3-4, p. 499-510, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Coletânea eletrônica de normas técnicas**: Modelagem de Informação da Construção (BIM). Rio de Janeiro: ABNT, 2017. [Esta Coletânea Eletrônica de Normas Técnicas reúne as normas que fornecem orientações sobre a aplicação da modelagem da informação da construção - NBR 15965-1:2011; NBR 15965-2:2012; NBR 15965-3:2014; NBR 15965-7:2015; NBR ISO 12006-2:2010. 2017]. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pub.aspx?ID=2951>. Acesso em: 21 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:2013**. Edificações habitacionais: desempenho - Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, ABNT, 2013. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/curs.aspx?ID=157>. Acesso em: 21 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15965-1: 2011**. Sistema de classificação da informação da construção - Parte 1: terminologia e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=87578>. Acesso em: 21 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15965-2:2012**. Sistema de classificação da informação da construção - Parte 2: características dos objetos da construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=91351>. Acesso em: 21 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15965-3:2014**. Sistema de classificação da informação da construção - Parte 3: processos da construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=91351> <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=326818>. Acesso em: 21 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15965-7:2015**. Sistema de classificação da informação da construção - Parte 7: Informação da construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=349049>>. Acesso em: 21 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12006-2:2018**. Construção de edificação - organização de informação da construção - parte 2: estrutura para classificação de informação. Rio de Janeiro: ABNT, 2018a. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=385881>. Acesso em: 21 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 16354:2018**. Diretrizes para as bibliotecas de conhecimento e bibliotecas de objetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018b. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=398439>. Acesso em: 21 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 16757-1:2018**. Estruturas de dados para catálogos eletrônicos de produtos para sistemas prediais - parte 1: Conceitos, arquitetura e modelo. Rio de Janeiro: ABNT, 2018c. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=398440>. Acesso em: 21 out. 2020.

AUTODESK. **AutoCAD**: CAD software to design anything - now with time-saving specialized toolsets. [New York]: Autodesk, 2020a. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>. Acesso em: 21 out. 2020.

AUTODESK. AutoCAD Web App. [New York]: Autodesk, 2020bd. Disponível em: <https://web.autocad.com>. Acesso em: 29 out. 2020.

AUTODESK CLASSIFICATION MANAGER FOR REVIT. Public Library Database Update. [New York]: Autodesk, 2021. Disponível em: <https://interoperability.autodesk.com/classificationmanager.php>. Acesso em: 21 jan. 2021.

AUTODESK. **Navisworks products**: support and learning. [New York]: Autodesk, 2020c. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/support/navisworks-products/learn>. Acesso em: 29 out. 2020.

AUTODESK. **Revit products**: support and learning. [New York]: Autodesk, 2020db. Disponível em: <http://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn>. Acesso em: 21 out. 2020.

AUTODESK WHITEPAPER. **Improving building industry results through integrated project delivery and building information modeling**. New York: Autodesk 2008. Disponível em: http://images.autodesk.com/latin_am_main/files/bim_and_ipd_whitepaper.pdf. Acesso em: 21 out. 2020.

BARACHO, Renata Maria Abrantes *et al.* Análise de projeção e viabilidade técnica de novos empreendimentos para geração de energia elétrica. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 17., 2016, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: UFBA, 2016.

BARACHO, Renata Maria Abrantes *et al.* Decision Making in Real Estate Developments Based on Building Information Modeling - BIM. **Systemics, Cybernetics and Informatics**, v. 17, n. 3, 2019.

BARACHO, Renata Maria Abrantes. Organização e recuperação da informação pilares da arquitetura da informação. **Tendências da Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação**, v. 9, n. 1, jan./ago. 2016.

BARACHO, Renata Maria Abrantes. **Sistema de recuperação de informação visual em desenhos técnicos de engenharia e arquitetura**: modelo conceitual, esquema de classificação e protótipo. 2007. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) - Escola de Ciência da Informação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

BARACHO, Renata Maria Abrantes; ALMEIDA, Mauricio Barcellos; PEREIRA JUNIOR, Mário Lucio. Ontologia no suporte a modelagem da informação da construção (BIM): um estudo exploratório sobre a inter-relação entre as tecnologias envolvidas. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 7., 2016. Salvador/BA. **Anais [...]**. Salvador: ENANCI, 2016.

BARBOSA, Ricardo Rodrigues. Gestão da informação e do conhecimento: origens, polêmicas e perspectivas **Informação & Informação**, v. 13, n. esp., p. 1-25, 2008.

BAX, Marcello Peixoto. Design science: filosofia da pesquisa em ciência da informação e tecnologia. **Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 42, n. 2, ago. 2015. Disponível em: <http://revista.ibict.br/ciinf/article/view/1388>. Acesso em: 29 out. 2020.

BELO HORIZONTE. **Lei Municipal Nº 10.731, de 23 de maio de 2014**. Institui a Operação Urbana Simplificada do Tribunal Regional do Trabalho de Minas Gerais. Belo Horizonte: PBH, 2014. Disponível em <http://portal6.pbh.gov.br/dom/iniciaEdicao.do?method=DetalheArtigo&pk=1122009>. Acesso em: 29 out. 2020.

BIM INITIATIVE. **301in.PT Matriz de Maturidade BIM**. Australia: Change Agents AEC, Melbourne, 2020. Disponível em: <https://bimexcellence.org/wp-content/uploads/301in.PT-Matriz-de-Maturidade-BIM.pdf>. Acesso em: 29 out. 2020.

BJÖRK, Bo-Christer. Basic structure of a proposed building product model. **Computer-Aided Design**, v. 21, n. 2, p. 71-78, 1989.

BJÖRK, Bo-Christer; LAAKSO, Mikael. CAD standardisation in the construction industry: a process view. **Automation in Construction**, v. 19, n. 4, p. 398-406, 2010.

BOLPAGNI, Marzia. **Faces of 'LOD'**. [S. l.]: BIM Think Space, 19 July 2016. Disponível em: <http://www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html>. Acesso em: 29 out. 2020.

BONATTI, Rogério Amaral; BARACHO, Renata Maria Abrantes. A gestão da informação e o processo decisório no setor energético: mensuração de critérios e alternativas. **Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia**, v. 10, n. 1, p. 237-249. 2015.

BRASIL. **Decreto de 5 de junho de 2017**. Institui o Comitê Estratégico de Implementação do Building Information Modelling. Brasília, DF: Presidência da República, 2018. Atos do Poder Executivo. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Dsn/Dsn14473.htm. Acesso em: 21 out. 2020.

BRASIL. **Decreto n. 9.377, de 17 de maio de 2018**. Institui a Estratégia de Disseminação do Building Information Modelling. Brasília, DF: Presidência da República, 2018. Atos do Poder Executivo. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Decreto/D9377.htm. Acesso em: 21 out. 2020.

BRASIL. **Decreto n. 9.983, de 22 de agosto de 2019**. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. Brasília, DF: Presidência da República, 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9983.htm. Acesso em: 21 out. 2020.

BRASIL. **Decreto n. 10.306, de 02 de abril de 2020**. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2020. Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm. Acesso em: 21 out. 2020.

BRASIL. Ministério da Economia. Secretaria Especial de Comércio Exterior e Assuntos Internacionais. **Guias BIM**. Brasília: ME, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/produktividade-e-comercio-exterior/pt->

br/assuntos/noticias/mdic/competitividade-industrial/guias-bim. Acesso em: 21 out. 2020.

BRUSEBERG, Anne; MCDONAGH-PHILP, Deana. Focus groups to support the industrial/product designer: a review based on current literature and designers' feedback. **Applied Ergonomics**, v. 33, n. 1, p. 27-38, Jan. 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-6870\(01\)00053-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-6870(01)00053-9). Acesso em: 29 jun. 2019.

BRYDE, David; BROQUETAS, Martí; VOLM, Jürgen Marc. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 7, p. 971-980, Oct. 2013.

BUILDINGSMART. Building Smart. [S. l.]: Do Autor, 2008. Disponível em: <http://www.buildingsmart.org>. Acesso em: 29 out. 2020.

BUILDINGSMART. **Model View Definition (MVD):** an introduction. [S. l.]: Technical, 2020. Disponível em: <https://technical.buildingsmart.org/standards/mvdhttp://www.buildingsmart.org/>. Acesso em: 29 out. 2020.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**. Brasília: CBIC, 2016.

CARNEGIE MELLON. **Software Engineering Institute: Upgrading from SW-CMM® to CMMI®**. Pensilvânia, EUA: SEI, Fev. 2004. Disponível em: https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/WhitePaper/2004_019_001_29417.pdf. Acesso em: 29 out. 2020.

CATELANI, Wilton Silva; SANTOS, Eduardo Toledo. Normas brasileiras sobre BIM. **Concreto & construções**, São Paulo, v. 44, n. 84, p. 54-59, out./dez. 2016.

CHIAVENATO, Idalberto. **Administração nos novos tempos**. 2. ed. São Paulo: Campus, 2004.

COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. The Pennsylvania State University (2011). **BIM Project Execution Planning Guide: version 2.1**. [S. l.]: IP, 2011. Disponível em: <https://lp.constantcontact.com/su/OvqRZ37/bimguide>. Acesso em: 29 out. 2020.

CHOO, Chun Wei. The knowing organization: how organizations use information for construct meaning, create knowledge and make decisions. Nova York: Oxford Press, 1998.

CHOO, Chun Wei. **A organização do conhecimento: como as organizações usam a informação para criar significado, construir conhecimento e tomar decisões**. São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2003.

CLARK, Lucille Charlotte. **Information engineering and the information engineering facility versus rapid application development and Focus**. 1992. Tese (mestrado) - Naval Postgraduate School. Monterey, California, 1992.

COELHO, Katia Cardoso. **Princípios ontológicos dos atos dos documentos aplicados à modelagem DEMO**: uma investigação no contexto da ontologia corporativa. 2017. Tese (Doutorado) - Escola de Ciência da Informação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/ECIP-AZWNKV>. Acesso em: 29 out. 2020.

CONSTRUCTION STANDARD INSTITUTE. **OMNICLASS**: a strategy for classifying the built environment - Introduction and User's Guide. Edition: 2.1. [S. l.]: CSI, 2020. Disponível em: <https://www.csiresources.org/standards/omniclass>. Acesso em: 29 out. 2020.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa**: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3. ed. Porto Alegre, RS. Artmed, 2010.

CRESWELL, John W. **Research design**: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 4. ed. Thousand Oaks: Sage, 2014.

DA SILVA, Márcio Bezerra. **A teoria da classificação facetada na modelagem de dados em banco de dados computacionais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência da Informação) - Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011. Disponível em https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/3906?locale=pt_BR. Acesso em: 21. out. 2020.

DA SILVA, Márcio Bezerra. **Estudo teórico-analítico sobre o uso de facetas na organização da informação e na estruturação de ambientes digitais**. 2018. Tese (Doutorado em Ciência da Informação) - Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018. Disponível em https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/28130/3/M%C3%81RCIO_BEZERRA_tese_2018.pdf. Acesso em: 21. out. 2020.

DAVENPORT, Thomas H. **Ecologia da Informação**: por que só a tecnologia não basta para o sucesso na era da informação. 6. ed. São Paulo: Futura, 316 p. 1998.

DEMURJIAN, Steven A. **computer science and engineering**. Connecticut: Department the University of Connecticut Storrs, p. 06269-2155, Jan. 27, 2008.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JUNIOR, José Antônio Valle. **Design science research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Rio Grande do Sul: Bookmann, 2015.

DUARTE, Emeide Nóbrega. **Análise da produção científica em gestão do conhecimento**: estratégias metodológicas e estratégias organizacionais. 2004. Tese (Doutorado em Administração), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2004.

DUARTE, Emeide Nóbrega; SILVA, Alzira Karla Araujo da; COSTA, Suzana Queiroga da. Gestão da informação e do conhecimento: práticas de empresa “excelente em gestão empresarial” extensivas a unidades de informação. **Informação & Sociedade: Estudos**, v. 17, n. 1, p. 97-107, jan./abr. 2007.

EASTMAN, Charles M. *et al.* An outline of the building description system. **Research Report n. 5**. Pittsburgh, PA, Inst. of Physical Planning. Carnegie-Mellon Univ., 1974.

EASTMAN, Charles M. *et al.* Automatic rule-based checking of building designs. **Automation In Construction**, v. 18, n. 8, p. 1011-1033, dez. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.002>. Acesso em: 29 out. 2020.

EASTMAN, Charles M. *et al.* Deployment of an AEC industry sector product model. **Computer-Aided Design**, v. 37, n. 12, p. 1214-1228, 2005.

EASTMAN, Charles M. The use of computers instead of drawings in building design. **AIA Journal**, March, v. 63, n. 3, p. 46-50, 1975.

EASTMAN, Charles M. Through the looking glass: why no wonderland: Computer applications to architecture in the USA. **Computer-Aided Design**, v. 6, n. 3, p. 119-124, July. 1974.

EASTMAN, Chuck. *et al.* **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução de Cervantes Gonçalves Ayres Filho *et al.* Porto Alegre: Bookman, 2014.

EASTMAN, Chuck *et al.* **BIM handbook**: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.

EKHOLM, Anders. Co-ordination of classifications for product modelling and established building classifications. *In*: PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE, W78., 1999. Vancouver, Canada, 31 May -3 June 1999.

EKHOLM, Anders. ISO 12006-2 and IFC: prerequisites for coordination of standards for classification and interoperability. **J. Inf. Technol. Constr. ITcon**, v. 10, p. 275-289, 2005.

FLEMMING, Ulrich; ERHAN, Halil; ÖZKAYA, Ipek, Object-oriented application development in CAD: a graduate course. **Automation in Construction**. v. 13, p. 147-158, 2004.

FURLAN, Jose Davi. **Modelagem de objetos através da UML**: the unifiield modeling language. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1998.

FRANÇA, Fernando; SCHEER, Sergio. Classificação de regras para verificação automática utilizando BIM. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 1., 2017. Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: SBT, 2017. p. 260-267.

GAMMA, Erich *et al.* **Padrões de projeto: soluções reutilizáveis de software orientado a objetos.** Porto Alegre: Bookman, 2000.

GARRETT JUNIOR, James H.; BASTEN, J. C.; BRESLIN, J. An object-oriented environment for representing building design and construction data. **Advanced Construction Technology Center**, n. 89, 1989.

GASPAR, João Alberto da Motta. **O significado atribuído a BIM ao longo do tempo.** 2019. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2019.

GELDER, John. The principles of a classification system for BIM: Uniclass 2015. *In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ARCHITECTURAL, SCIENCE ASSOCIATION*, 49th, 2015. **Anais [...]**. Melbourne: PICA, p. 2-4, Dec. 2015.

GOMES, Ana Catarina *et al.* O BIM e a necessidade de um CICS nacional: tabela de produtos. *In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING*, 2., 2018. Lisboa. **Anais [...]**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2018. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/images/LivroDeAtas_ptBIM_2018.pdf. Acesso em: 20 maio 2020.

GRUPO TÉCNICO BIM. **Guia AsBEA: boas práticas em BIM: fascículo 1 - estruturação do escritório de projeto para a implantação do BIM.** São Paulo: ASBEA, 2013. Disponível em: Disponível em: <http://www.asbea.org.br/userfiles/manuais/a607fdeb79ab9ee636cd938e0243b012.pdf>. Acesso em: 29 out. 2020.

GRUPO TÉCNICO BIM. **Guia AsBEA: boas práticas em BIM. Fascículo 2 - fluxo de projetos em BIM: planejamento e execução.** São Paulo: ASBEA, 2015. Disponível em: <http://www.asbea.org.br/userfiles/manuais/d6005212432f590eb72e0c44f25352be.pdf>. Acesso em: 29 out. 2020.

HAMRI, Okba *et al.* Software environment for CAD/CAE integration. **Advances in Engineering Software**, v. 41, n. 10-11, p. 1211-1222, Oct./Nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2010.07.003>. Acesso em: 29 out. 2020.

HEVNER, Alan R. *et al.* Design science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/25148625>. Acesso em: 29 out. 2020.

HEVNER, Alan R. A Three cycle view of design science research. **Scandinavian Journal of Information Systems**, v. 19, n. 2, p. 87-92, 2007.

HORNER, Malcolm. **ICMS explained: a user guide for the second edition of the international construction measurement standards.** London: Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), April. 2020. Disponível em: <https://www.rics.org/globalassets/rics-website/media/upholding-professional->

standards/sector-standards/construction/icms-explained.pdf. Acesso em: 18 out. 2020.

HORVÁTH, Imre. A treatise on order in engineering design research. **Research in Engineering Design**, v. 15, p. 155-181, 2004. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1007/s00163-004-0052-x>. Acesso em: 29 out. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12006-2:2015**: building construction — organization of information about construction works — Part 2: framework for classification of information. Genebra, Suíça: ISO, 2015. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/61753.html>. Acesso em: 29 out. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12006-3:2007**: building construction — organization of information about construction works — Part 3: framework for object-oriented information. Genebra, Suíça: ISO, 2007. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/38706.html>. Acesso em: 29 out. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10303-21:2016**: Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure. Genebra, Suíça: ISO, 2016. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/63141.html>. Acesso em: 29 out. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16739-1:2018**: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — part 1: data schema. Genebra, Suíça: ISO, 2018a. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/70303.html>. Acesso em: 29 out. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19650-1:2018**: organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling — Part 1: concepts and principles. Genebra, Suíça: ISO, 2018b. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/68078.html>. Acesso em: 29 out. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19650-2:2018**: organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling — Part 2: delivery phase of the assets. Genebra, Suíça: ISO, 2018c. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/68080.html>. Acesso em: 29 out. 2020.

ISIKDAG, Umit; UNDERWOOD, Jason. Two design patterns for facilitating Building Information Model-based synchronous collaboration. **Automation in Construction**, March, 2010.

JACOSKI, Cláudio Alcides. A Integração da comunicação em projetos de construção utilizando tecnologias da informação. *In*: CONFERÊNCIA CONSTRUÇÃO, 2004, Portugal. **Anais [...]**. Lisboa: FEUPPORTO/PORTUGAL, 2004.

JACOSKI, Cláudio Alcides. **Integração e interoperabilidade em projetos de edificações**: uma implementação com IFC/XML. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

JACOSKI, Cláudio Alcides. O intercâmbio de dados SIG e projetos de edificações. *In*: SISTEMA DE GESTÃO DE ACESSO - 2004. **Workshop sobre aplicações de sistemas de informações geográficas no ambiente construído**. São José dos Campos - SP: ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2008.

JONSSON, Helena; MALMGREN, Linus; PERSSON, Stefan. ICT support for industrial production of houses: the swedish case. *In*: CONFERENCE, CIB-W78 - IT in Construction conference, June. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235909408_ICT_support_for_industrial_production_of_houses_-_The_Swedish_case. Acesso em: 29 out. 2020.

JØRGENSEN, Kaj Asbjørn. **Classification of building object types**: misconceptions, challenges and opportunities. France: Aalborg Universitet, 2011. Disponível em: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/63161433/ClassificationBuildingObjectTypes_PaperNo24.pdf. Acesso em: 29 out. 2020.

KANG, Leen S.; PAULSON, Boyd C. Information classification for civil engineering projects by UNICLASS. **Journal of Construction Engineering & Management**, v. 126, n. 2, p. 158-168. 2000.

KASSEM, Mohamad; AMORIN, Sergio R. Leusin de. **BIM**: building information modeling no Brasil e na União Europeia. Brasília: Sector, 2015. Disponível em: <http://sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/bim.pdf>. Acesso em: 30 out. 2020.

KASSEM, Mohamad; SUCCAR, Bilal; DAWOOD, Nashwan. A proposed approach to comparing the BIM maturity of countries. *In*: PROCEEDINGS OF THE CIB W78 - INTERNATIONAL CONFERENCE, 30th., 2013. **Annals [...]**. Beijing, China: CIB, 2013, p. 9-12.

KREIDER, Ralph G.; MESSNER, John I. **The uses of BIM**: classifying and selecting BIM uses. Version 0.9. New York: The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, Sept. 2013. Disponível em: http://home.fa.utl.pt/~franc/2020/the_uses_of_bim.pdf. Acesso em: 30 out. 2020.

KULA, Behlül; ERGEN, Esin. Review of classification systems for facilities management. *In*: INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCES IN CIVIL ENGINEERING, 13th., 2018. **Annals [...]**. Izmir, Turkey: ICA, 2018, p. 9-12.

LAAKSO, Mikael; NYMAN, Linus. Exploring the relationship between research and BIM Standardization: a systematic mapping of early studies on the IFC Standard (1997-2007). **Buildings**, v. 6, n. p. 1-23, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings6010007>. Acesso em: 21 out. 2020.

LACERDA, Daniel Pacheco *et al.* Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>. Acesso em: 21 out. 2020.

LAISERIN, Jerry. **The BIM Page**. [New York]: The Laiserin Letter, 2018. Disponível em: <http://www.laiserin.com/features/bim/index.php>. Acesso em: 21 out. 2020.

LEVEL OF X (LoX). *In*: BIM DICTIONARY. **Level of X, English**: version 1. [S. l.]: Bim, 2020. Disponível em: <http://bimdictionary.com/level-of-x>. Acesso em: 21 out. 2020.

LOPEZ, L. A., ELAM, S., REED, K. Software concept for checking engineering designs for conformance with codes and standards. **Engineering with Computers**, v. 5, p. 63-78, 1989. Disponível em: <https://doi-org.ez27.periodicos.capes.gov.br/10.1007/BF01199070>. Acesso em: 21 out. 2020.

LOU, Eric Choen Weng; GOULDING, Jack Steven. Building and construction classification systems. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 4, n. 3-4, p. 206-220, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.3763/aedm.2008.0079>. Acesso em: 29 out. 2020.

LOWE, E. J. **The Four-category ontology**: a metaphysical foundation for natural science. New York, NY: Oxford University Press, 2007.

MACHADO, Rosaly; LIMA, Isaura Alberton de; FRANCISCO, Antonio Carlos de. Gestão do conhecimento: autonomia e participação nas auditorias empresariais. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL PROCESSO CIVILIZADOR, 9., 2005, Ponta Grossa. **Anais [...]**. Ponta Grossa: UTFPR, 2005.

MAINARDI NETO, Antonio Ivo de Barros. **Verificação de regras para aprovação de projetos de arquitetura em BIM para estações de metrô**. 2016. Dissertação (Mestrado em Inovação na Construção Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

MANZIONE, Leonardo. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM**. 2013. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MANZIONE, Leonardo. **Verificação automatizada de regras em BIM**: uma revisão sistemática da literatura. [S. l.]: Makebim, 2017. Disponível em: <https://www.makebim.com/2017/10/05/verificacao-automatizada-de-regras-em-bim-uma-revisao-sistemica-da-literatura>. Acesso em: 29 out. 2020.

MANZIONE, Leonardo. **Mohamad Kassem**: “Estratégia para a difusão do BIM no Brasil”. [S. l.]: Makebim, 2016. Disponível em: <https://www.makebim.com/category/articulistas/kassen/>. Acesso em: 29 out. 2020.

MARCH, James G.; SIMON, Herbert Alexander. Limites cognitivos da racionalidade. *In*: MARCH, James G.; SIMON, Herbert Alexander. **Teoria das organizações**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1975. p. 192-220 (cap. 6).

MARCH, Salvatore T.; SMITH, Gerald F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, p. 251-266, Dec. 1995.

MARTIN, James. **Information engineering**. [New York]: Savant. 1986. v. 1-4.

MELLO, Ricardo Bianca de. **BIM e custos**: maximize os dados do modelo com o Navisworks e o Quantity Takeoff. [S. l.]: Autodesk University Brasil, 2012.

MENEZES, Benjamim Rodrigues de; MOREIRA, Alessandro Fernandes. Escola de engenharia da UFMG chega ao centenário de olho no futuro. Estado de Minas. **Estado de Minas**, Belo Horizonte, 21 maio 2011. Caderno Gerais. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2011/05/21/interna_gerais,228983/escola-de-engenharia-da-ufmg-chega-ao-centenario-de-olho-no-futuro.shtml. Acesso em: 29 out. 2020.

MIGILINSKAS, Darius, GALDIKAS; Liudas, ŠARKA; Vaidotas. Analysis of building information modelling using IFC data Exchange. **Science - Future of Lithuania**, v. 5, n. 5, p. 492-497, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3846/mla.2013.77>. Acesso em: 29 out. 2020.

MIRANDA, Roberto Campos da Rocha. **Gestão do conhecimento estratégico**: proposta de um modelo integrado. 2004. Tese (doutorado em Ciência da Informação) - Departamento da Ciência da Informação e Documentação, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

MULLARKEY, Matthew T.; HEVNER, Alan R. An elaborated action design research process model. **European Journal of Information Systems**, v. 28, n. 1, p. 6-20, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0960085X.2018.1451811>. Acesso em: 29 out. 2020.

NATIONAL BUILDING SPECIFICATION. **NBS Chorus**: intelligent construction specification, in the cloud. [New York]: Thenbs, 2021. Disponível em: <https://www.thenbs.com/nbs-chorus>. Acesso em: 29 mar. 2021.

NATIONAL BUILDING SPECIFICATION. **NBS BIM Toolkit**: the easy way to define who is doing what and When on your BIM projects: Introducing the Toolkit. [New York]: Thenbs, 2020a. Disponível em: www.thenbs.com/bimtoolkit. Acesso em: 29 mar. 2021.

NATIONAL BUILDING SPECIFICATION. **Uniclass 2015 Classification tables in CSV format**. [New York]: Buildig, 2015. Disponível em: <https://buildig.com/uniclass-2015>. Acesso em: 29 out. 2020.

NATIONAL BUILDING SPECIFICATION. **What is the Common Data Environment (CDE)?**. [New York]: Thenbs, 2020b. Disponível em:

<https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-the-common-data-environment-cde>. Acesso em: 29 out. 2020.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. **Welcome to NBIMS-US T^M**. Washington: NIBS, 2014. Disponível em: www.nationalbimstandard.org. Acesso em: 29 out. 2020.

NONAKA, Ikujiro; TAKEUCHI, Hirotaka. **Criação do conhecimento na empresa: como as empresas japonesas geram o conhecimento na empresa**. 7. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

O BIM FRAMEWORK. [S. l.]: BIM, 2021. Disponível em: <http://www.bimframework.info>. Acesso em: 29 out. 2021.

OFICINA do Projetista: curso de Revit. Sobre Revit. [S. l.]: Oficina, 2021. Disponível em: <https://oficinadoprojetista.com/sobre-revit/>. Acesso em: 12 jan. 2021.

ORACLE. **Java**: technical details: Core J2EE Patterns - data access object. [S. l.]: Oracle, 2021. Disponível em: <https://www.oracle.com/java/technologies/dataaccessobject.html>. Acesso em: 29 out. 2021.

PAULA FILHO, Wilson de Padua. **Engenharia de software: fundamentos, métodos e padrões**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PAULK, Mark *et al.* **Capability maturity model: Version 1.1**. Software 10. 18-27. [S. l.]: IEEE, 1993. <https://doi.org/10.1109/52.219617>

PEREIRA JUNIOR, Mário Lucio; BARACHO, Renata Maria Abrantes. Relações entre a gestão da informação e do conhecimento e uso de sistema BIM por arquitetos e engenheiros. *In*: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO ARQUITETURA E DOCUMENTAÇÃO, 4., 2015. Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SIAA, 2015.

PLACHTA, Claudio. A tecnologia no suporte à gestão da informação e aos processos de negócios inteligentes. *In*: STAREC, Claudio (org.). **Gestão da informação, inovação e inteligência competitiva: como transformar a informação em vantagem competitiva nas organizações**. São Paulo: Saraiva, 2012.

PLATAFORMA BIM BR. [Brasília]: ABDI, 2021. Disponível em: <https://plataformabimbr.abdi.com.br/bimBr/#/>. Acesso em: 29 out. 2021.

PORTO, Marcelo Franco *et al.* **Automatic Code Checking Applied to Fire Fighting and Panic Projects in a BIM environment - BIMSCIP**. 2017. [Trabalho Apresentação em Congresso].

PORTO, Marcelo Franco; FRANCO, Jose Ricardo Queiroz; BARACHO, Renata Maria Abrantes. Paradigma de utilização da tecnologia BIM para projeto arquitetônico e de engenharia. *In*: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO

ARQUITETURA E DOCUMENTAÇÃO, 4., 2015. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SIAD, 2015.

PRESSMAN, Roger S. **Software engineering: a practitioner's approach**. 6. ed. Nova York: MacGraw-Hill, 2005.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Comunidade global online**. [S. l.]: PMI, 2020. Disponível em: <https://www.projectmanagement.com>. Acesso em: 29 out. 2020.

QUATRANI, Terry. **Visual Modeling with Rational Rose and UML**. [Nova York: Addison-Wesley, 1998.

RODRIGUES, Ana Raquel Silvério. **Grau de maturidade em BIM: estudos de caso em empresas projetistas de Arquitetura na cidade de São Paulo**. 2018. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

ROMME, A. Georges L. Making a difference: organization as design. **Organization Science**, v. 14, n. 5, p. 558-573, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1287/orsc.14.5.558.16769>. Acesso em: 29 out. 2020.

SAATY, Thomas L.; VARGAS, Luis G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process**. Boston: Kluwer Academic Publishers. 2001.

SACKS, Rafael; GIROLAMI, Mark; BRILAKIS, Ioannis. building information modelling, artificial intelligence and construction tech. **Developments in the Built Environment**, v. 4, Nov. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100011>. Acesso em: 29 out. 2020.

SARACEVIC, Tefko. Ciência da informação: origem, evolução e relações. **Perspectivas em ciência da informação**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 41-62, jan./jun. 1996. Disponível em: <http://portaldeperiodicos.eci.ufmg.br/index.php/pci/article/view/235/22>>. Acesso em: 29 out. 2020.

SENA, Paulo César Peixoto de. **Automação de processos de projeto e programação em BIM: Dynamo, Python e C#**. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/D.102.2020.tde-12032020-144132>. Acesso em: 21. out. 2020.

SHALLOWAY, Alan; TROTT, James R. **Explicando padrões de projeto: uma nova perspectiva em projeto orientado a objeto**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

SILVA, Juliano Lima da *et al.* BIM Software Plug-ins: an alternative to optimize design processes from the perspective of performance and sustainability. **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 11, p. 249-264, 2017. Disponível em <http://dx.doi.org/10.17265/1934-7359/2017.03.005>. Acesso em: 21. out. 2020.

SILVA, Terezinha Elisabeth; TOMAÉL, Maria Inês. A gestão da informação nas organizações. **Informação & Informação**, Londrina, v. 12, n. 2. 2007.

SIMON, Herbert A. **Models of man**. Nova York: John Wiley, 1957.

SIMON, Herbert A. **The sciences of the artificial**. 3. ed. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

SOARES, Bruno Cesarino *et al.* Recuperação da informação espacial de projetos de arquitetura em ambiente BIM. In: SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE ARQUITETURA E DOCUMENTAÇÃO, 4., 2015. Belo horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: SIAD, 2015.

SOARES, Bruno Cesarino; BONATTI, Rogério Amaral; BARACHO, Renata Maria Abrantes. Método Multicritérios para Auxiliar o Processo de Tomada de Decisão sobre Empreendimentos Imobiliários Utilizando Modelos BIM. *In*: WORKSHOP DE INFORMAÇÃO, DADOS E TECNOLOGIA, 2., 2018. João Pessoa; SANT'ANA, Ricardo César Gonçalves; DUTRA, Moisés Lima; DIAS, Guilherme Ataíde (org.). **Anais** [...] João Pessoa: WIDAT, 2018.

SOERGEL, Dagobert. The rise of ontologies or the reinvention of classification. **Journal of the American Society for Information Science**, v. 50, n. 12, p. 1119-1120, Oct. 1999. Disponível em: <http://www.dsoergel.com/cv/B70.pdf>. Acesso em: 29 out. 2020.

SOERGEL, Dagobert. Unleashing the power of data through organization: structure and connections for meaning, learning and discovery. **Knowledge Organization**, v. 42, p. 401-427, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5771/0943-7444-2015-6-401>. Acesso em: 29 out. 2020.

SOLIHIN, Wawan; EASTMAN, Charles M. Classification of rules for automated BIM rule checking development. **Automation in Construction**, v. 53, p. 69-82, 2015.

SORDI, José Osvaldo de; AZEVEDO, Marcia Carvalho de; MEIRELES, Manuel. A Pesquisa design science no Brasil segundo as publicações em administração da informação. **JISTEM - Journal of Information Systems and Technology Management**, v. 12, n. 1, p. 165-186, jan./abr. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4301/S1807-17752015000100009>. Acesso em: 29 out. 2020.

SORDI, José Osvaldo de; MEIRELES, Manuel; SANCHES, Cida. Design Science aplicada às pesquisas em administração: Reflexões a partir do recente histórico de publicações internacionais. **Revista de Administração e Inovação**, v. 8, n. 1, p. 10-36, 2011.

STAKE, Robert E. **The art of case study research**. Thousand Oaks, CA: Sage. 1995.

STEEL, Jim; DROGEMULLER, Robin; TOTH, Bianca. Model interoperability in building information modelling. **Software and System Modeling**, v. 11, p. 99-109,

2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10270-010-0178-4>. Acesso em: 29 out. 2020.

STEINGRABER, Ronivaldo; FERNANDEZ, Ramon. A racionalidade limitada de Herbert Simon na Microeconomia. **Revista da Sociedade Brasileira de Economia Política**, v. 34, fev. 2013.

SUCCAR, Bilal. **BIMExcellence initiative**. [New York]: Bimexcellence, 2020. Disponível em: <https://bimexcellence.com>. Acesso em: 29 out. 2020.

SUCCAR, Bilal. Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>. Acesso em: 29 out. 2020.

SUCCAR, Bilal. Building information modelling maturity matrix. *In*: UNDERWOOD, Jason; ISIKDAG, Umit (ed.). **Handbook of research on building information modeling and construction informatics: concepts and technologies**. Hershey: IGI Global, 2010. p. 65-103. Disponível em: <https://doi.org/10.4018/978-1-60566-928-1.ch004>. Acesso em: 27 out. 2020.

SUCCAR, Bilal; KASSEM, Mohamad. Macro-BIM adoption: conceptual structures. **Automation in Construction**, v. 57, p. 64-79, Sept. 2015. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.018>. Acesso em: 27 out. 2020.

SUCCAR, Bilal; POIRIER, Erik. Lifecycle information transformation and exchange for delivering and managing digital and physical assets. **Automation in Construction**, v. 112, April. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103090>. Acesso em: 29 out. 2020.

SUCCAR, Bilal; SHER, Willy; WILLIAMS, Anthony. Measuring BIM performance: five metrics. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 8, n. 2, p. 120-142, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/17452007.2012.659506>. Acesso em: 29 out. 2020.

SUSMAN, Gerald I.; EVERED, Roger D., An assessment of the scientific merits of action research. **Administrative Science Quarterly**, v. 23, n. 4, p. 582-603, Dec. 1978. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2392581>. Acesso em: 29 out. 2020.

TAKEUCHI, Hirotaka; NONAKA, Ikujiro. **Gestão do conhecimento**. Tradução de Ana Thorell. Porto Alegre: Bookman, 2008.

TAMMIK Jeremy. **The Building Coder: Programming Forge, BIM and the Revit API**. [S. l.]: Buildingcoder, 2020. Disponível em: <<https://thebuildingcoder.typepad.com>>. Acesso em: 29 out. 2020.

TAO, Jing; LI, Lu; YU, Suiran. An innovative eco-design approach based on integration of LCA, CAD/CAE and optimization tools, and its implementation perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 839-851, June. 2018.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.213>. Acesso em: 27 out. 2020.

THE STORY OF COMPUTER GRAPHICS. **Computer Graphics World**, v. 22, n. 8, p. 64, Aug. 1999. Disponível em: <https://link.gale.com/apps/doc/A55512408/AONE?u=capes&sid=AONE&xid=6fee14ce>. Acesso em: 27 out. 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Prédios históricos abrigaram as primeiras escolas da UFMG**. Belo Horizonte: UFMG, 13 dez. 2017. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/predios-historicos-da-capital-abrigaram-as-primeiras-escolas-da-ufmg>. Acesso em: 29 out. 2020.

UNITED KINGDOM & IRELAND. Developing the open standards, tools and training that will drive the successful uptake of BIM. *Bulletin*, 5 Feb. 2013. Disponível em: <http://www.bre.co.uk/iai>. Acesso em: 20 maio 2020.

UNITED NATIONS STANDARD PRODUCTS AND SERVICES CODE®. [New York]: UNSPSC, 2021. Disponível em: www.unspsc.org Acesso em: 20 maio 2020.

VAN NEDERVEEN, G. A.; TOLMAN, F. P. Modelling Multiple Views on Buildings. **Automation in Construction**, v. 1, n. 3, p. 215-224, dez. 1992.

VICKERY, Brian. Faceted Classification for the Web. **Axiomathes**, v. 18, p. 145-160, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10516-007-9025-9>.

VIEIRA, Eliane. A percepção da informação e da sua relevância no cenário institucional: sob a perspectiva de gestores e líderes. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 12, p. 533-552, 2014. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/cadernosebape/article/view/9085>. Acesso em: 29 out. 2020.

WATSON, Alastair S. Digital buildings: challenges and opportunities. **Advanced Engineering Informatics**, v. 25, n. 4, p. 573 - 581, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.07.003>

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. [New York]: W3C, 2011. Disponível em: <http://www.w3c.org>. Acesso em: 29 out. 2020.

WORDPRESS. [BIM]. [S. l.]: Wordpress, 2021. Disponível em: https://fdscon.files.wordpress.com/2012/05/bim_1.jpg. Acesso em: 10 mar. 2021.

ZANCHETTA, Carlo *et al.* Computational design and classification systems to support predictive checking of performance of building systems. **Techne - Journal of Technology for Architecture and Environment**, v. 13, p. 329-336, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.13128/Techne-19759>. Acesso em: 29 out. 2020.

APÊNDICE A - Protótipo inicial

O projeto de concepção inicial do protótipo do sistema computacional, que faz parte da formulação proposta, é apresentado a seguir. O desenvolvimento do protótipo, que consiste em um aplicativo de extensão (*add-in*) para a plataforma BIM Autodesk Revit®, seguiu um processo pessoal de *software*, utilizando alguns procedimentos de engenharia de *software*. A seguir são mostrados os Casos de Uso considerados e posteriormente são apresentadas a visão geral da arquitetura do *software* desenvolvido e as telas ou interfaces gráficas propostas.

A.1 Casos de uso

Os Casos de Uso mostrados a seguir foram propostos para a concepção inicial do protótipo.

Selecionar um CICS para ser utilizado.

Verificar o uso do CICS em objetos BIM;

Atribuir códigos de classificação em objetos BIM;

O primeiro Caso de Uso consiste na seleção de um CICS a ser utilizado no protótipo. Neste caso de uso, basta selecionar o CICS e validar a alteração. A partir desse ponto, os parâmetros a serem consultados são os parâmetros definidos na planilha utilizada no aplicativo *Classification Manager* para definir o CICS a ser utilizado no modelo BIM. A seguir são mostrados os pacotes e as classes concebidas para a execução do protótipo.

O segundo Caso de Uso é utilizado para consultar, e eventualmente alterar, códigos de classificação aos objetos BIM da categoria de família selecionada. Essa funcionalidade foi prevista para facilitar o desenvolvimento e os testes, porque a atribuição dos códigos de classificação também pode ser feita utilizando o aplicativo *Autodesk Classification Manager for Revit*. Este Caso de Uso possui o um fluxo de extensão que é a execução do primeiro Caso de Uso. Após selecionado o CICS, por meio do fluxo de extensão, um dos botões que se referem às categorias de Família deve ser acionado. O formulário de detalhes é então exibido, e nele é possível consultar e alterar os códigos de classificação que são armazenados como

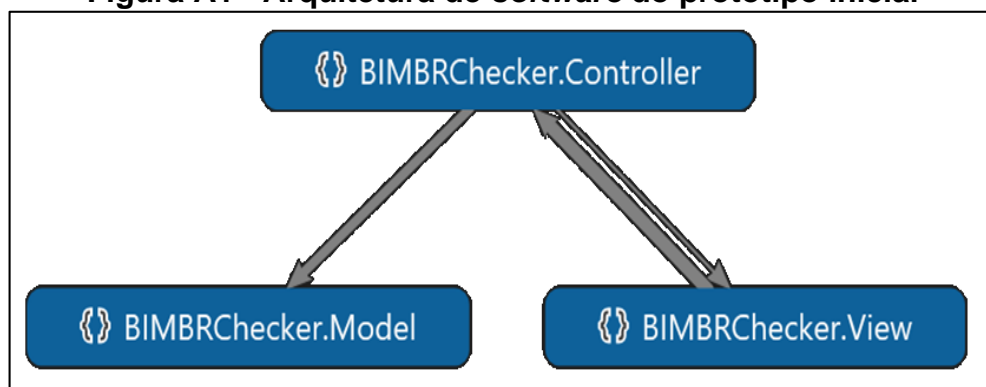
parâmetros nos Tipos de Família existentes no modelo BIM, considerando a categoria de Família previamente selecionada.

O terceiro Caso de Uso realiza a verificação da utilização de um sistema de classificação da informação da construção (CICS). Esse caso de uso possui um fluxo de extensão, que consiste na seleção de um CICS para a ser utilizado. Esse fluxo de extensão consiste na execução do primeiro Caso de Uso. Após selecionado o CICS, por meio do fluxo de extensão, o processamento do mecanismo de verificação de regras é realizado e os resultados são exibidos na própria tela.

A.2 Arquitetura do sistema

A Figura A1, a seguir, apresenta um diagrama com a arquitetura de *software* do concebida para protótipo em alto nível. Nota-se que a base dessa arquitetura, ou estrutura geral do projeto de desenvolvimento, foi o padrão de projeto de *software* *Model-View-Controller* (MVC).

Figura A1 - Arquitetura de *software* do protótipo inicial



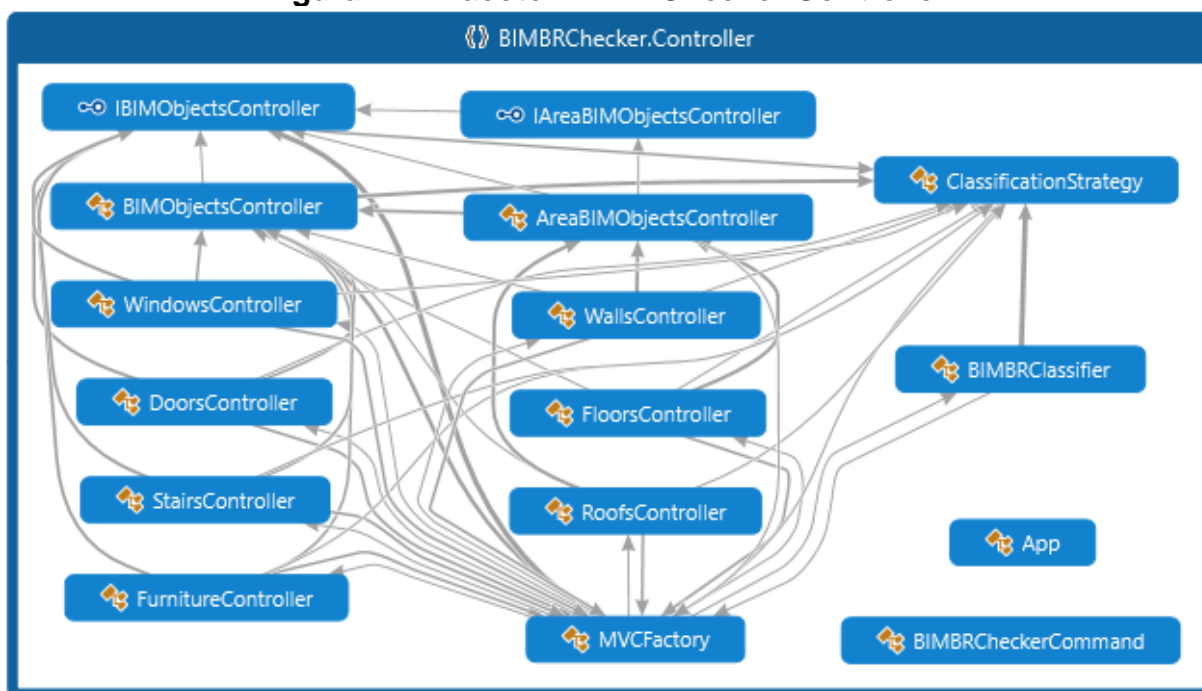
Fonte: Elaborado pelo autor.

A.3 Classes do sistema

- Pacote *BIMBRChecker.Controller*

As estruturas de Controle (*Controller*), que operacionalizam o padrão MVC, estão contidas no pacote *BIMBRChecker.Controller*. Na Figura A2 são mostradas as classes que fazem parte desse pacote.

Figura A2 - Pacote *BIMBRChecker.Controller*



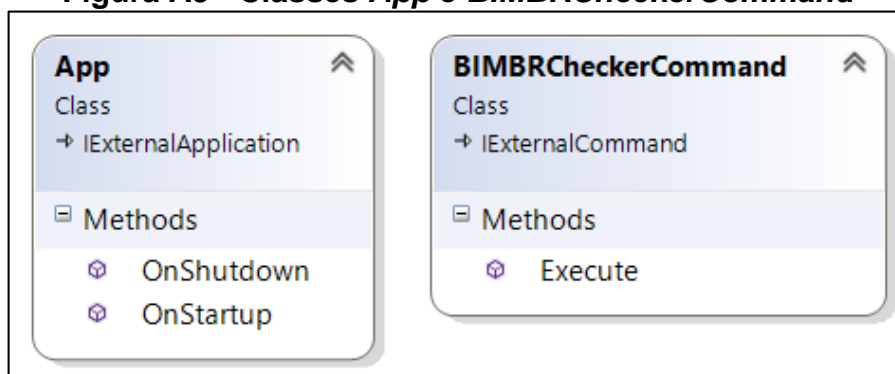
Fonte: Elaborado pelo autor.

As classes *App* e *BIMBRCheckerCommand*, mostradas na Figura A3, são implementações das interfaces *IExternalAppliticacion* e *IExternalCommand*, respectivamente. As interfaces *IExternalAppliticacion* e *IExternalCommand* são disponibilizadas pela API do *software* Revit e fornecem uma estrutura básica para criação de um *add-in*. Vale ressaltar que a classe *BIMBRCheckerCommand*, criada como uma implementação da interface *IExternalCommand*, representa o uso do padrão de projeto de *software* *Command*, que é um dos padrões catalogados por Gamma *et al.* (2000).

As duas classes indicadas na Figura A3 são os pontos principais para fazer chamadas às demais classes, métodos e estruturas de dados a serem implementadas no protótipo. O fluxo de execução geral do aplicativo se inicia quando é acionado o método *OnStartup()* da classe *App*, e finaliza com a chamada ao método *OnShutdown()* dessa mesma classe.

O método *Execute()*, da classe *BIMBRCheckerCommand*, é acionado quando o usuário inicia o uso do *add-in* a partir do menu de ferramentas do Revit. Esse comando é responsável pela exibição do formulário que inicia a interação do usuário com as funcionalidades do protótipo. As demais classes que fazem parte do pacote *BIMBR.Controller*, concebidas para executar o protótipo, são detalhadas a seguir.

Figura A3 - Classes *App* e *BIMBRCheckerCommand*



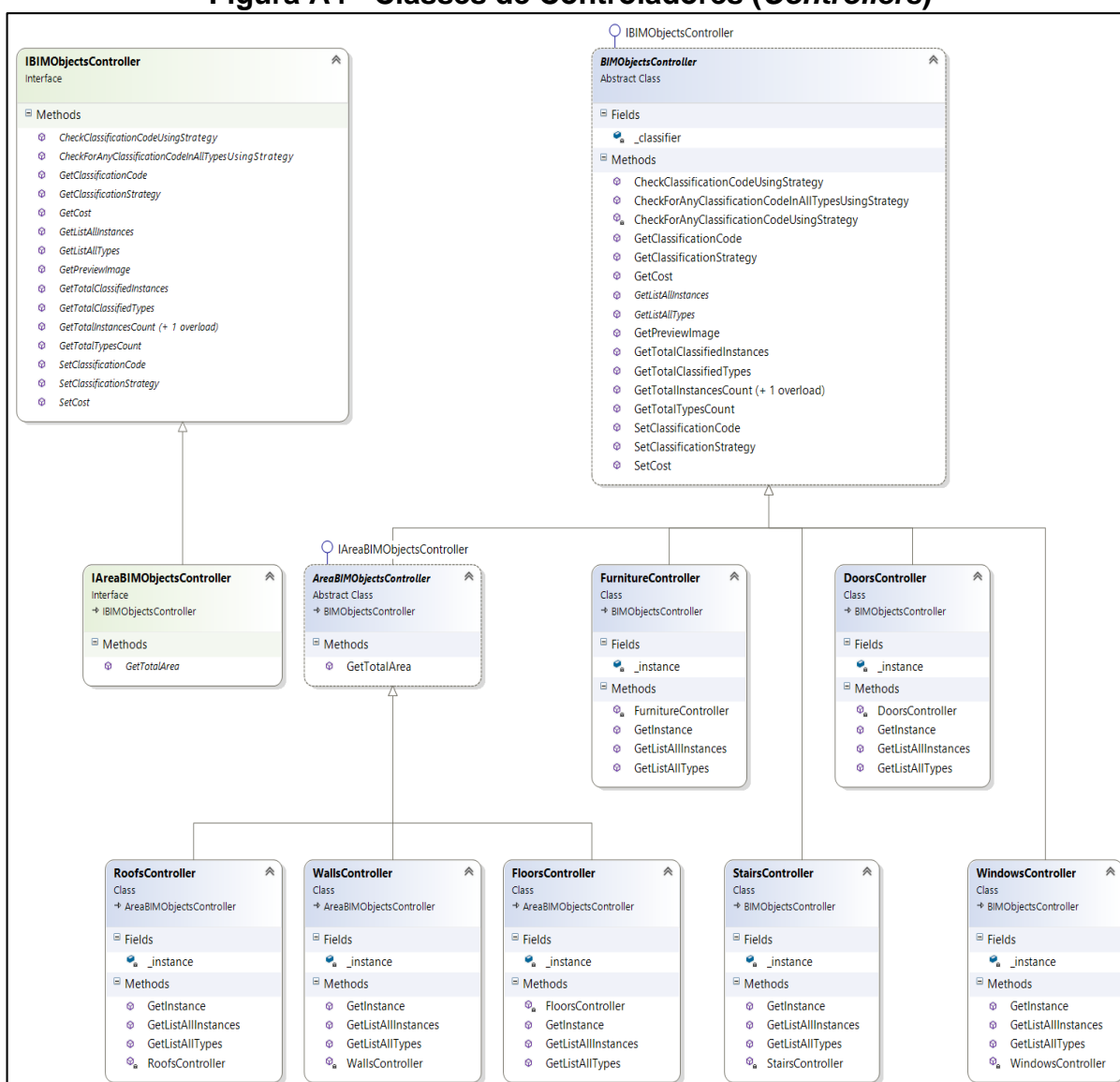
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura A4 mostra os controladores concebidos, tendo em vista a implementação do padrão de projeto de *software* MVC. Esses controladores foram criados mediante o uso de Interfaces, Classes Abstratas e Classes Concretas, que são estruturas de dados utilizadas na Orientação a Objetos. Uma Interface é uma abstração completa dos métodos que fazem parte de uma Classe de Objetos. Uma Classe Abstrata pode ter alguns métodos implementados, de maneira concreta, e outros de forma abstrata, mas não é uma estrutura de dados pronta para ser executada, pois necessita que uma Classe Concreta implemente suas partes abstratas. No protótipo, foram concebidos sete controladores concretos, que fazem a recuperação e o tratamento da informação sobre objetos BIM de Categorias de e Tipos de Famílias específicos. As sete classes concretas de controladores concebidos para implementar o fluxo do protótipo são as seguintes: *RoofsController* (Controlador de Famílias de Telhados), *WallsController* (Controlador de Famílias de Paredes), *FloorsController* (Controlador de Famílias de Pisos), *FurnitureController* (Controlador de Famílias de Móveis), *DoorsController* (Controlador de Famílias de Portas), *WindowsController* (Controlador de Famílias de Janelas) e *StairsController* (Controlador de Famílias de Escadas). Foi criado um controlador para cada categoria de Família de objetos BIM porque cada uma delas possui suas particularidades e precisa ter suas informações recuperadas a partir do modelo BIM de forma diferente.

As características comuns entre alguns desses objetos permitiram a concepção de algumas superclasses abstratas, quais sejam, a classe abstrata *AreaBIMObjectsController*, que generaliza *RoofsController*, *WallsController* e *FloorsController*, e a classe abstrata *BIMObjectsController*, que generaliza *AreaBIMObjectsController* e os demais controladores concretos.

Também foram criadas duas interfaces, *IBIMObjectsController* e *IAreaBIMObjectsController*, que definem as assinaturas dos métodos a serem implementados pelas classes de controladores. Nota-se pela Figura A4 que a maior parte dos métodos definidos por essas duas interfaces foram implementados nas classes abstratas, proporcionando um grande reuso de *software* e deixando o código com maior facilidade de expansão e manutenção futuras.

Figura A4 - Classes de Controladores (Controllers)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na concepção do protótipo também foram utilizados alguns dos padrões de projeto de *software* descritos por Gamma *et al.* (2000). O padrão *Singleton* foi implementado em algumas classes para que elas possuam uma única instância. As classes que representam os controladores concretos, por exemplo, foram

implementadas como *Singletons*, e suas instâncias únicas ficam armazenada no atributo *_instance*, como pode ser visto na Figura A4. A opção pelo uso desse padrão foi porque como essas classes não possuem dados, não há necessidade de serem instanciadas múltiplas vezes.

O padrão de projeto de *software Strategy* também foi implementado no conjunto de classes de controladores. Esse padrão define uma abstração para a implementação genérica de uma estratégia ou algoritmo. No protótipo, o padrão *Strategy* foi utilizado para selecionar uma estratégia de classificação dos modelos e objetos BIM. O uso desse padrão pode ser percebido pela presença do atributo *_classifier* na classe abstrata *BIMObjectsController*, que por sua vez remete a uma instância da classe *ClassificationStrategy*.

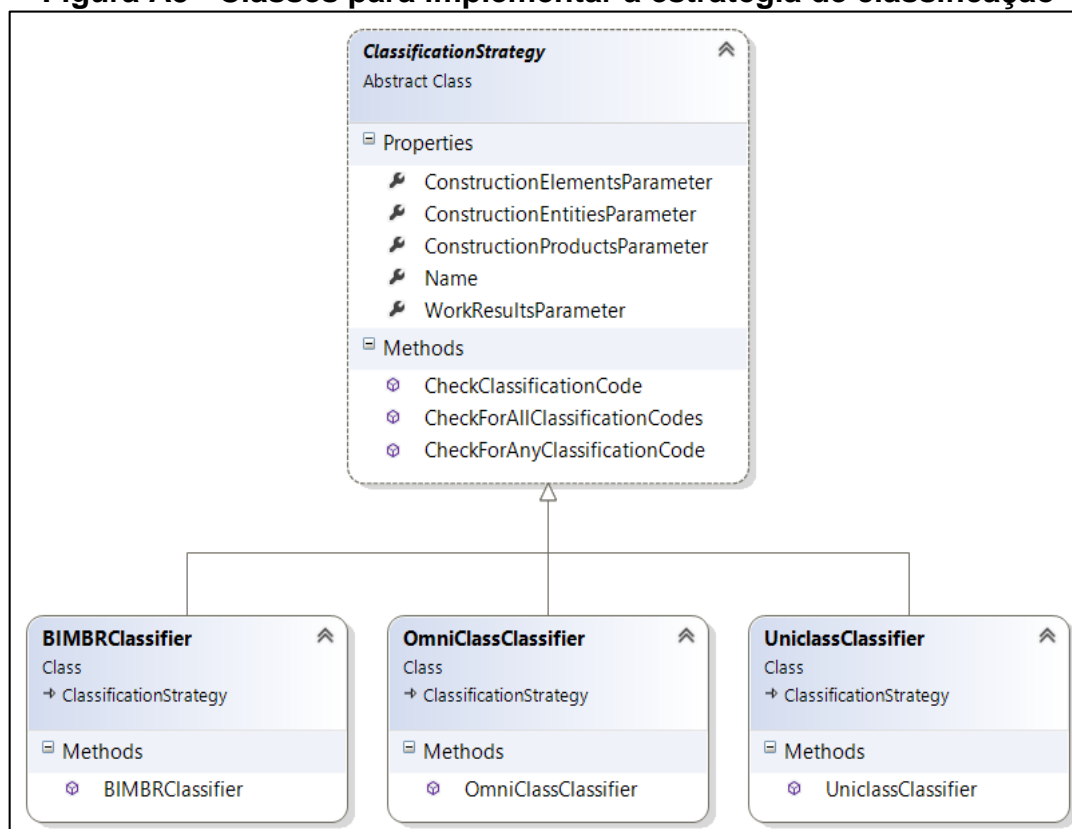
O acionamento da estratégia é feito quando os seguintes métodos, definidos na interface *IBIMObjectsController* e implementados na classe abstrata *BIMObjectsController*, são executados:

- *CheckClassificationCodeUsingStrategy()*;
- *CheckAllClassificationCodesUsingStrategy()*.

A classe *ClassificationStrategy* é uma classe abstrata e uma de suas implementações concretas precisa ser utilizada na execução do aplicativo. Cada uma das classes concretas mostradas na Figura A5 se refere a um CICS, que representa então a estratégia a ser utilizada para a realizar a verificação da classificação nos modelos BIM. Vale lembrar que os códigos de classificação de objetos BIM são armazenados e recuperados a partir de parâmetros dos objetos BIM. Na Figura A5, são mostradas as classes concebidas para implementar o padrão *Strategy* nos controladores concebidos no protótipo.

A estratégia de classificação depende do classificador, que é um atributo da classe *BIMObjectsController*. Esse classificador, que determina quais os parâmetros serão recuperados nos objetos BIM, é acionado pelo método *GetClassificationStrategy()*. O classificador é uma instância de um objeto da classe abstrata *ClassificationStrategy*, que por sua vez possui três classes concretas que a especializam, como mostrado na Figura A5. Assim, nessas classes concretas são definidos os parâmetros a serem armazenados e recuperados nos objetos BIM, dependendo do CICS adotado.

Figura A5 - Classes para implementar a estratégia de classificação



Fonte: Elaborado pelo autor.

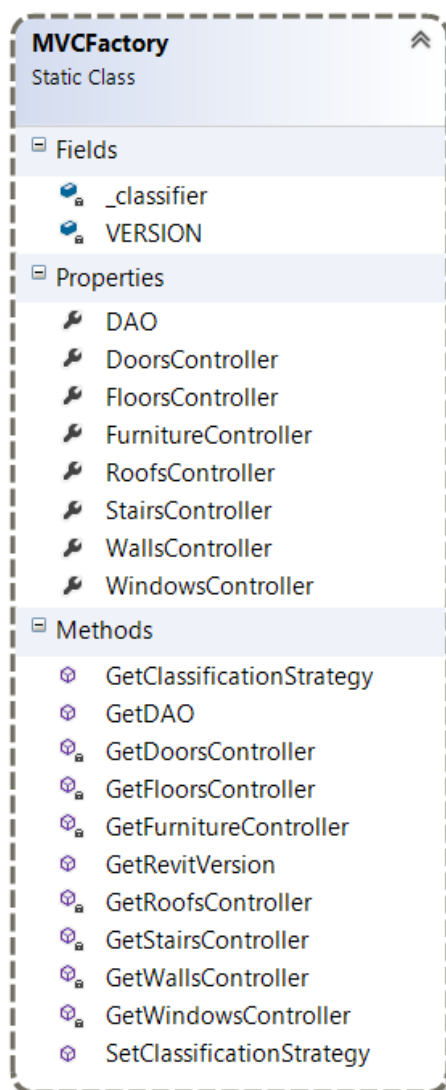
Nota-se, na Figura A5, que além da classe *BIMBRClassifier*, criada para implementar o CICS brasileiro, definido pela Norma ABNT NBR 15965, foram criadas duas outras classes derivadas de *ClassificationStrategy*, uma para implementar o CICS OmniClass (*OmniClassClassifier*) e outra que representa a estratégia de classificação definida pelo sistema Uniclass (*UniclassClassifier*).

Vale ressaltar que, a princípio, a implementação de outros CICS, além do brasileiro, não fazia parte do escopo da presente pesquisa. Entretanto, como os testes realizados mostraram a viabilidade da implementação de outros CICS, essas três classes foram mantidas para a implementação de opções de classificadores como estratégias no protótipo. Ressalte-se que o aprofundamento da concepção e da implementação soluções que contenham outros CICS fica como sugestão para futuros desenvolvimentos.

A Figura A6 mostra a estrutura da classe *MVCFactory*, que representa o uso de uma adaptação do padrão de projeto de *software Factory Method* (GAMMA *et al*, 2000). A classe *MVCFactory*, que é uma classe estática, é responsável por fornecer as instâncias dos controladores concretos e da estratégia de classificação para que

as demais classes do sistema possam processar a recuperação da informação necessária nos modelos BIM e com isso realizar a verificação da aderência dos objetos e modelos BIM ao CICS selecionado, conforme a estratégia de classificação adotada.

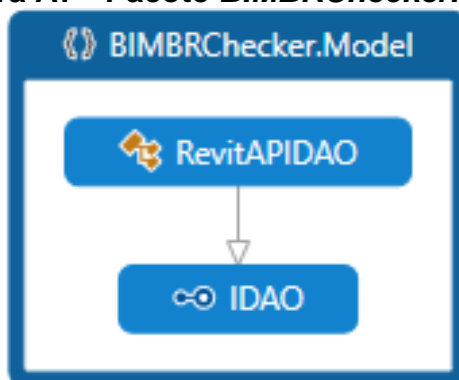
Figura A6 - Classe MVCFactory



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Pacote *BIMBRChecker.Model*

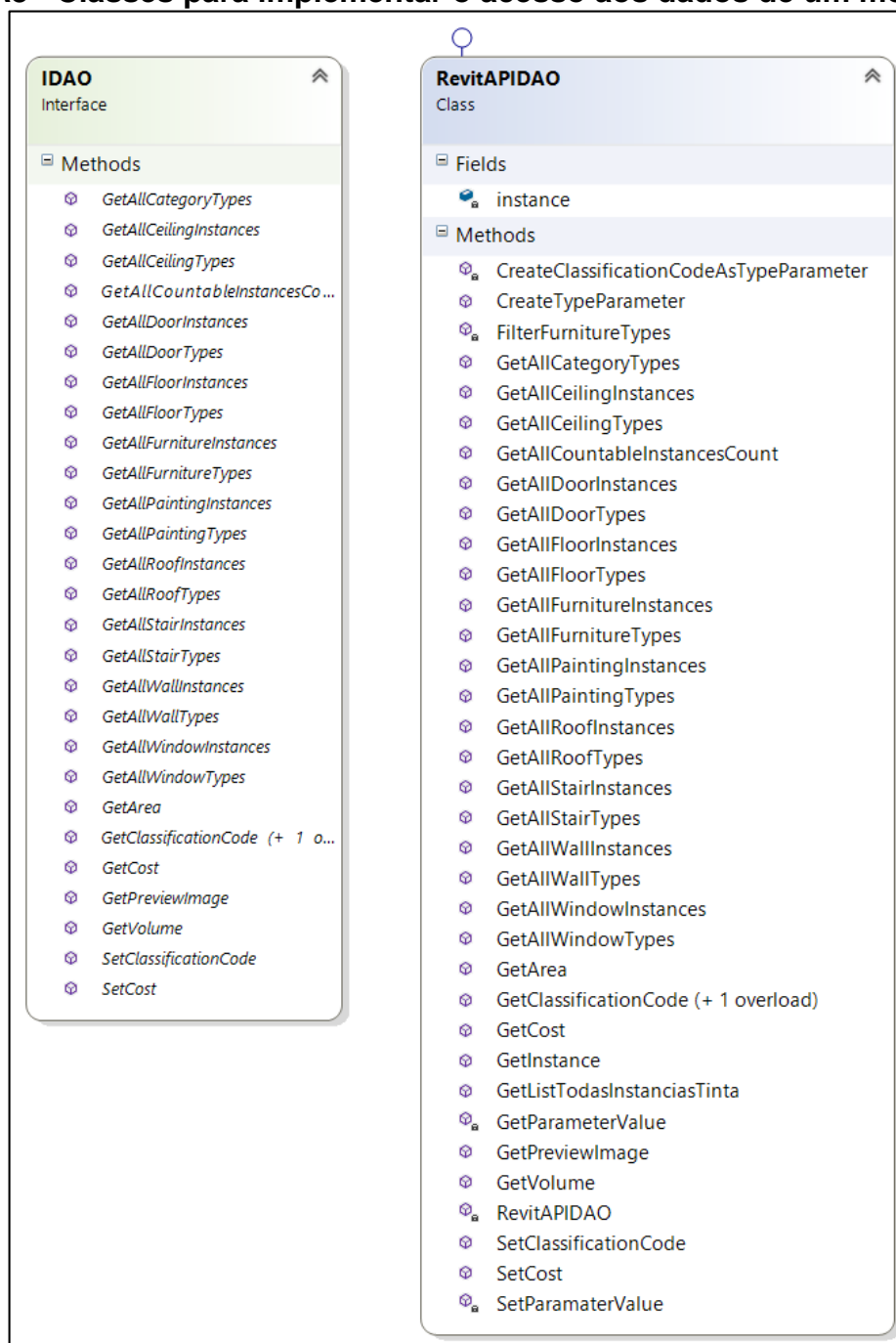
A classe e a interface que fazem parte do componente Modelo (*Model*) do padrão de projeto de software MVC são implementadas no pacote *BIMBRChecker.Model*, mostrado na Figura A7.

Figura A7 - Pacote *BIMBRChecker.Model*

Fonte: Elaborado pelo autor.

A classe *RevitAPIDAO*, que implementa a interface *IAPIDAO*, utiliza o padrão de projeto de *software Façade*, (GAMMA *et al.*, 2000). Esse padrão funciona como uma fachada para uniformizar os acessos aos métodos fornecidos pela API do Revit. Também foi concebida uma estrutura baseada no padrão de Objeto de Acesso a Dados (Data Access Object - DAO), usualmente aplicado no desenvolvimento de aplicações para a *web* utilizando a linguagem Java (ORACLE, 2021). Assim, a interface *IAPIDAO* fornece uma abstração para o acesso ao mecanismo de persistência dos dados, e a classe *RevitAPIDAO* concretiza os métodos que acessam os dados dos modelos BIM utilizando os recursos disponibilizados pela API do *software* Revit. A Figura A8, a seguir, mostra essa estrutura de classes contém uma série de métodos que permitem recuperar e tratar a informação armazenada nos modelos BIM, bem como atribuir valores, viabilizando assim o processamento necessário para a execução do protótipo.

Figura A8 - Classes para implementar o acesso aos dados de um modelo BIM

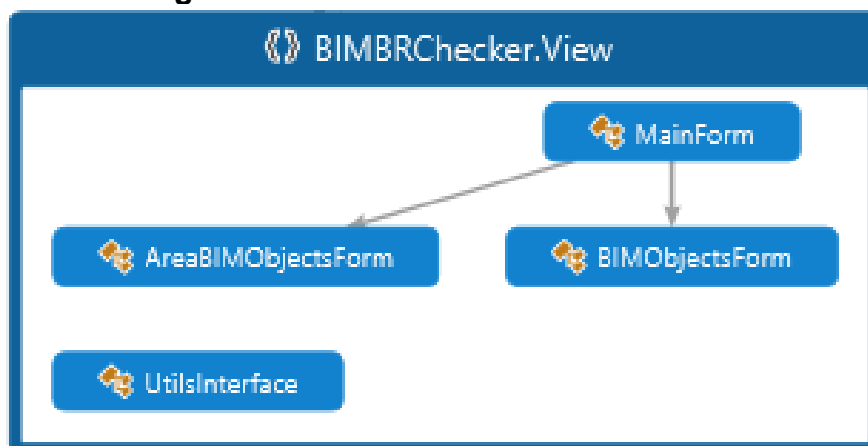


Fonte: Elaborado pelo autor.

- Pacote *BIMBRChcker.View*

O pacote *BIMBRChcker.View*, representado na Figura A9, contém as estruturas de dados que compõem as Vistas (*View*), no contexto do padrão MVC. No caso do projeto do protótipo, esse pacote contém as classes utilizadas para criar os formulários de interface gráfica responsáveis pela interação do usuário com o sistema.

Figura A9 - Pacote *BIMBRChecker.View*



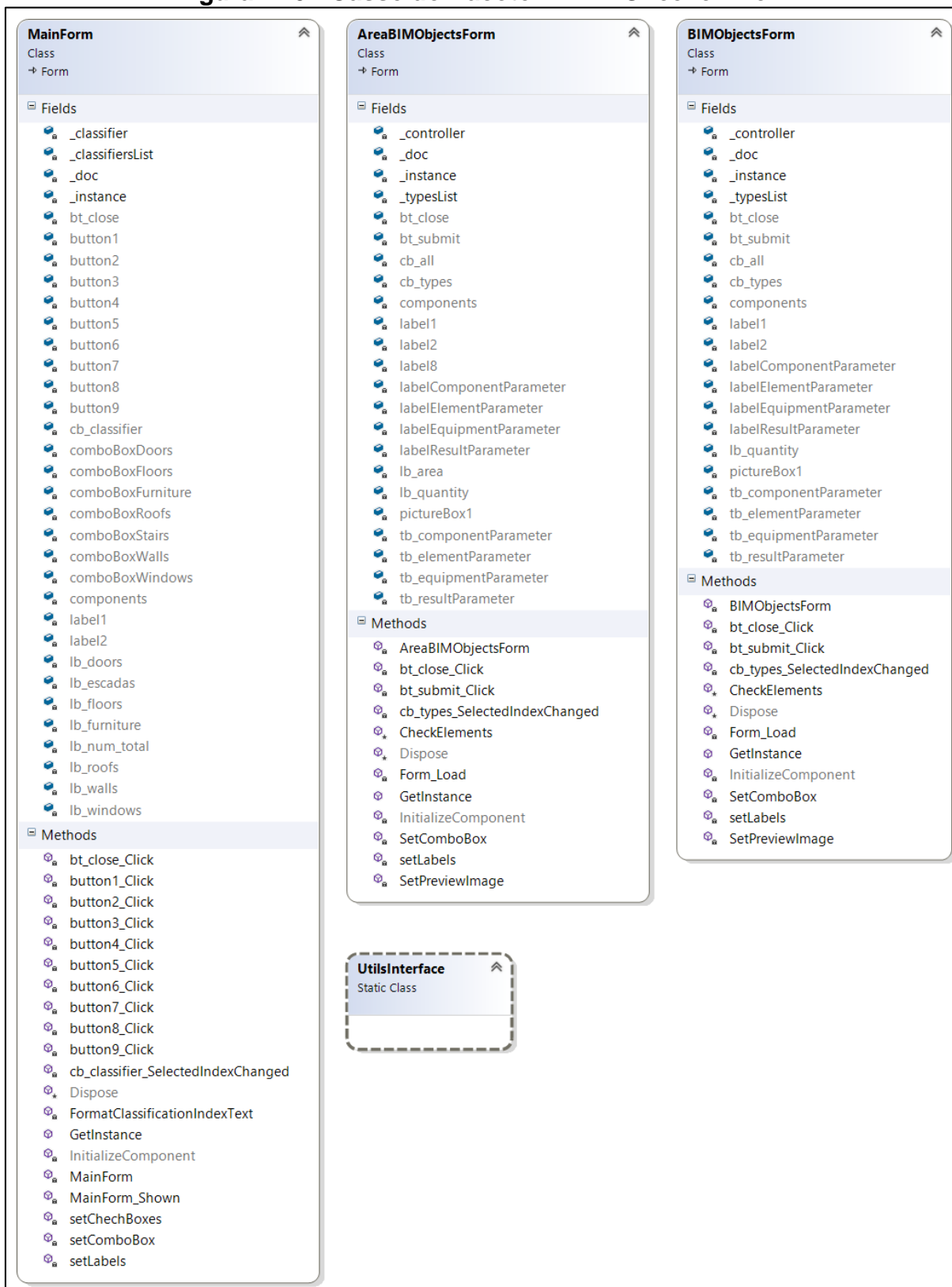
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura A10 mostra as classes contidas no pacote *BIMBRChecker.View* e seus respectivos métodos. Essas classes são responsáveis pela manipulação de componentes das interfaces gráficas, como caixas de diálogo, formulários, botões, caixas de texto, *labels* e *comboBoxes*.

A Figuras A11, A12 e A13 apresentam o formulário principal do protótipo e dois tipos de formulário criados para mostrar detalhes de objetos BIM. Os objetos BIM foram agrupados em Categorias de Famílias para poderem ser quantificados. Assim, foi possível realizar a contagem do número de instâncias de Famílias e de Tipos de Famílias dos objetos BIM, tendo em vista a organização da estrutura interna de classes do *software* Revit.

Ressalte-se que outras formas de recuperação e organização de informações sobre os objetos BIM também são possíveis, mas o agrupamento por Categorias de Famílias possibilitou a realização da análise proposta, que consiste na verificação do uso de um sistema Classificação da Informação da Construção (CICS). No protótipo concebido inicialmente, foi criado um formulário para exibir e manipular detalhes de Famílias de objetos BIM genéricas, como Portas, Janelas, Mobiliário e Escadas, e outro formulário para detalhar Famílias de objetos BIM que permitem a extração de uma medida de área, como Paredes, Telhados e Pisos. Assim, apesar de não serem considerados inicialmente no processo de verificação de regras a ser implementado, os valores recuperados dos modelos BIM referentes a medidas de áreas utilizadas por objetos BIM podem ser utilizados em futuras análises.

Figura A10 - Casse do Pacote *BIMBRChecker.View*



Fonte: Elaborado pelo autor.

A.4 Telas (interfaces gráficas)

O Formulário principal (*MainForm*), mostrado na Figura A11, é exibido quando o comando *BIMBRCheckerCommand* é acionado a partir do menu suplementos (*add-ins*) do software Revit.

Figura A11 - Tela principal do protótipo

Todos classificados

Janelas Janelas Classificação

Portas Portas Classificação

Janelas Janelas Classificação

Pisos Pisos Classificação

Mobiliário Mobiliário Classificação

Escadas Escadas Classificação

Telhados Telhados Classificação

Quantidade de tipos classificados/quantidade total de tipos
Quantidade de instâncias classificadas/quantidade total de instâncias

Construction Information Classification System (CICS):

Atualizar [Dropdown] Fechar

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura A12 - Tela de objetos BIM - *BIMObjectForm*

BIM Objects

Todos classificados

Lista de Tipos:

[Dropdown]

Instâncias: 0

Construction Products/Components:
(ISO 12006-2: A.3/NBR 15965: 2C)

[Text Box]

Construction Elements/Elements:
(ISO 12006-2: A.11/NBR 15965: 3E)

[Text Box]

Work Results/Construction Results:
(ISO 12006-2: A.12/NBR 15965: 3R)

[Text Box]

Alterar Fechar

Fonte: Elaborado pelo autor.

Um dos dois formulários de detalhamento é exibido quando os botões contendo os nomes das Categorias de Família são acionados. As Categorias de Família analisadas no protótipo podem ser genéricas, e utilizar o formulário *BIMObjectForm*, Figura A12, ou associadas a medidas de área, e utilizar o formulário *AreaBIMObjectForm*, Figura A13.

Figura A13 - Tela de objetos BIM que lidam com área - *AreaBIMObjectForm*

Area BIM Objects

Todos classificados

Lista de tipos:

Instâncias: 0 Área: 0

Construction Products/Components:
(ISO 12006-2: A.3/NBR 15965: 2C)

Construction Elements/Elements:
(ISO 12006-2: A.11/NBR 15965: 3E)

Work Results/Construction Results:
(ISO 12006-2: A.12/NBR 15965: 3R)

Alterar Fechar

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com essa estrutura de classes, o protótipo concebido foi implementado na forma de um *add-in* para o *software* Revit e executado para avaliar modelos BIM com relação à aderência a um CICS. Vale reiterar que o protótipo tem como base o padrão de projeto de *software* MCV e também utiliza outros padrões internamente, como apresentado nesta seção.

APÊNDICE B - Implementação do LITE *Framework*

São apresentados a seguir alguns detalhes dos procedimentos de levantamento de requisitos, análise e projeto do sistema de *software* e sua implementação computacional, assim como alguns testes. O sistema concebido contém parte dos conceitos e procedimentos propostos no LITE *Framework* (SUCCAR; POIRIER, 2020) e teve o objetivo de avaliar a viabilidade de utilização desse *framework* no contexto do protótipo que faz parte dos desenvolvimentos da pesquisa.

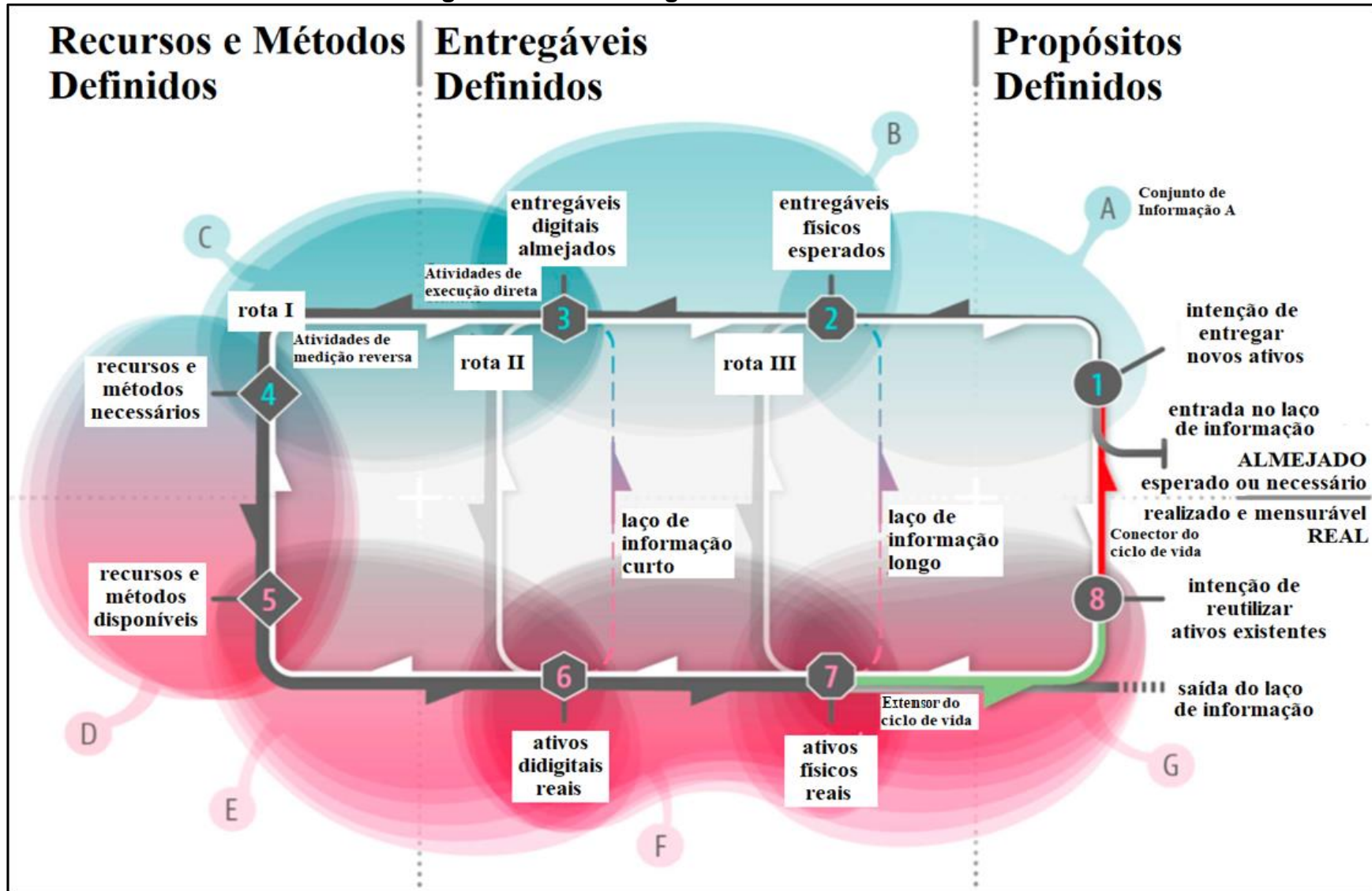
B.1 Análise e requisitos

O LITE (Lifecycle Information Transformation And Exchange) *Framework* define fluxos de informação que podem ser percorridos para representar o ciclo de vida de ativos. Ao percorrer esses fluxos, foram definidos, além de outros aspectos e conceitos, os seguintes componentes conceituais ou componentes-chave:

- a) Marcos de Informação (*Information Milestones*);
- b) Status de Informação (*Information Status*);
- c) Estados de Informação (*Information States*);
- d) Fluxos de Informação (*Information Flows*);
- e) Rotas de Informação (*Information Routes*);
- f) Laços de Informação (*Information Loops*);
- g) Ações de Informação (*Information Actions*);
- h) Atalhos de Informação (*Information Shortcuts*);
- i) Conjuntos de Informação (*Information Sets*);
- j) Camadas de Informação (*Information Tiers*).

Os componentes-chave do LITE *Framework* são mostrados na Figura B1 e detalhados nos Quadros B1, B2 e B3. Em seguida são apresentados os Casos de Uso identificados e as classes geradas para implementar computacionalmente alguns desses componentes e suas relações.

Figura B1 - Resumo geral do LITE Framework



Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020).

Quadro B1 - Componentes-chave do LITE Framework - status, estados, marcos, fluxos e rotas de informação

Componente	Descrição
Status de Informação (<i>Information Statuses</i>)	Os Status de Informação descrevem a informação à medida que ela se transforma de almejada (<i>To Be</i>) para atualizada ou real (<i>As Is</i>). Os quatro primeiros Marcos de Informação possuem o status Almejado (<i>Targeted</i>), que se refere ao aspecto dos propósitos, intenções ou objetivos a serem alcançados, e os quatro últimos marcos são referentes ao status Real (<i>Actual</i>), ou seja, o que está realizado ou que se verifica existente. Os componentes do LITE Framework que têm o Status de Informação Almejado estão mostrados na parte superior do diagrama mostrado na Figura B1 e os componentes com Status de Informação Real se encontram na parte inferior.
Estados de Informação (<i>Information States</i>)	Os Estados de Informação descrevem a informação conforme ela se transforma. A informação parte da definição de propósitos, passa pela definição entregáveis, que podem ser ativos físicos ou digitais, e finalmente passa pela definição de recursos e métodos, necessários para entregar os ativos conforme pretendido. O fluxo proposto pelo LITE Framework possui três Estados de Informação. Começando pela passagem do Marco de Informação [1] para o Marco de Informação [2], há a definição de Propósitos (<i>Defined Purposes</i>), e ambos possuem o Status de Informação Almejado, ou seja, de objetivo a ser alcançado. Em seguida, ainda com Status Almejado, tem-se a definição dos Entregáveis (<i>Defined Deliverables</i>), físicos - Marco [2] e digitais - Marco [3], e dos Recursos e Métodos (<i>Defined Resources and Methods</i>), Marco 4. Na passagem do Marco [4] para o Marco [5], verifica-se a mudança para o Status Atualizado, tendo em vista os recursos e métodos disponíveis. Os Marcos de Informação de [5] a [8] possuem o Status de Informação Atualizado, e os Estados de Informação evoluem nessa trajetória mediante verificações acerca do que já foi realizado até chegar a uma nova definição de propósito para se reiniciar o fluxo.
Marcos de Informação (<i>Information Milestones</i>)	Os Marcos de Informação descrevem os pontos de deflexão naturais onde a informação se transforma de uma ideia sobre um ativo, para uma representação digital de um ativo, para se tornar o próprio ativo físico.
Fluxos de Informação (<i>Information Flows</i>)	Os quatro Fluxos de Informação são os percursos que a informação de um ativo percorre ao longo de seu ciclo de vida, e as oito Portas de Informação são os mecanismos que controlam esses fluxos. Em cada um dos oito marcos de informação, há conexões com o ambiente externo e interno. Nesses pontos, ou seja, associado em cada marco, existe uma Porta de Informação, em que há possibilidade de o fluxo se estender no sentido externo e interno. O Framework LITE possui os seguintes Fluxos de Informação: O Fluxo Direto (<i>Forward Flow</i>) se inicia no Marco [1] e avança em direção ao Marco [8], quando todo o fluxo pode ser reiniciado. Se refere a ações de execução; O Fluxo Reverso (<i>Reverse Flow</i>). Esse fluxo existe porque o percurso do Fluxo Direto também pode ser percorrido no sentido reverso. Se refere a ações de medição; O Fluxo Externo (<i>Outward Flow</i>) que é quando a informação é compartilhada; O Fluxo Interno (<i>Inward Flow</i>), que se refere ao processo de captura de informação.
Rotas de Informação (<i>Information Routes</i>)	As trajetórias sequenciais de Marcos de Informação ao longo do Fluxo de Informação Direto definem três Rotas de Informação, que dependem do seu Grau de Autonomia (<i>Degree of Autonomy</i>). A Rota de Informação completa, do Marco de Informação [1] ao [8], é chamada de Rota I - Assistida (<i>Route I - Assisted Route</i>). Uma segunda rota possível é a que suprime os Marcos de Informação [4] e [5], e é chamada de Rota II - Automatizada/Automática (<i>Route II - Automated/Automatic</i>). Uma terceira rota, que possui apenas os Marcos de Informação [1], [2], [7] e [8], é chamada de Rota III - Autônoma (<i>Route III - Autonomous</i>).

Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020).

Quadro B2 - Componentes-chave do LITE Framework - laços de informação

Componente	Descrição
<p align="center">Laços de Informação (<i>Information Loops</i>)</p>	<p>Cada Rota de Informação pode ser percorrida inúmeras vezes, executando cada vez um Laço de Informação. O Laço de Informação é dito Aberto quando as informações fluem uma vez ao longo de uma rota e quanto (algumas ou todas) informações fluem duas ou mais vezes ao longo de uma rota o Laço de Informação é Fechado. A totalidade de um Ciclo de Informação (começando e voltando para o Marco de Informação [1] determina o Laço de Informação Completo (<i>Full Information Loop</i>). O Laço de Informação Completo pode ser fechado por meio do Extensor do Ciclo de Vida (<i>Lifecycle Extender</i>), que liga os Marcos de Informação [7] e [8], e do Conector do Ciclo de Vida (<i>Lifecycle Connector</i>), que liga os Marcos de Informação [8] e [1]. O Laço de Informação Curto (<i>Short Information Loop</i>) liga o Marco de Informação [6] de volta ao Marco de Informação [3], indicando uma Iteração de Design (<i>Digital Iteration</i>), ou seja, um versionamento (digital). Esse versionamento pode se referir ao redesenho (<i>redesign</i>) parcial ou completo de um ativo, ou uma variação na medida de conhecida como Nível de X (Level of X - LoX) de um Ativo Digital. Nível de X é um termo genérico que se refere a todas as variedades de especificações de modelagem semelhantes a Nível de Desenvolvimento, Nível de Definição, Nível de Detalhe ou Detalhamento, Nível de Necessidade de Informação (<i>Level of Information Need</i>) e Nível de Precisão. No contexto do LITE Framework, LoX não é um índice real, mas uma referência coletiva para todas as variações atuais e futuras do acima. Se os mesmos Recursos e Métodos forem usados, ou se a iteração for conduzida de forma automatizada/automática, os Marcos [4] e/ou [5] podem ser ignorados ou desviados. É importante ressaltar que nesse caso o Laço de Informação Curto se resume ao Acoplamento Digital (<i>Digital Couple</i>), Marco de Informação [3] e Marco de Informação [6], mas é necessário observar os motivos válidos e riscos associados ao pegar os Desvios de Marco de Informação [4] e [5]. O Desvio do Marco de Informação [4] é válido se a Rota II ou III for seguida ou se os Recursos e Métodos existentes forem os únicos disponíveis durante o Laço de Informação atual, e o risco associado é de utilização de recursos inadequados - atores humanos incompetentes ou máquinas ineficazes - e implantação de métodos não ideais para a entrega dos Ativos Digitais Almejados ou Ativos Físicos Esperados (caso estejam definidos). O Desvio do Marco de Informação [5] é válido se a Rota II ou III for seguida, e o risco associado é de não receber algum ou alguns dos Ativos Digitais Almejados ou Ativos Físicos Esperados (caso estejam definidos). O Laço de Informação Longo (<i>Long Information Loop</i>) liga o Marco de Informação [7] de volta ao Marco de Informação [2], indicando uma Iteração de Entrega (<i>Delivery Iteration</i>). A Iteração de Entrega pode ser devido a uma reconstrução, uma nova fabricação ou remanufatura, uma customização e/ou uma correção de erro de projeto, construção, fabricação ou instalação. De forma similar à Iteração de Design, na Iteração de Entrega os Desvios de Marco de Informação [4] e [5] também podem ocorrer. Ainda é possível, com o uso de Atalhos de Informação os Desvios de Marco de Informação [3] e [6]. O Desvio do Marco de Informação [3] é válido se nenhum Ativo Digital for direcionado para design ou entrega dentro do Laço de Informação atual, e o risco associado é de entrega de Ativos Digitais que não correspondem à intenção original da Entidade Demandante ou permitem a entrega de Ativos Físicos Esperados (caso estejam definidos). O Desvio do Marco de Informação [6] é válido se a Rota III for seguida; se os Ativos Físicos são simples e não se beneficiariam de uma maquete (<i>mock-up</i>) digital; ou se os novos Ativos Físicos forem uma replicação direta dos existentes/disponíveis, e o risco associado é de entregar Ativos Físicos sem serem testados/analísados digitalmente e sem terem um registro digital para uso/reuso. É importante ressaltar que, caso os Desvios de Informação [3], [4], [5] e [6] sejam tomados, o Laço de Informação Longo se resume ao Acoplamentos Físico (<i>Physical Couple</i>), Marco de Informação [2] e Marco de Informação [7]. Cada ativo pode ter seu próprio Ciclo de Vida de Informação ou estar incluído no ciclo de vida de informação de seu Ativo Principal (<i>Parent Asset</i>). Um ativo de qualquer Escala de Ativo (<i>Asset Scale</i>) pode ser concebido, projetado ou entregue em uma ou múltiplas iterações. Em uma metodologia de desenvolvimento ágil como o <i>Scrum</i>, as iterações constituem os <i>Sprints</i> de Informação, que podem ter duração variada.</p>

Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020).

Quadro B3 - Componentes-chave do LITE Framework - ações, atalhos, conjuntos e camadas de informação

Componente	Descrição
Ações de Informação (<i>Information Actions</i>)	A cada mudança de Marco Informação nos Fluxos de Informação Direto e Reverso (ou, no caso dos Fluxos de Informação Interno e Externo, de um laço interno e externo, respectivamente, com a permanência no mesmo Marco de Informação), é associado a uma Ação de Informação. As Ações de Informação representam grupos de atividades que podem ser subdivididos em subatividades, tarefas, subtarefas, sendo os Passos (<i>Steps</i>) os menores incrementos. Foram definidas dez Ações Diretas (<i>Forward Actions</i>), também chamadas de Ações de Execução (<i>Execution Actions</i>) ou Ações de Execução Direta (<i>Forward Execution Actions</i>), e dez Ações Reversas (<i>Reverse Actions</i>), também camadas de Ações de Medição (<i>Mesurement Actions</i>) ou Ações de Medição Reversa (<i>Reverse Mesurement Actions</i>).
Atalhos de Informação (<i>Information Shortcuts</i>)	É possível realizar passos que não seguem a ordem sequencial dos Fluxos de Informação, o que caracteriza um Atalho de Informação. Os Atalhos de informação descrevem as razões válidas e os riscos potenciais de divergir das rotas de informação normativas ou normalizadas (definidas pelo LITE Framework). A adoção de um Atalho de Informação provoca, para cada Marco de Informação ignorado, contornado ou desviado, um Desvio de Marco (<i>Milestone Bypass</i>). Cada Desvio de Marco de Informação, entretanto, deve ter um motivo válido e está associado a um risco em potencial. Vale ressaltar que somente alguns Atalhos de Informação, todos eles no sentido do Fluxo de Informação Direto (<i>Forward Information Flow</i>), foram definidos na versão do LITE Framework utilizada neste estudo.
Conjuntos de Informação (<i>Information Sets</i>)	Dez Conjuntos de Informação são definidos no LITE Framework, A-G e X-Z. Os Conjuntos de Informação de A até G são formados por dois Marcos de Informação sequenciais, e cada um desses conjuntos gera algumas Especificações (<i>Specifications</i> - SP). As informações são organizadas em agrupamentos (arquivos), que normalmente têm a forma de Documentos. As Especificações detalhadas no LITE Framework tratam de definir quais resultados (produtos ou serviços) são almejados para entrega, quais capacidades/competências são necessárias para entregar esses resultados, e por que esses resultados específicos são almejados. Além das Especificações, as informações podem ser organizadas em Protocolos (<i>Protocols</i> - PR) e Planos (<i>Plans</i> - PL). Protocolos tratam de como organizar as informações e os planos detalham quando, onde, a que custo e por quem as informações são geradas, armazenadas recuperadas, tratadas e utilizadas. Esses documentos agregadores, bem como outras informações a serem geradas, coletas e referenciadas, são agrupados nos Conjuntos de Informação. Também são mencionadas no LITE Framework algumas Fases, a saber: Projeto ou Concepção (<i>Design</i>) [D]; Construção (<i>Construction</i>) [C]; Operação (<i>Operation</i>) [O]; e suas sobreposições [DC], [DO], [CO] e, [DCO]. O LITE Framework prevê ainda três Classificações de Ativos. Essas classificações são por Escala do Ativo (<i>Asset Scale</i>), pela Função do Ativo (<i>Asset Function</i>) ou pelo País/Jurisdição do Ativo (<i>Country/Jurisdiction</i>).
Camadas de Informação (<i>Information Tiers</i>)	O LITE Framework identifica cinco Camadas de Informação. Essas Camadas de informação são escalonadas por um Grau de Integração (<i>Degree of Integration</i> - DoI). Para um conceito ou sistema, por exemplo, um Sistema de Gestão de Informação (<i>Information Management System</i>) ser considerado Integrado, ele precisa primeiro ser definido corretamente, gerenciado por um ator competente e, eventualmente, integrado com outros sistemas gerenciados, por exemplo, com um Sistema de Gestão do Conhecimento (<i>Knowledge Management System</i> - KMS) ou com um Sistema de Gestão da Aprendizagem (<i>Learning Management System</i> - LMS). O nível otimizado, que representa a mais alta maturidade, sinaliza a melhoria contínua dos sistemas integrados.

Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020).

B.2 Casos de uso

Os Casos de Uso, conforme definido pela linguagem UML, se referem à interação dos usuários com o sistema de informação a ser modelado, representando assim o aspecto dinâmico do sistema. Para a implementação proposta do LITE *Framework*, os Casos de Uso equivalem ao comportamento esperado de possíveis passos ao longo do fluxo de informação, sejam eles referentes a atividades executadas no sentido direto, reverso, externo ou interno. Há também a possibilidade de se tomar um atalho, em que são suprimidos alguns dos passos do fluxo direto. Cada passo está relacionado a uma Ação de Informação (*InformationAction*) ou a um Atalho de Informação (*InformationShortcut*). Os seguintes Casos de Uso foram identificados:

- a) Usuário executa um passo do fluxo de informação no sentido direto;
- b) Usuário executa um passo do fluxo de informação no sentido reverso;
- c) Usuário executa um passo do fluxo de informação no sentido interno;
- d) Usuário executa um passo do fluxo de informação no sentido externo;
- e) Usuário executa um passo do fluxo de informação equivalente a um atalho.

B.3 Classes do Sistema

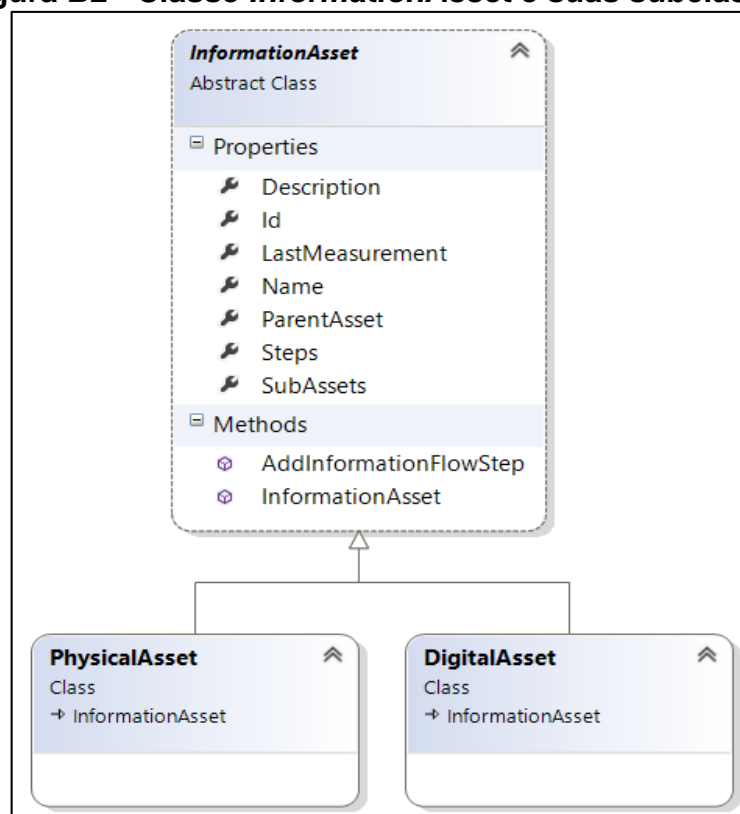
Alguns diagramas de classes foram usados para modelar a implementação do LITE *Framework*. Esses diagramas foram elaborados com a utilização da linguagem UML e as entidades identificadas foram mapeadas como classes, contendo estruturas de dados, métodos e relacionamentos, representando assim o aspecto estático do sistema concebido para implementar o LITE *Framework*. As seguintes classes foram concebidas:

- a) Status de Informação: classe *InformationStatus*;
- b) Estados de Informação: classe *InformationState*;
- c) Marcos de Informação: classe *InformationMilestone*;
- d) Fluxos de Informação: classe *InformationFlow*;
- e) Portas de Informação: classe *InformationGate*;
- f) Rotas de Informação: classe *InformationRoute*;

- g) Ciclos de Informação: classe *InformationLoop*;
- h) Ações de Informação: classe *InformationAction*;
- i) Atalhos de Informação: classe *InformationShortcut*;
- j) Conjuntos de Informação: classe *InformationSet*;
- k) Camadas de Informação: classe *InformationTier*.

Além de classes concebidas para representar os conceitos analisados anteriormente, a classe *InformationAsset* foi criada para representar os Ativos a serem tratados no LITE *Framework*. A classe *InformationAsset* é abstrata e possui duas classes derivadas, a classe concreta *DigitalAsset*, que representa os ativos digitais, e a classe concreta *PhysicalAsset*, que representa os ativos físicos. Assim, a classe base para qualquer tipo de Ativo é a *InformationAsset*. A classe *InformationAsset* faz referência o Ativo Principal (*ParentAsset*), o que indica se é parte do ciclo de vida de outro Ativo (um sistema ou um complexo imobiliário, por exemplo). A Figura B2, a seguir, apresenta a estrutura da classe *InformationAsset* e suas subclasses.

Figura B2 - Classe *InformationAsset* e suas subclasses

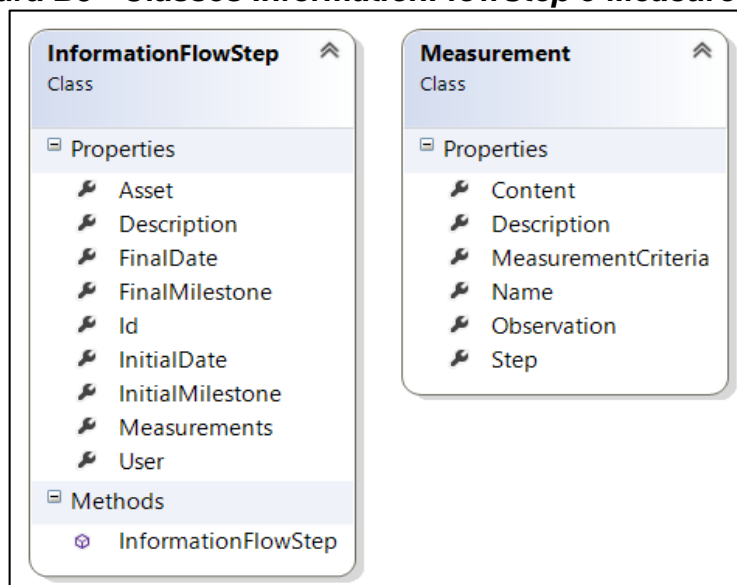


Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se, pela Figura B2, que os ativos podem ter uma lista de componentes ou subativos (*SubAssets*) e também uma referência ao ativo do qual fazem parte, em uma relação de composição, ou um ativo superior ou pai, em uma relação de hierarquia ou herança (*ParentAsset*). Quanto o ativo não tem ativos superiores ele é considerado o Ativo Principal Cada ativo (*InformationAsset*) pode ter também uma série de passos.

Os Passos (*Steps*), que são os menores incrementos em um Fluxo de Informação (*Information Flow*) de um Ativo, possuem um Marco de Informação (*Information Milestone*) inicial e um Marco de Informação final, e são implementados como objetos da classe *InformationFlowStep*. Uma lista de passos é armazenada na propriedade *Steps* de um Ativo, e os passos podem ser adicionados mediante o uso do método *AddInformationFlowStep()*. Além da classe que representa cada Passo ao longo do Fluxo de Informação (*InformationFlowStep*) dos Ativos, outra classe foi criada para representar as possíveis medições (*Measurement*) realizadas ao executar um Passo. Assim, cada ativo possui uma lista de Passos (*Steps*) e cada Passo possui uma lista de Medições (*Measurements*). As classes *InformationFlowStep* e *Measurement* são mostradas na Figura B3.

Figura B3 - Classes *InformationFlowStep* e *Measurement*



Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale ressaltar que cada Passo corresponde à execução de uma Ação de Informação (*Information Action*) ou de um Atalho de Informação (*Information Shortcut*). Os passos são dados ao longo de todo o ciclo de vida dos Ativos e podem armazenar

diversas informações no contexto da execução das Ações de Informação, sejam elas Diretas, Reversas, Externas ou Internas. Assim, as informações armazenadas nos objetos da classe *InformationFlowStep* podem conter, inclusive, os resultados das verificações sobre o uso de um CICS, o que vai ao encontro da proposta de implementação do protótipo que faz parte da presente pesquisa.

A seguir, são apresentados detalhes sobre as demais entidades, relacionamentos e o comportamentos esperados pela interação entre os componentes do LITE *Framework*. As classes concebidas para implementar essas entidades, bem como os métodos concebidos para tratar as informações e executar os comportamentos esperados são apresentados em diagramas de classes.

a) Marcos, Status, Estados e Portas de Informação

Os seguintes Marcos de Informação (*Information Milestones*) fazem parte do LITE *Framework*:

Quadro B4 - Marcos de informação

Marco	Descrição	Descrição original
1	Intenção de entregar novos ativos	<i>Intent to Deliver New Assets</i>
2	Entregáveis físicos esperados	<i>Expected Physical Deliverables</i>
3	Entregáveis digitais almejados	<i>Targeted Digital Delierables</i>
4	Recursos e métodos necessários	<i>Needed Resources and Methods</i>
5	Recursos e métodos disponíveis	<i>Available Resources and Methods</i>
6	Ativos digitais reais	<i>Actual Digital Assets</i>
7	Ativos físicos reais	<i>Actual Physical Asset</i>
8	Intenção de reutilizar ativos existentes	<i>Intent to Reuse Existing Assets</i>

Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020).

Os seguintes Status de Informação (*Information Statuses*) fazem parte do LITE *Framework*:

- Almejado (*Targeted*);
- Real (*Actual*).

Os seguintes Estados de Informação (*Information States*) fazem parte do LITE *Framework*:

- Propósitos (*Purposes*);
- Entregáveis (*Deliverables*);
- Recursos e Métodos (*Resources and Methods*).

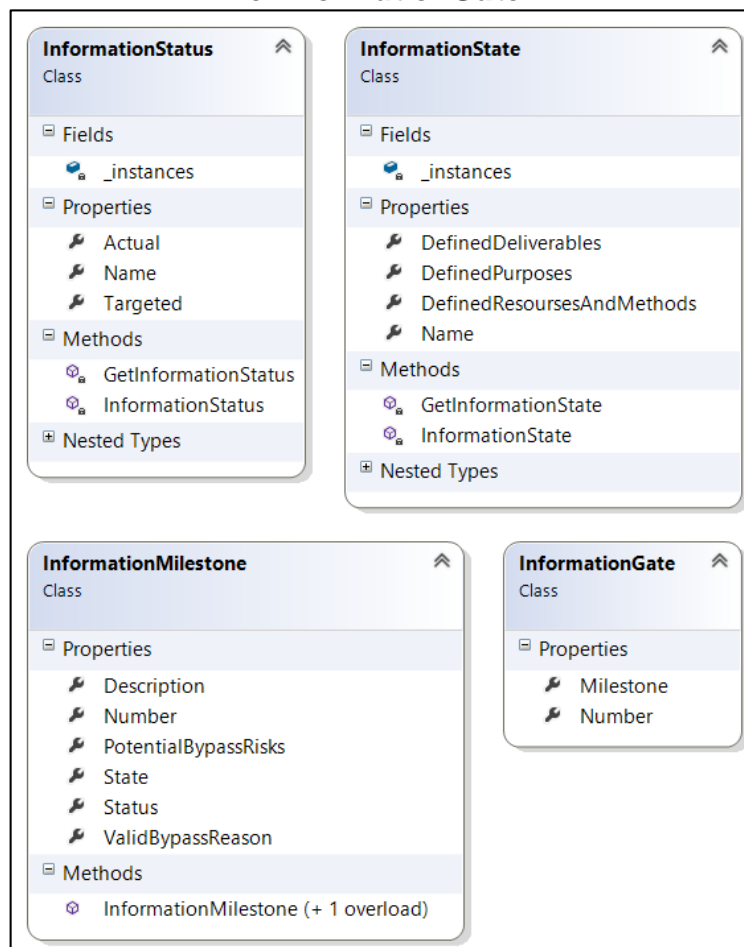
Os seguintes Acoplamentos entre Marcos de Informação (*Milestone Couples*) fazem parte do LITE *Framework*:

- Acoplamento de Propósito (*Purposes Couple*) [Marcos 1 e 8];
- Acoplamento Físico (*Physical Couple*) [Marcos 2 e 7];
- Acoplamento Digital (*Digital Couple*) [Marcos 3 e 6]; e
- Acoplamento de Recursos e Métodos (*Resources and Methods Couple*) [Marcos 4 e 5];
- Acoplamento de Entregáveis (*Deliverables Couple*) [Marcos 2 e 3];
- Acoplamento de Ativos (*Assets Couple*) [Marcos 6 e 7].

Existe também uma Porta de Informação (*Information Gate*) para cada Marco de Informação no *framework*.

As classes concebidas para implementar os Status, Estados Marcos e Portas de Informação são mostradas na Figura B4

Figura B4 - Classes *InformationStatus*, *InformationState*, *InformationMilestone* e *InformationGate*



Fonte: Elaborado pelo autor.

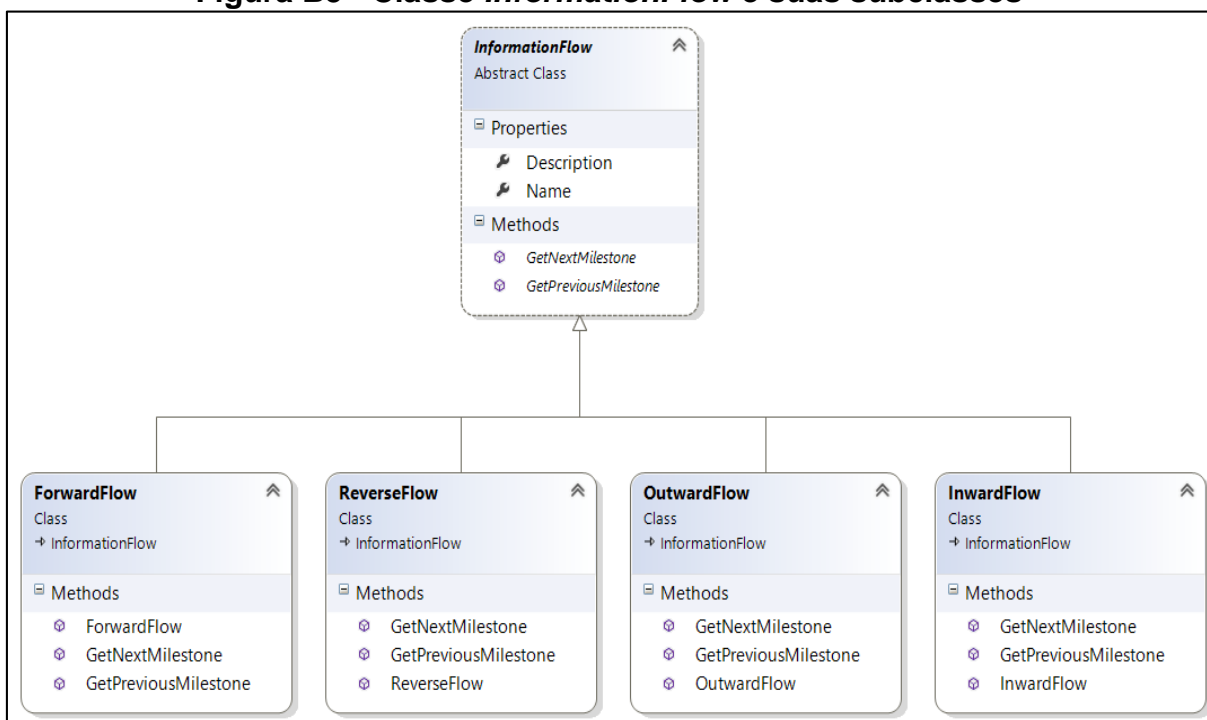
b) Fluxos de Informação

Os Fluxos de Informação (*Information Flow*) conectam as Portas/Marcos de Informação e são listados a seguir:

- Fluxo direto (*Forward Flow*): Ações de Execução;
- Fluxo reverso (*Reverse Flow*): Ações de Medição;
- Fluxo interno (*Inward Flow*): Ações de Captura;
- Fluxo externo (*Outward Flow*): Ações de Compartilhamento.

As classes concebidas para implementar os Fluxos de Informação, que fazem parte do LITE *Framework*, são mostradas na Figura B5.

Figura B5 - Classe *InformationFlow* e suas subclasses



Fonte: Elaborado pelo autor.

c) Rotas de informação

As seguintes Rotas de Informação (*Information Routes*) fazem parte do LITE *Framework*:

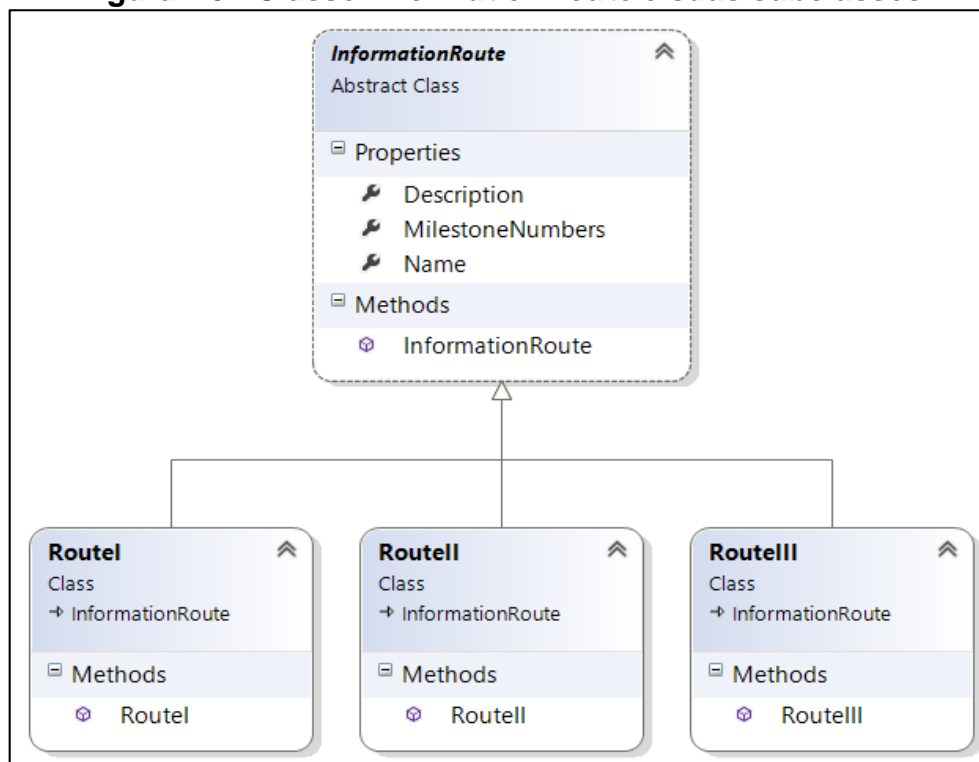
- Rota I: Fluxo Assistido (*Assisted Flow*);
- Rota II: Fluxos Automatizado e Automático (*Automated/Automatic Flows*);
- Rota III: Fluxo Autônomo (*Autonomous Flow*).

Os seguintes Graus de Autonomia (*Degree of Autonomy - DoA*) podem ser abstraídos e fazem parte do *framework*:

0. Manual (*Manual*);
1. Assistido (*Assisted*);
2. Automatizado (*Automated*);
3. Automático (*Automatic*);
4. Autônomo (*Autonomous*).

As classes concebidas para implementar as Rotas de Informação são mostradas na Figura B6.

Figura B6 - Classe *InformationRoute* e suas subclasses



Fonte: Elaborado pelo autor.

d) Laços de informação

Os Laços de Informação (*Information Loops*), que fazem parte do LITE *Framework*: são mostrados a seguir, bem como alguns conceitos relacionados a cada um deles:

- Laço de Informação Completo (*Full Information Loop*): Extensor do Ciclo de Cida (*Lifecycle Extender*) e Conector do Ciclo de Cida (*Lifecycle Connector*);
- Laço de Informação Curto (*Short Information Loop*): Iteração de Design (*Design Iteration*), Nível de X (Level of X - LoX), Acoplamento Digital (*Digital Couple*);
- Laço de Informação Longo (*Long Information Loop*): Iteração de Entrega (*Delivery Iteration*), Acoplamentos Físico (*Physical Couple*).

As seguintes Escalas de Ativo (*Asset Scale*) fazem parte do LITE *Framework*:

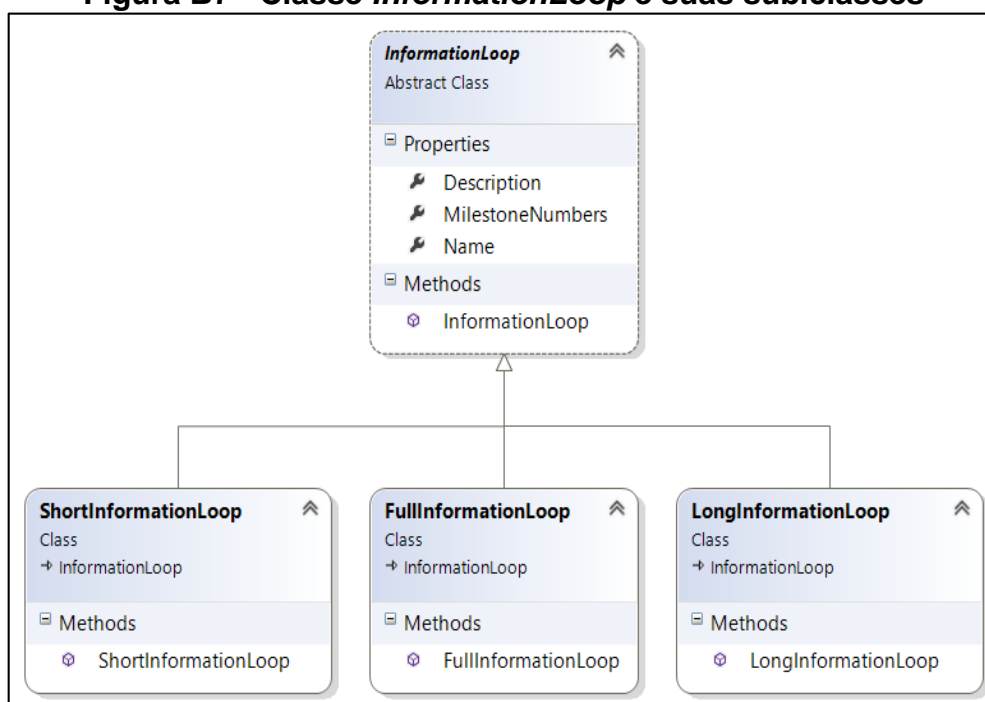
- Componente único (por exemplo, bomba hidráulica);
- Sistema (por exemplo, sistema de reciclagem de água);
- Instalação (por exemplo, os edifícios de serviços de água municipais).

As seguintes Iterações ou *Sprints* de Informação fazem parte do LITE *Framework*:

- Iteração de Design (*Design Iteration*);
- Iteração de Entrega (*Delivery Iteration*).

As classes concebidas para implementar os Laços de Informação (*Information Loops*) são mostradas na Figura B7.

Figura B7 - Classe *InformationLoop* e suas subclasses



Fonte: Elaborado pelo autor.

e) Ações, atalhos, desvios de marcos de informação e passos

As conexões entre dois Marcos de Informação em um Fluxo de Informação definem Ações de Informação (*Information Actions*). As Ações de Informação são

executadas ao longo das três Rotas de Informação e podem representar atividades de diversos graus de complexidade e granularidade, sendo os Passos (*Steps*) os menores incrementos.

- Ações de informação

As seguintes Ações de Informação fazem parte do LITE *Framework*:

- Ações de Execução Direta (*Forward Execution*) [F]: Fluxo direto;
- Ações de Medição Reversa (*Reverse Measurement*) [R]: Fluxo reverso;
- Ações de Captura (*Capturing*): Fluxo interno;
- Ações de Compartilhamento (*Sharing*): Fluxo externo.

As possíveis Ações de Execução Direta (F) e Ações de Medição Reversa (R). As seguintes dez Ações de Execução no sentido do Fluxo de Informação Direto fazem parte do LITE *Framework*:

Quadro B5 - Ações de execução

Nome	Descrição
F1-2	Especificar as propriedades físicas e funcionais dos Ativos a serem entregues pela Entidade Fornecedora;
F2-3	Definir os produtos digitais necessários para o projeto, entrega e / ou utilização dos produtos físicos esperados;
F3-4	Identificar os recursos e métodos necessários para gerar os produtos digitais direcionados e entregar os ativos físicos esperados. Esta ação inclui a desconstrução de entregas direcionadas em atividades e tarefas alocáveis e a geração de uma matriz de responsabilidade ou similar;
F4-5	Atribuir recursos e implantar métodos para entregar Ativos Digitais Almejados e Ativos Físicos Esperados;
F5-6	Gere os Ativos Digitais usando os Recursos disponíveis e os Métodos escolhidos;
F6-7	Entregar os Ativos Físicos de acordo com os Entregáveis Digitais correspondentes;
F7-8	Operar os Ativos Físicos e manter cada um de acordo com as expectativas definidas pela Entidade Demandante. Nota: F7-8 é o conector do ciclo de vida (<i>Lifecycle Extender</i>) (estendendo o ciclo de vida do projeto para o ciclo de vida do ativo);
F8-1	Renovar, estender e / ou reutilizar os ativos. Nota: F8-1 é o conector de ciclo de vida (<i>Lifecycle Connector</i>) (conectando um ciclo de informações a outro);
F3-6	Gerar - em um processo automatizado ou automático - os Ativos Digitais Reais de acordo com os Entregáveis Digitais Almejados. Parte da Rota II: Fluxo Automatizado. Não deve ser confundido com o atalho de informações S3-6;
F2-7	Entregar - de forma autônoma - os Ativos Físicos Reais de acordo com os Entregáveis Físicos Esperados. Parte da Rota III: Fluxo Autônomo. Não deve ser confundido com o atalho de informações S2-7;

Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020).

As seguintes dez Ações de Medição no sentido do Fluxo de Informação Reverso fazem parte do LITE *Framework*:

Quadro B6 - Ações de medição

Nome	Descrição
R2-1	Confirmar se os Ativos Físicos Esperados - conforme definido - atendem aos Objetivos definidos pela Entidade Demandante;
R3-3	Verificar se os Entregáveis Digitais definidos são adequados para projetar, entregar e / ou utilizar os Entregáveis Físicos Esperados;
R4-3	Analisar se os recursos e métodos identificados são adequados para a geração dos Entregáveis Digitais Esperados e a produção dos Entregáveis Físicos Esperados. Além disso, para reduzir o desperdício, analise a disponibilidade / restrições de recursos em relação à disponibilidade / restrições de trabalho;
R5-4	Avaliar os recursos reais / disponíveis e os métodos escolhidos em relação aos recursos e métodos necessários;
R6-5	Avaliar se os Recursos e Métodos implantados foram utilizados de forma adequada na geração dos Entregáveis Digitais Reais;
R7-6	Verificar os Ativos Físicos entregues em comparação com suas contrapartes digitais;
R8-7	Inspecionar se as atividades de operação e manutenção são conduzidas de acordo com as expectativas definidas da Entidade Demandante;
R1-8	Avaliar se os ativos existentes podem ser recondicionados, reciclados ou reutilizados em vez de gerar novos ativos;
R6-3	Validar - em um processo assistido por computador, automatizado ou automático - Ativos Digitais Reais em relação aos Entregáveis Digitais Esperados. Meça também a saúde digital, a qualidade e a conformidade dos resultados em relação aos códigos e protocolos aplicáveis. Parte da Rota II: Fluxo Automatizado;
R7-2	Verificar - em um processo assistido por computador, automatizado, automático ou autônomo - os ativos físicos reais em relação aos ativos físicos esperados. Parte da Rota III: Fluxo Autônomo.

Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020).

- Atalhos de informação

Os Atalhos de Informação (*Information Shortcuts*) ocorrem quando há a mudança de Marco de Informação, mas o fluxo não passa por todos os Marcos intermediários, realizando um Desvio. Assim, algumas Ações também são suprimidas. Os 16 Atalhos de Informação previstos no LITE *Framework* são apresentados na Tabela B1 que também mostrados os desvios de Marco de Informação existentes para cada um desses atalhos.

Tabela B1 - Atalhos de informação

Nome	Desvios de Marco de Informação	Quantidade de marcos desviados	Observações
S1_3	[2]	1	
S1_6	[2], [3], [4] e [5]	4	
S1_7	[2], [3], [4], [5] e [6]	5	
S2_4	[3]	1	
S2_5	[3] e [4]	2	
S2_6	[3], [4] e [5]	3	
S2_7	[3], [4], [5] e [6]	4	Não deve ser confundido com a Rota de Informação III
S3_5	[4]	1	
S3_6	[4] e [5]	2	Não deve ser confundido com a Rota de Informação II
S3_7	[4], [5] e [6]	3	
S4_6	[5]	1	
S4_7	[5] e [6]	2	
S5_7	[6]	1	
S6_1	[7] e [8]	2	
S6_8	[7]	1	
S7_1	[8]	1	

Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020).

A Figura B8, a seguir, contém as classes implementadas para representar as Ações de Informação (*InformationAction*) e os Atalhos de Informação (*InformationShortcut*).

Figura B8 - Classe *InformationAction* e suas subclasses



Fonte: Elaborado pelo autor.

Optou-se por representar os Atalhos de Informação (*InformationShortcut*) como uma subclasse da classe que representa as Ações de Informação (*InformationAction*) para aproveitar a estrutura já definida nessa classe abstrata. Entre os métodos concebidos para essas classes, destaca-se o *GetAllowedMilestones()*, que retorna os Marcos de Informação finais permitidos para uma Ação de Informação ou um Atalho de Informação, dado um Marco de Informação inicial. Outro método utilizado foi o *IsAllowed()*, que verifica se uma Ação de Informação ou um Atalho de Informação é válido, dados um Marco de Informação Inicial e um Marco de Informação Final.

- Desvios de marco de informação

Cada Atalho de Informação provoca pelo menos um Desvio de Marco (*Milestone Bypass*) de Informação. Cada um dos desvios possui uma razão ou Motivo Válido de Desvio e um Risco Potencial de Desvio. A seguir são mostradas as razões válidas e os riscos potenciais definidos para cada desvio no LITE *Framework*, lembrando que cada Desvio se refere a um Passo que não passa por determinado Marco de Informação na sequência de execução do Fluxo de Informação Direto. Vale ressaltar que o motivo válido de desvio e os riscos potenciais de desvio são atributos da classe *InformationMilestone*.

Quadro B7 - Desvios de marcos de informação

Desvio de Marco de Informação (Milestone Bypass)	Motivo Válido de Desvio	Risco Potencial de Desvio
B1	O desvio é válido se nenhum ativo físico for direcionado para projeto ou entrega dentro do Ciclo ou Loop de Informações atual.	Risco de definir ativos sem primeiro definir as funções necessárias e o valor buscado desses ativos;
B2	O desvio é válido se nenhum ativo digital for direcionado para design ou entrega dentro do Ciclo ou Loop de informações atual.	Risco de entrega de Ativos Físicos que não correspondem à intenção original da Entidade Demandante;
B3	O desvio é válido se nenhum ativo digital for direcionado para design ou entrega dentro do Ciclo ou Loop de informações atual.	Risco de entrega de Ativos Digitais que não correspondem à intenção original da Entidade Demandante ou permitem a entrega de Ativos Físicos Esperados (se definido);
B4	O desvio é válido se a rota II ou III for seguida ou se os recursos e métodos existentes forem os únicos disponíveis durante o ciclo ou loop de informações atual.	Risco de utilização de recursos inadequados - atores humanos incompetentes ou máquinas ineficazes - e implantação de métodos não ideais para a entrega dos Ativos Digitais Almejados ou Ativos Físicos Esperados (se definidos);
B5	O desvio é válido se a rota II ou III for seguida.	Risco de não receber algum ou alguns dos Ativos Digitais Almejados ou Ativos Físicos Esperados (se definidos);
B6	O desvio é válido se a Rota III for seguida; se os Ativos Físicos são simples e não se beneficiariam de uma maquete (<i>mock-up</i>) digital; ou se os novos Ativos Físicos são uma replicação direta dos existentes / disponíveis	Risco de entregar Ativos Físicos sem serem testados / analisados digitalmente e sem terem um registro digital para uso / reuso;
B7	O desvio é válido se nenhum ativo físico for necessário durante o Ciclo ou Loop de informação atual.	Risco de não atualização dos Ativos Físicos (se os Ativos Físicos Esperados foram definidos);
B8	O desvio é válido se os ativos existentes não puderem ser reutilizados.	Risco de não verificar se os ativos existentes podem ou devem ser reaproveitados (se o reaproveitamento foi definido no Ativo Físico Esperado).

Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020).

- Conjuntos e camadas de informação

Conjuntos de Informação (*Information Sets*) agrupam informações colecionadas ao longo do Fluxo de informação. Esses conjuntos são gerados na forma de Documentos ao longo das Fases, sendo as Especificações o tipo de documento a ser capturado para formar dos Conjuntos de Informação, como detalhado pelo LITE *Framework*, conforme Succar e Poirier (2020).

- Tipos de documento

No LITE *Framework*, as informações são colecionadas ou agrupadas por meio de três tipos de documentos:

- Especificações (*Specifications* - SP) [QUAIS e POR QUE];
- Protocolos (*Protocols* - PR) [COMO];
- Planos (*Plans* - PL) [QUANDO, ONDE, a que CUSTO e POR QUEM].

- Conjuntos de informação

Os dez Conjuntos de Informação (*Information Sets*) que fazem parte do LITE *Framework* são mostrados a seguir na Tabela B2. Vale destacar que para cada Conjunto de Informação cobre alguns Marcos de Informação utilizam Documentos do Tipo Especificação.

Tabela B2 - Conjuntos de informação

Conjunto de Informação (Information Set)	Fluxo de informação entre conjuntos	Marcos de Informação		Especificações (Specifications - SP)	
		Marcos	Quantidade	Especificações	Quantidade
A	Identifica os ativos físicos (por exemplo, um sistema de elevador) a serem gerenciados e rastreados ao longo do ciclo de vida de uma instalação - incluindo a função dos ativos e propriedades nominais.	[1] e [2]	2	SP1	1
B	Identifica os ativos digitais que precisam ser entregues no final do processo de concepção (<i>design</i>)/seleção.	[2] e [3]	2	SP2	1
C	Identifica o perfil de competência dos atores para entregar os ativos digitais e físicos (por exemplo, um engenheiro de design e/ou fornecedor de ativos) e métodos a serem implantados para entregar os ativos digitais e físicos.	[3] e [4]	2	SP3	1
D	Identifica os atores reais comissionados para conceber e entregar os ativos.	[4] e [5]	2	SP4	1
E	Captura os processos, decisões e seleções feitas pelos atores que levam à entrega dos ativos digitais.	[5] e [6]	2	SP5	1
F	Captura as atividades reais (o quê, quem, como, onde e quando) conduzidas e as seleções reais feitas levando à entrega dos ativos físicos - incluindo fornecedor real, data de instalação, método de instalação, número de série, data de garantia, e regime de manutenção dos ativos e respectivos ativos dependentes.	[6] e [7]	2	SP6	1
G	Captura todas as informações de utilização que abrangem os ativos, incluindo, por exemplo, comissionamento, manutenção, descomissionamento e reuso.	[7] e [8]	2	SP7	1
X	Identifica as informações geradas ou modificadas durante as iterações de Design (Laço de Informação Curto), nenhuma nova especificação é gerada. As especificações SP3, SP4 e SP5 são atualizadas para capturar modificações em Ativos Digitais.	[3], [4], [5] e [6]	4	SP3, SP4 e SP5	3
Y	Identifica as informações geradas ou modificadas durante as iterações de Entrega (Laço de Informação Longo), nenhuma nova especificação é gerada. As especificações SP2, SP3, SP4, SP5 e SP6 são atualizadas para capturar modificações em Ativos Digitais e Físicos.	[2], [3], [4], [5], [6] e [7]	6	SP2, SP3, SP4, SP5 e SP6	5
Z	Identifica as informações a serem transportadas de um Ciclo de Informação para outro, nenhuma nova especificação é gerada. Todo o Pool de Informação (SP1-SP7) é atualizado para permitir a reciclagem e/ou reutilização de Ativos Digitais e Físicos.	[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7] e [8]	8	SP1, SP2, SP3, SP4, SP5, SP6 e SP7	7

Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020).

Nota-se que os Conjuntos de Informação de A até G são formados por dois Marcos de Informação sequenciais. As Especificações são geradas ou atualizadas pelos Conjuntos de Informação. O Conjuntos de Informação X, Y e Z são os mais abrangentes e representam respectivamente o Laço de Informação Curto, o Laço de Informação Longo e o Laço de Informação Completo ou o *Pool* de Informação. Assim, no LITE *Framework* esses conjuntos capturam todas as modificações feitas nos ativos durante seu ciclo vida desde o início (*Begin of Life* - BoL), passando pelo meio (*Middle of Life* - MoL), e indo até seu correspondente final de vida (*End of Life* - EoL) (SUCCAR; POIRIER, 2020).

- Especificações

A Tabela B3, a seguir, detalha as sete Especificações que fazem parte do LITE *Framework*, mostrando os Marcos de Informação e os correspondentes Conjuntos de Informação em que são geradas ou atualizadas. Vale ressaltar que a totalidade das Especificações (SP1-SP7) equivale ao Pool de Informação:

Tabela B3 - Especificações

Especificação	Descrição	Marcos de Informação	Conjuntos de Informação que utilizam	
			Conjuntos	Quantidade
Especificações de Ativos Físicos (<i>Physical Asset Specifications</i>) [SP1]	Cobrem a localização, forma, função, custo, uso, operação, manutenção e reutilização dos Ativos Físicos Esperados. Definem os ativos a serem entregues após a conclusão de um Ciclo de Informação.	[1] e [2]	A e Z	2
Especificações de Ativos Digitais (<i>Digital Asset Specifications</i>) [SP2]	Cobrem os Ativos Digitais Almejados - os Usos de Modelo, Usos de Documentos e Usos de Dados - a serem gerados, trocados e entregues. Também podem incluir requisitos de troca detalhados definidos pela Entidade Demandante. Definem as informações a serem geradas em formato digital para representar, simular, quantificar e qualificar as Entregas Físicas Esperadas.	[2] e [3]	B, Y e Z	3
Especificações de Recursos e Métodos (<i>Resources and Methods Specifications</i>) [SP3]	Cobrem os equipamentos, soluções digitais, métodos e habilidades (competência de indivíduos/grupos, capacidade/maturidade das organizações e compatibilidade das equipes de trabalho/projeto) necessários para entregar os Ativos Físicos Esperados. Definem os recursos, habilidades e métodos necessários para entregar os Ativos Digitais e/ou Ativos Físicos.	[3] e [4]	C, X, Y e Z	4
Especificações de Recursos e Métodos Atualizados (<i>Updated Resources and Methods Specifications</i>) [SP4]	São uma atualização pós-verificação ou pós-licitação (adjudicação do contrato) das especificações do Conjunto de Informação C. Incluem os critérios de verificação para análise futura e comparação do desempenho esperado em relação ao desempenho real. Identificam os recursos disponíveis, habilidades e métodos de entrega selecionados.	[4] e [5]	D, X, Y e Z	4
Especificações de Entrega Digital Atualizados (<i>Digital Delivery Specifications</i>) [SP5]	Cobrem as ferramentas, fluxos de trabalho e protocolos a serem usados pela Entidade Fornecedora para entregar os Ativos Digitais e satisfazer os requisitos de troca da Entidade Demandante. Esclarecem como, quando e quem irá gerar os Ativos Digitais para concepção (<i>design</i>), entrega e utilização dos Ativos Físicos.	[5] e [6]	E, X, Y e Z	4
Especificações de Entrega Física Atualizados (<i>Physical Delivery Specifications</i>) [SP6]	Cobrem as instruções a serem seguidas para adquirir, construir, fabricar e/ou montar os Ativos Físicos. Esclarecem como entregar os Ativos Físicos de acordo com o que foi definido nos Ativos Digitais.	[6] e [7]	F, Y, e Z	3
Especificações de Utilização de Ativos (<i>Asset Utilisation Specifications</i>) [SP7]	Cobrem a utilização, gerenciamento, manutenção, descomissionamento e reutilização de Ativos Digitais e Físicos. Esclarecem como operar, gerenciar, manter e reutilizar ativos existentes.	[7] e [8]	G e Z	2

Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020).

- Fases

As seguintes Fases fazem parte do *framework*:

- Projeto ou Concepção (*Design*) [D];
- Construção (*Construction*) [C];
- Operação (*Operation*) [O];
- Sobreposição [DC];
- Sobreposição [DO];
- Sobreposição [CO]; e
- Sobreposição [DCO].

- Classificação de Ativos

Além dos Ativos poderem ser digitais (*Digital Asset*) ou físicos (*Physical Asset*), o LITE *Framework* prevê os seguintes tipos de Classificação de Ativos:

- Escala do Ativo (*Asset Scale*);
- Função do Ativo (*Asset Function*); e
- País/Jurisdição do Ativo (*Country/Jurisdiction*).

- Camadas de informação

O LITE *Framework* identifica cinco Camadas de Informação. Essas camadas refletem um grau de integração (Degree of Integration - DoI) para referenciar, definir, gerenciar, integrar e otimizar continuamente as informações do ciclo de vida do ativo, como mostrado a seguir:

Quadro B8 - Graus de integração e camadas de informação

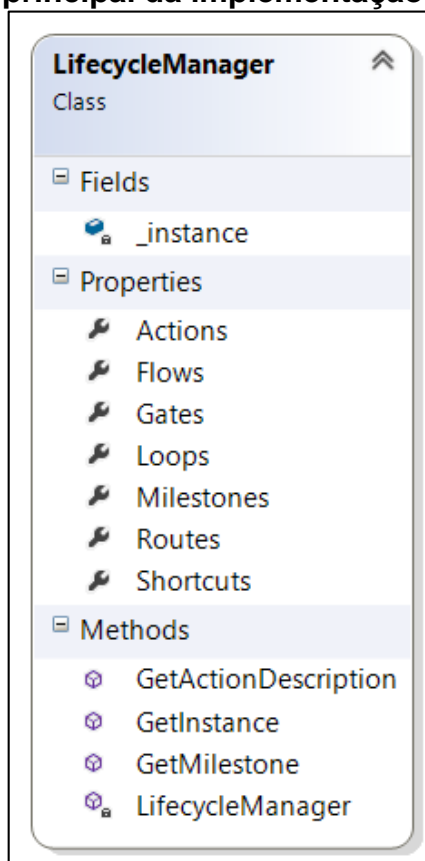
DoI	Camada de Informação	Conceitos principais
[0]	Informação Referenciada (<i>Referenced Information</i>)	Sistemas de Classificação da informação da Construção (<i>Construction Information Classification System - CICS</i>) e Espectro Geral de Informações (<i>Overall Information Spectrum</i>)
[1]	Informação Definida (<i>Defined Information</i>)	Ambiente Comum de Informações (<i>Common Information Environment</i>); Atores (<i>Actors</i>); Permissões e Níveis de Acesso (<i>Access Level</i>); e Segurança da Informação
[2]	Informação Gerenciada (<i>Managed Information</i>)	Pool de Informação Unificado (<i>Unified Information Pool</i>)
[3]	Informação Integrada (<i>Integrated Information</i>)	Plataforma de Informação Integrada (<i>Integrated Information Platform</i>)
[4]	Informação Otimizada (<i>Optimized Information</i>)	Bancos de Dados (<i>Databases</i>); Internet das Coisas (<i>Internet of Things - IoT</i>); Inteligência Artificial (<i>Artificial Intelligence</i>); e Reator de Informação (<i>Information Reactor</i>)

Fonte: Adaptado de Succar e Poirier (2020).

Por meio de uma análise dos Passos lançados para cada Ativo (Digital e/ou Físico), que equivalem a uma Ação de Informação ou um Atalho, é possível registrar as informações capturadas durante as modificações e trocas de informações ocorridas ao longo de Ciclo de Vida de Informação desse Ativo. Esses registros, juntamente com mais informações referenciadas, permitem popular os Conjuntos de Informação e avaliar o Grau de Integração, tendo em vista as Camadas de Informação. Com isso é possível avaliar e controlar o desempenho desse Ativo ao longo do Fluxo de Informação que permeia seu ciclo de vida.

- Classe Principal do LITE Framework Manager

A Figura B9 apresenta a estrutura da classe principal criada para a implementação do LITE *Framework*. Essa classe, chamada *LifecycleManager*, contém o ponto de partida para executar o sistema de informação criado, e para isso precisa conter instâncias das classes que representam as entidades ou componentes do *framework* implementado, conforme detalhado anteriormente. Ressalte-se que o sistema foi desenvolvido como um aplicativo independente (*standalone*), chamado LITE *Framework Manager* e tem o objetivo de realizar uma simulação computacional para avaliar a execução da implementação do LITE *Framework*.

Figura B9 - Classe principal da implementação do LITE *Framework*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Alguns detalhes sobre os formulários ou telas e grupos de dados implementados para processar as interações entre as classes mostradas anteriormente, são apresentados na seção seguinte, que também mostra os resultados de testes realizados para avaliar a viabilidade da implementação do LITE *Framework*. A incorporação dessa implementação ao protótipo é mostrada posteriormente.

B.4 Testes

Na seção anterior foi apresentado como os conceitos envolvidos no LITE *Framework*, proposto por Succar e Poirier (2020), foram identificados e mapeados para implementação como um Sistema de Informação. O modelo BIM e seus componentes são tratados no LITE *Framework* como Ativos Digitais e o Ambiente Construído e seus componentes são tratados como Ativos Físicos. O processo de especificação das características dos ativos, bem como outros processos auxiliares, que envolvem a troca de informação sobre esses ativos, fazem parte da modelagem

BIM. Também foi feita na seção anterior uma análise do sistema utilizando um processo simplificado de Engenharia de *Software* e a linguagem ou notação UML.

Nesta seção são apresentados testes realizados com o aplicativo independente (*standalone*) inicialmente desenvolvido para implementar o LITE *Framework* a partir das análises apresentadas e discussões feitas nas seções anteriores. O objetivo dessa implementação foi avaliar o funcionamento do LITE *Framework* como um sistema de informação computacional para que ele possa ser utilizado como um roteiro no contexto do protótipo concebido para verificar o uso do CICS brasileiro.

A implementação foi realizada de forma modular, com a separação entre a interface gráfica e a estrutura de classes que representam as entidades do LITE *Framework*, de forma que a utilização do sistema em outras plataformas de *software* demande poucas adaptações. A camada de interface é composta por janelas, ou formulários, que permitem a entrada de dados manualmente. O sistema é executado como um aplicativo independente para o sistema operacional Windows, ou seja, como um arquivo executável (.EXE). As classes que representam as entidades do LITE *Framework* foram criadas como um arquivo de biblioteca de vínculo dinâmico (Dynamic-Link Library - DLL). A implementação utilizou a linguagem de programação de computadores C#, o *framework* Microsoft .NET, e o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) Microsoft Visual Studio 2019.

A seguir são mostrados os testes de implementação, que consideraram os Casos de Uso e as Classes detalhadas nas seções anteriores. O aspecto dinâmico do LITE *Framework* teve como base a execução de Ações de Informação e de Atalhos de Informação, que foram especificados na forma desses Casos de Uso. Os demais conceitos foram implementados mediante estruturas de dados, composta por classes, atributos e relacionamentos, representando assim o aspecto estático do sistema. Vale ressaltar que alguns conceitos envolvidos na implementação, entretanto, fizeram parte da análise do sistema.

Além das entidades diretamente detalhadas no LITE *Framework* foram desenvolvidos mecanismos para permitir o estabelecimento de métricas e indicadores, conforme previsto como um dos objetivos da presente pesquisa.

Nesse contexto, uma classe para armazenar as Medições (*Measurements*) realizadas ao longo do ciclo de vida dos Ativos foi criada e uma coleção de objetos dessa classe pode ser armazenado na classe que representa um Passo de Informação (*InformationStep*).

Os Passos por sua vez são os menores incrementos no Fluxo de Informação (*Information Flow*), e decorrem da execução de Ações de Informação (*Information Actions*) ou de Atalhos de Informação (*Information Shortcuts*).

A implementação criada no presente estudo foi até a geração de coleções de Medições, mas é possível expandir esse sistema, criando, por exemplo, mecanismos de coleta de informação, a ser utilizada no contexto dos Conjunto de Informação (*Information Sets*) e das Camadas de Informação (*Information Tiers*), conforme detalhado no LITE *Framework*.

Com os aspectos já implementados do LITE *Framework*, foi possível formar uma visão geral do processo informacional que permeia o ciclo de vida dos ativos envolvidos no ambiente construído. Com uma expansão ou evolução dessa implementação, entretanto, seria possível conceber uma aplicação ou sistema de informação ainda mais abrangente.

A seguir são mostrados os formulários ou telas criadas para testar a implementação do LITE *Framework*.

- Marcos de Informação

A tela apresentada na Figura B10 mostra uma lista com os Marcos de Informação (*Information Milestones*) existentes no LITE *Framework*.

Cada um dos oito marcos está associado a um Estado de Informação (*Information State*), a um Status de Informação (*Information Status*) e também a uma Porta de Informação (*Information Gate*), como já detalhado anteriormente.

Os Marcos de Informação são as referências para a execução dos Fluxos de Informação (*Information Flows*) implementados no aplicativo desenvolvido.

Também foram detalhados os motivos válidos para o Desvio de cada um dos Marcos de Informação, bem como os riscos potenciais associados a esses desvios.

Figura B10 - Formulário com a lista de marcos de informação

Marco/Porta	Descrição	Estado	Status	Motivo Válido de Desvio	Risco Potencial de Desvio
1	Intenção de Entregar Novos Ativos	Propósitos Definidos	Almejado	O desvio é válido se nenhum novo ativo for almejado para projeto ou entrega dentro do Ciclo ou Laço de Informação atual.	Risco de definir ativos sem primeiro definir as funções necessárias e o valor buscado desses ativos.
2	Entregáveis Físicos esperados	Entregáveis Definidos	Almejado	O desvio é válido se nenhum Ativo Físico for almejado para projeto ou entrega dentro do Ciclo ou Laço de Informação atual.	Risco de entrega de Ativos Físicos que não correspondem à intenção original da Entidade Demandante.
3	Entregáveis Digitais Almejados	Entregáveis Definidos	Almejado	O desvio é válido se nenhum Ativo Digital for almejado para projeto ou entrega dentro do Ciclo ou Laço de Informação atual.	Risco de entrega de Ativos Digitais que não correspondem à intenção original da Entidade Demandante ou permitem a entrega de Ativos Físicos Esperados (se definidos).
4	Recursos e Métodos Necessários	Recursos e Métodos Definidos	Almejado	O desvio é válido se a Rota II ou a Rota III forem seguidas ou se os Recursos e Métodos existentes forem os únicos disponíveis durante o Ciclo ou Laço de Informação atual.	Risco de utilização de recursos inadequados - atores humanos não apropriados ou atores de máquinas não efetivos - e implantação de métodos não ideais para a entrega dos Ativos Digitais Almejados ou Ativos Físicos Esperados (se definidos).
5	Recursos e Métodos Disponíveis	Recursos e Métodos Definidos	Real	O desvio é válido se a Rota II ou a Rota III forem seguidas.	Risco de não receber algum ou alguns dos Ativos Digitais Almejados ou Ativos Físicos Esperados (se definidos).
6	Ativos Digitais Reais	Entregáveis Definidos	Real	O desvio é válido se a Rota III for seguida, se os Ativos Físicos são simples e não se beneficiariam de uma maquete digital ou se os novos Ativos Físicos são uma replicação direta dos Ativos Físicos existentes/disponíveis.	Risco de entregar Ativos Físicos sem serem testados/analísados digitalmente e sem terem um registro digital para uso/reuso.
7	Ativos Físicos Reais	Entregáveis Definidos	Real	O desvio é válido se nenhum Ativo Físico for necessário durante o Ciclo ou Laço de Informação atual.	Risco de não efetivação dos Ativos Físicos (se os Ativos Físicos Esperados foram definidos).
8	Intenção de Reutilizar Ativos Existentes	Propósitos Definidos	Real	O desvio é válido se os ativos existentes não puderem ser reutilizados.	Risco de não verificar se os ativos existentes podem ou devem ser reutilizados (se a reutilização foi definida no Ativo Físico Esperado).

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Fluxos de Informação

Na Figura B11, é mostrada uma tela com o formulário contendo os Fluxos de Informação (*Information Flows*), codificados como entidades no aplicativo desenvolvido. Existem quatro fluxos possíveis, o Fluxo Direto (*Forward Flow*), o Fluxo Reverso (*Reverse Flow*), o Fluxo Interno (*Inward Flow*) e o Fluxo Externo (*Outward Flow*). Na terceira coluna da tabela mostrada na Figura B11 são enumeradas as mudanças de marcos em cada Fluxo de Informação.

Figura B11 - Formulário com a lista de fluxos de informação

Fluxo	Descrição	Marcos/Portas
Fluxo Direto	Fluxo Direto (Forward Flow) O Fluxo Direto se inicia no Marco de Informação [1] e avança em direção ao Marco de Informação [8], quando todo o fluxo pode ser reiniciado. Cada mudança de marco se refere a uma Ação de Execução Direta.	[1] -> [2]; [2] -> [3]; [3] -> [4]; [4] -> [5]; [5] -> [6]; [6] -> [7]; [7] -> [8]; [8] -> [1];
Fluxo Reverso	Fluxo Reverso (Reverse Flow) O Fluxo Reverso existe porque o percurso do Fluxo Direto também pode ser percorrido no sentido reverso. Cada mudança de marco se refere a uma Ação de Medição Reversa.	[1] -> [8]; [2] -> [1]; [3] -> [2]; [4] -> [3]; [5] -> [4]; [6] -> [5]; [7] -> [6]; [8] -> [7];
Fluxo Interno	Fluxo Interno (Inward Flow) O Fluxo Interno se refere ao processo de captura de informação. Cada mudança de marco se refere a uma Ação de Captura Interna.	[1] -> [1]; [2] -> [2]; [3] -> [3]; [4] -> [4]; [5] -> [5]; [6] -> [6]; [7] -> [7]; [8] -> [8];
Fluxo Externo	Fluxo Externo (Outward Flow) Fluxo Externo é quando a informação é compartilhada. Cada mudança de marco se refere a uma Ação de Compartilhamento Externa.	[1] -> [1]; [2] -> [2]; [3] -> [3]; [4] -> [4]; [5] -> [5]; [6] -> [6]; [7] -> [7]; [8] -> [8];

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Rotas de informação

A seguir é mostrado na Figura B12, um formulário contendo as Rotas de Informação (*Information Routes*), que são entidades do LITE *Framework* implementadas no aplicativo como possíveis percursos que o fluxo de informação pode percorrer. Existem três rotas possíveis, a Rota I, que é o Fluxo Assistido (*Assisted Flow*), a Rota II, que é a Fluxo Automático ou Automatizado (*Automatic/Automated Flow*) e a Rota III, que é o Fluxo Autônomo (*Autonomous Flow*). Assim, seguir cada uma dessas rotas depende do grau de autonomia do processo. Na terceira coluna da Figura B12 são listados os Marcos de Informação que fazem parte de cada Rota de Informação. Cada Rota é seguida na ordem em que os Marcos de Informação são apresentados nessa coluna, lembrando que as Rotas podem ser executadas repetidas vezes e as mudanças de Marco representam as Ações de Informação (ou os Atalhos de Informação).

Figura B12 - Formulário com a lista de rotas de informação

Rota	Descrição	Marcos
Rota I - Fluxo Assistido	<p>Fluxo Assistido (Assisted Flow)</p> <p>A Rota I é a rota mais longa e inclui todos os oito Marcos de Informação. A Rota de Informação assistida por máquina é percorrida quando</p> <p>(a) os recursos - o pessoal, equipamento e/ou métodos necessários para entregar os Ativos Digitais ou Físicos não são conhecidos no início do Ciclo de Informação, ou quando</p> <p>(b) a automação não está disponível, não é eficiente e nem desejável, por exemplo, quando verificações manuais fornecem mais informação ou valor.</p> <p>Se o Ciclo de Informação se repetir para entregar ativos semelhantes (Laço de Informação Completo) e usar os mesmos recursos/métodos, então uma rota mais curta pode ser seguida.</p>	[1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8]
Rota II - Fluxos Automatizado e Automático	<p>Fluxos Automatizado e Automático (Automated and Automatic Flows)</p> <p>A Rota II é mais curta do que a Rota I devido aos ganhos obtidos com a automação parcial ou total das trocas de informação. Os Fluxos de Informação Automatizado (instigado por um ator) e Automático (instigado por um evento de gatilho) existem em muitas formas. Fluxos de Informação Automatizado representam uma rota válida a seguir quando</p> <p>(a) as atividades que precisam ser realizadas são bem definidas;</p> <p>(b) os recursos e métodos necessários para executar essas atividades são predefinidos e estão disponíveis para uso; (c) ferramentas de automação estão disponíveis; e</p> <p>(d) existem incentivos suficientes para automatizar um processo completo, uma atividade ou uma única tarefa.</p> <p>Percorrer esta rota permite que as informações ignorem, contornem ou desviem dos Marcos de Informação [4] e [5] dentro do Ciclo de Informação.</p>	[1] [2] [3] [6] [7] [8]
Rota III - Fluxo Autônomo	<p>Fluxo Autônomo (Autonomous Flow)</p> <p>A Rota III é a rota mais curta, utilizada para a entrega autônoma de Ativos Físicos mediante, por exemplo, robótica de enxame, concepção (design) generativa e Inteligência Artificial. Esta entrega segue a definição dos atributos geométricos/espaciais e/ou o desempenho funcional esperado dos ativos.</p> <p>Percorrendo esta rota, os Fluxos de Informação ignoram, contornam ou desviam dos Marcos de Informação [3-6] e permitem ganhos de eficiência significativos, não apenas otimizando Ativos Digitais de acordo com Propósitos Definidos (Defined Purposes), mas otimizando a construção, a inspeção e a operação dos Ativos Físicos.</p>	[1] [2] [7] [8]

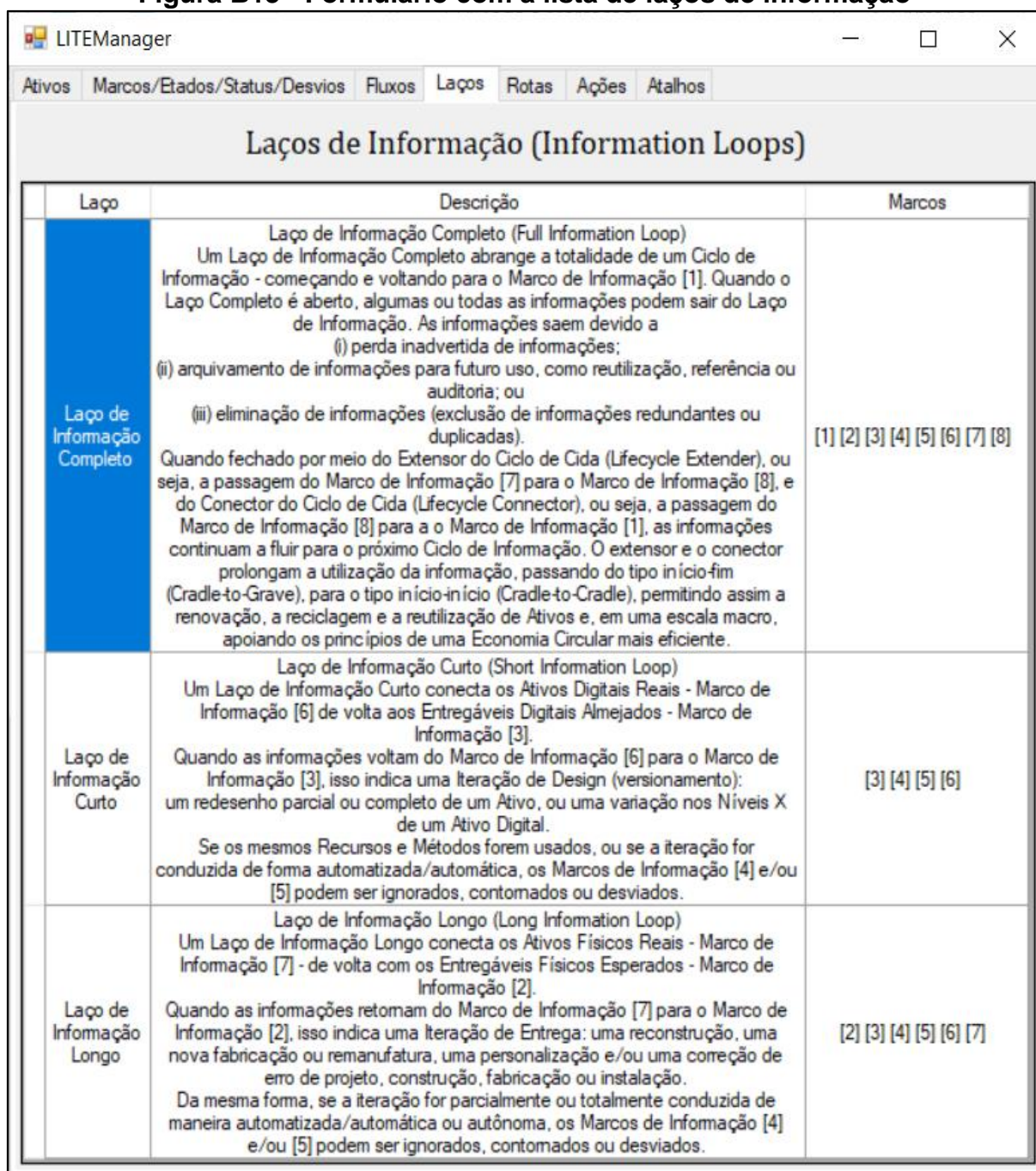
Fonte: Elaborado pelo autor.

- Laços de informação

A tela mostrada na Figura B13, contém o formulário que mostra os Laços de Informação (*Information Loops*). Esses laços são entidades do LITE *Framework* implementadas no aplicativo desenvolvido para testes como uma referência para os possíveis percursos que o Fluxo de Informação pode percorrer. Existem três Laços de Informação possíveis, o Laço Completo (*Full Information Loop*), o Laço Curto (*Short Information Loop*) e o Laço Longo (*Long Information Loop*). Seguir o Laço Curto representa uma Iteração de Concepção (*Design Iteration*) e percorrer o Laço Longo é

uma Iteração de Entrega (*Delivery Iteration*). Vale ressaltar que as iterações ao longo do Fluxo de Informação, tanto de concepção (Laço Curto) quanto de entrega (Laço Longo), podem ser realizadas repetidas vezes. Na terceira coluna da tabela da Figura B13 são listados os Marcos de Informação que fazem parte de cada Laço de Informação.

Figura B13 - Formulário com a lista de laços de informação



Laço	Descrição	Marcos
Laço de Informação Completo	<p>Laço de Informação Completo (Full Information Loop)</p> <p>Um Laço de Informação Completo abrange a totalidade de um Ciclo de Informação - começando e voltando para o Marco de Informação [1]. Quando o Laço Completo é aberto, algumas ou todas as informações podem sair do Laço de Informação. As informações saem devido a</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) perda inadvertida de informações; (ii) arquivamento de informações para futuro uso, como reutilização, referência ou auditoria; ou (iii) eliminação de informações (exclusão de informações redundantes ou duplicadas). <p>Quando fechado por meio do Extensor do Ciclo de Vida (Lifecycle Extender), ou seja, a passagem do Marco de Informação [7] para o Marco de Informação [8], e do Conector do Ciclo de Vida (Lifecycle Connector), ou seja, a passagem do Marco de Informação [8] para o Marco de Informação [1], as informações continuam a fluir para o próximo Ciclo de Informação. O extensor e o conector prolongam a utilização da informação, passando do tipo início-fim (Cradle-to-Grave), para o tipo início-início (Cradle-to-Cradle), permitindo assim a renovação, a reciclagem e a reutilização de Ativos e, em uma escala macro, apoiando os princípios de uma Economia Circular mais eficiente.</p>	[1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8]
Laço de Informação Curto	<p>Laço de Informação Curto (Short Information Loop)</p> <p>Um Laço de Informação Curto conecta os Ativos Digitais Reais - Marco de Informação [6] de volta aos Entregáveis Digitais Almejados - Marco de Informação [3].</p> <p>Quando as informações voltam do Marco de Informação [6] para o Marco de Informação [3], isso indica uma Iteração de Design (versionamento): um redesenho parcial ou completo de um Ativo, ou uma variação nos Níveis X de um Ativo Digital.</p> <p>Se os mesmos Recursos e Métodos forem usados, ou se a iteração for conduzida de forma automatizada/automática, os Marcos de Informação [4] e/ou [5] podem ser ignorados, contornados ou desviados.</p>	[3] [4] [5] [6]
Laço de Informação Longo	<p>Laço de Informação Longo (Long Information Loop)</p> <p>Um Laço de Informação Longo conecta os Ativos Físicos Reais - Marco de Informação [7] - de volta com os Entregáveis Físicos Esperados - Marco de Informação [2].</p> <p>Quando as informações retomam do Marco de Informação [7] para o Marco de Informação [2], isso indica uma Iteração de Entrega: uma reconstrução, uma nova fabricação ou remanufatura, uma personalização e/ou uma correção de erro de projeto, construção, fabricação ou instalação.</p> <p>Da mesma forma, se a iteração for parcialmente ou totalmente conduzida de maneira automatizada/automática ou autônoma, os Marcos de Informação [4] e/ou [5] podem ser ignorados, contornados ou desviados.</p>	[2] [3] [4] [5] [6] [7]

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Ações de informação

A tela da Figura B14, a seguir, contém uma listagem das possíveis Ações de Informação (*Information Actions*) que compõem LITE *Framework*. Como já detalhado anteriormente, as Ações de Informação podem ser do tipo Ação de Execução Direta (*Forward Execution Action*), Ação de Medição Reversa (*Reverse Measurement Action*), Ação de Captura Interna (*Internal Capturing Action*) ou Ação de Compartilhamento Externo (*External Sharing Action*). Além do tipo e da descrição de cada Ação de Informação, nota-se, na Figura B14, a indicação dos Marcos de Informação inicial e final de cada ação.

Figura B14 - Formulário com a lista de ações de informação

Tipo de Ação	Ação	Descrição
Ação de Execução Direta	F1-2	Especificar as propriedades físicas e funcionais dos Ativos a serem entregues pela Entidade Fomecedora.
Ação de Execução Direta	F2-3	Definir os Entregáveis Digitais necessários para o projeto, entrega e/ou utilização dos Entregáveis Físicos Esperados.
Ação de Execução Direta	F2-7	Entregar - de forma autônoma - os Ativos Físicos Reais de acordo com os Entregáveis Físicos Esperados. Esta ação faz parte da Rota III: Fluxo Autônomo. Não deve ser confundido com o Atalho de Informação [S2-7].
Ação de Execução Direta	F3-4	Identificar os recursos e métodos necessários para gerar os Entregáveis Digitais Almejados e entregar os Ativos Físicos Esperados. Esta ação inclui o desdobramento das entregas almejadas em atividades e tarefas alocáveis e a geração de uma matriz de responsabilidade ou artefato similar.
Ação de Execução Direta	F3-6	Gerar - em um processo automatizado ou automático - os Ativos Digitais Reais de acordo com os Entregáveis Digitais Almejados. Esta ação faz parte da Rota II: Fluxo Automatizado. Não deve ser confundido com o Atalho de Informação [S3-6].
Ação de Execução Direta	F4-5	Atribuir recursos e implantar métodos para entregar Ativos Digitais Almejados e Ativos Físicos Esperados.
Ação de Execução Direta	F5-6	Gerar os Ativos Digitais usando os Recursos disponíveis e os Métodos escolhidos.
Ação de Execução Direta	F6-7	Entregar os Ativos Físicos de acordo com os Entregáveis Digitais correspondentes.
Ação de Execução Direta	F7-8	Operar os Ativos Físicos e mantê-los de acordo com as expectativas definidas pela Entidade Demandante. Esta ação é o Extensor do Ciclo de Vida (Lifecycle Extender), que estende o Ciclo de Vida do Projeto para o Ciclo de Vida do Ativo.
Ação de Execução Direta	F8-1	Renovar, estender e/ou reutilizar os ativos. Esta ação é o Conector de Ciclo de Vida (Lifecycle Connector), que conecta um Ciclo de Informação a outro.
Ação de Medição Reversa	R1-8	Avaliar se os ativos existentes podem ser recondicionados, reciclados ou reutilizados em vez de gerar novos ativos.
Ação de Medição Reversa	R2-1	Confirmar se os Ativos Físicos Esperados - conforme definido - atendem aos propósitos definidos pela Entidade Demandante.
Ação de Medição Reversa	R3-2	Verificar se os Entregáveis Digitais definidos são adequados para projetar, entregar e/ou utilizar os Entregáveis Físicos Esperados.
Ação de Medição Reversa	R4-3	Analisar se os recursos e métodos identificados são adequados para a geração dos Entregáveis Digitais esperados e a produção dos Entregáveis Físicos esperados. Além disso, para reduzir o desperdício, analisar a disponibilidade/restrições de recursos em relação à disponibilidade/restrições de trabalho.
Ação de Medição Reversa	R5-4	Avaliar os recursos reais/disponíveis e os métodos escolhidos em relação aos recursos e métodos necessários.
Ação de Medição Reversa	R6-3	Validar - em um processo assistido por computador, automatizado ou automático - Ativos Digitais Reais em relação aos Entregáveis Digitais Esperados. Medir também a saúde/sanidade digital, a qualidade e a conformidade dos entregáveis em relação aos códigos e protocolos aplicáveis. Esta ação de medição faz Parte da Rota II: Fluxo Automatizado
Ação de Medição Reversa	R6-5	Avaliar se os Recursos e Métodos implantados foram utilizados de forma adequada na geração dos Entregáveis Digitais Reais.
Ação de Medição Reversa	R7-2	Verificar - em um processo assistido por computador, automatizado, automático ou autônomo - os Ativos Físicos Reais em relação aos Ativos Físicos Esperados. Esta ação de medição faz parte da Rota III: Fluxo Autônomo.
Ação de Medição Reversa	R7-6	Verificar os Ativos Físicos entregues em comparação com suas contrapartes digitais.
Ação de Medição Reversa	R8-7	Inspecionar se as atividades de operação e manutenção são conduzidas de acordo com as expectativas definidas da Entidade Demandante.

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Atalhos de Informação

A tela mostrada na Figura B15, a seguir, contém uma listagem dos possíveis Atalhos de Informação (*Information Shortcuts*) mencionados no LITE *Framework*. Para cada Marco de Informação desviado, contornado ou ignorado, deve haver um motivo válido e há um conjunto de riscos potenciais associados, como já detalhado anteriormente. Ressalte-se que nem todos desvios de Marcos de Informação foram previstos nos Atalhos de Informação. Na tabela contida na Figura B15 são mostrados os detalhes de cada Atalho de Informação válido.

Figura B15 - Formulário com a lista de atalhos de informação

	Tipo	Atalho	Descrição	Marco Inicial	Marco Final	Marcos Desviados
▶	Atalho de Informação	S1_3	Atalho do Marco de Informação [1] para o Marco de Informação [3]	[1]	[3]	[2]
	Atalho de Informação	S1_6	Atalho do Marco de Informação [1] para o Marco de Informação [6]	[1]	[6]	[2] [3] [4] [5]
	Atalho de Informação	S1_7	Atalho do Marco de Informação [1] para o Marco de Informação [7]	[1]	[7]	[2] [3] [4] [5] [6]
	Atalho de Informação	S2_4	Atalho do Marco de Informação [2] para o Marco de Informação [4]	[2]	[4]	[3]
	Atalho de Informação	S2_5	Atalho do Marco de Informação [2] para o Marco de Informação [5]	[2]	[5]	[3] [4]
	Atalho de Informação	S2_6	Atalho do Marco de Informação [2] para o Marco de Informação [6]	[2]	[6]	[3] [4] [5]
	Atalho de Informação	S2_7	Atalho do Marco de Informação [2] para o Marco de Informação [7]	[2]	[7]	[3] [4] [5] [6]
	Atalho de Informação	S3_5	Atalho do Marco de Informação [3] para o Marco de Informação [5]	[3]	[5]	[4]
	Atalho de Informação	S3_6	Atalho do Marco de Informação [3] para o Marco de Informação [6]	[3]	[6]	[4] [5]
	Atalho de Informação	S3_7	Atalho do Marco de Informação [3] para o Marco de Informação [7]	[3]	[7]	[4] [5] [6]
	Atalho de Informação	S4_6	Atalho do Marco de Informação [4] para o Marco de Informação [6]	[4]	[6]	[5]
	Atalho de Informação	S4_7	Atalho do Marco de Informação [4] para o Marco de Informação [7]	[4]	[7]	[5] [6]
	Atalho de Informação	S5_7	Atalho do Marco de Informação [5] para o Marco de Informação [7]	[5]	[7]	[6]
	Atalho de Informação	S6_1	Atalho do Marco de Informação [6] para o Marco de Informação [1]	[6]	[1]	[7] [8]
	Atalho de Informação	S6_8	Atalho do Marco de Informação [6] para o Marco de Informação [8]	[6]	[8]	[7]
	Atalho de Informação	S7_1	Atalho do Marco de Informação [7] para o Marco de Informação [1]	[7]	[1]	[8]

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Ativos - simulação

A Figura B16 mostra uma tela com a lista de Ativos (*Assets*) criados na simulação realizadas para avaliar a implementação computacional do LITE *Framework*. Nota-se que cada Ativo tem, entre outros atributos, uma descrição, um identificador único, uma lista de subativos (*Subassets*) e uma lista de passos (*Steps*) que foram seguidos na execução do Fluxo de Informação de seu ciclo de vida.

Figura B16 - Formulário com a lista de ativos

The screenshot shows the LITEManager application window. At the top, there are tabs for 'Ativos', 'Marcos/Etados/Status/Desvios', 'Fluxos', 'Laços', 'Rotas', 'Ações', and 'Atalhos'. Below the tabs are two buttons: 'Adicionar Ativo' and 'Remover Ativo'. The main area is titled 'Ativos (Assets)' and contains a table with the following data:

	Editar	Id do Ativo	Nome	Descrição	Quantidade de Subativos	Quantidade de Passos
▶	>>	01	Ativo Principal 01	Modelo BIM - Ativo Principal	0	7
	>>	02	Ativo Principal 02	Modelo BIM - Ativo Principal	1	7
	>>	03	Subativo 01	Objeto BIM 01	0	17
	>>	04	Ativo Principal 04	Modelo BIM - Ativo Principal	2	7
	>>	05	Subativo 01	Objeto BIM 01	0	17
	>>	06	Subativo 02	Objeto BIM 02	0	17
	>>	07	Ativo Principal 07	Modelo BIM - Ativo Principal	3	7
	>>	08	Subativo 01	Objeto BIM 01	0	17
	>>	09	Subativo 02	Objeto BIM 02	0	17
	>>	10	Subativo 03	Objeto BIM 03	0	17

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Ativos podem ser Ativos Principais (*MainAsset*) ou Ativos simples ou subativos (*Subasset*). Um Ativo é um Ativo Principal quando não possui um outro ativo superior ou Pai (*ParentAsset*) associado a ele. Os Ativos Principais podem possuir itens em sua lista de subativos. Dois formulários foram criados para detalhar esses dois tipos de Ativos, como mostrado nas Figuras B17, B18 e B19.

Vale ressaltar que ambos os tipos de Ativo possuem uma lista de Passos (*Steps*). Um formulário foi criado para detalhar os Ativos Principais, e contém uma lista de subativos (*Subassets*) e uma lista de passos (*Steps*).

A Figura B17 mostra esse formulário, exibindo detalhes da lista de subativos. A Figura B18 mostra a lista de passos (*Steps*) executados por um Ativo Principal ao longo de seu ciclo de vida.

A Figura B17 - Formulário com detalhes de um ativo principal (subativos)

LITEManager

Adicionar Passo Remover Passo **Detalhes do Ativo Principal**

Subativos Passos

Nome: Ativo Principal 07

Descrição: Modelo BIM - Ativo Principal

Quantidade de Subativos: 3

	Editar	Id do Ativo	Nome	Descrição	Categoria	Quantidade de Passos	Quantidade de Instâncias
▶	>>	08	Subativo 01	Objeto BIM 01		17	0
	>>	09	Subativo 02	Objeto BIM 02		17	0
	>>	10	Subativo 03	Objeto BIM 03		17	0

OK

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura B18 - Formulário com detalhes de um ativo principal (passos)

LITEManager

Adicionar Passo Remover Passo **Detalhes do Ativo Principal**

Subativos Passos

Nome: Ativo Principal 07

Descrição: Modelo BIM - Ativo Principal

Quantidade de Passos: 7

	Editar	Id do Passo	Descrição	Ativo	Marco Inicial	Data Inicial	Marco Final	Data Final	Usuário
▶	>>	1	Dia 0	Ativo Principal 07	1	20/02/2020 00:00:00	2	23/02/2020 00:00:00	bruno
	>>	2	Dia 3	Ativo Principal 07	2	23/02/2020 00:00:00	3	26/02/2020 00:00:00	bruno
	>>	3	Dia 6	Ativo Principal 07	3	26/02/2020 00:00:00	4	29/02/2020 00:00:00	bruno
				Ativo		29/02/2020		03/03/2020	

OK

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura B19 mostra o formulário com detalhes dos Subativos, com destaque para a lista de passos (*Steps*) executados por um ao longo de seu ciclo de vida.

Figura B19 - Formulário de detalhes de um ativo

Nome: Subativo 01

Descrição: Objeto BIM 01

Quantidade de Passos: 17

Editar	Id do Passo	Descrição	Ativo	Marco Inicial	Data Inicial	Marco Final	Data Final
>>	1	Dia 0	Subativo 01	1	21/02/2020 0...	2	22/02/2020...
>>	2	Dia 1	Subativo 01	2	22/02/2020 0...	3	23/02/2020...
>>	3	Dia 2	Subativo 01	3	23/02/2020 0...	4	24/02/2020...
>>	4	Dia 3	Subativo 01	4	24/02/2020 0...	5	25/02/2020...
>>	5	Dia 4	Subativo 01	5	25/02/2020 0...	6	26/02/2020...
>>	6	Dia 5	Subativo 01	6	26/02/2020 0...	3	27/02/2020...
>>	7	Dia 6	Subativo 01	3	27/02/2020 0...	4	28/02/2020...

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Passos - simulação

A Figura B20 mostra o formulário foi criado para detalhar os Passos, que são executados por um Ativo ao longo de um Ciclo de Informação.

Cada passo possui um conjunto de atributos, entre eles um Marco de Informação Inicial e um Marco de Informação Final, o que determina qual foi a Ação de Informação ou o Atalho de Informação tomado, e que gerou esse Passo. Nota-se que cada Passo possui uma lista de Medições.

Vale reiterar que os Passos, que podem estar associados tanto aos Ativos Principais quanto aos seus Subativos, foram implementados para representar a execução da parte dinâmica do LITE *Framework*. Assim, o registro dos passos deve observar os Casos de Uso, que se referem à execução de quatro tipos de Ação de Informação ou de um Atalho de Informação. Os passos devem ainda ser executados seguindo uma ordem válida, de acordo com as Rotas e os Laços de Informação, como detalhados anteriormente.

Figura B20 - Formulário com detalhes de um passo

The screenshot shows a window titled 'LITEManager' with a 'Detalhes do Passo' (Step Details) form. The form has two buttons at the top: 'Adicionar Medição' and 'Remover Medição'. Below these is a 'Passos' tab. The form contains the following fields and controls:

- Id:** 6
- Marco Inicial:** 6
- Marco Final:** 3
- Data:** 26/02/2020 a 27/02/2020
- Ação/Atalho:** Validar - em um processo assistido por computador, automatizado ou automático - Ativos Digitais Reais em relação aos Entregáveis Digitais Esperados. Medir também a saúde/sanidade digital, a qualidade e a conformidade dos entregáveis em relação aos códigos e protocolos aplicáveis. Esta ação de medição faz Parte da Rota II: Fluxo Automatizado
- Descrição:** Dia 5
- Quantidade de Medições:** 2

At the bottom, there is a table with 6 columns: Nome, Descrição, Conteúdo, Critério, and Observação. The table contains two rows of measurement data.

	Nome	Descrição	Conteúdo	Critério	Observação
▶	Medição 1	Descrição da Medição 1 - Iteração de Design	Medição OK	Verificação	Obs.: Medição OK
	Medição 2	Descrição da Medição 2 - Iteração de Design	Medição OK	Verificação	Obs.: Medição OK

An 'OK' button is located at the bottom right of the form.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como para cada Ação de Execução Direta há uma correspondente Ação de Medição Reversa, que se dá no sentido oposto, os registros dos Passos podem conter informações sobre as Medições. Os Passos ficam vinculados a uma Ação (ou um Atalho) e armazenam atributos como as datas de execução da ação e o usuário responsável por sua execução. Ressalte-se que o sistema permite que outras informações também possam ser geradas, tratadas, armazenadas e recuperadas utilizando a estrutura de classes concebida. Com isso, viabiliza-se a realização de diversas análises envolvendo o ciclo de vida do ambiente construído.