

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura

***Framework* para suporte à verificação automatizada de requisitos regulamentares
em projetos hospitalares**

João Soliman Junior

Porto Alegre
2018

JOÃO SOLIMAN JUNIOR

**FRAMEWORK PARA SUPORTE À VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DE
REQUISITOS REGULAMENTARES EM PROJETOS HOSPITALARES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil:
Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte
dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Porto Alegre
2018

CIP - Catalogação na Publicação

Soliman Junior, João

Framework para suporte à verificação automatizada de requisitos regulamentares em projetos hospitalares / João Soliman Junior. -- 2018.

143 f.

Orientador: Carlos Torres Formoso.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: construção e infraestrutura, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Projetos Hospitalares. 2. Building Information Modelling (BIM). 3. Regulamentações . 4. Verificação Automatizada de Requisitos. 5. Informação Semântica. I. Torres Formoso, Carlos, orient. II. Título.

JOÃO SOLIMAN JUNIOR

**FRAMEWORK PARA SUPORTE À VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DE
REQUISITOS REGULAMENTARES EM PROJETOS HOSPITALARES**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área de Construção, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 19 de junho de 2018

Carlos Torres Formoso
PhD pela *University of Salford*, UK
Orientador

Carlos Torres Formoso
Coordenador do PPGCI/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Eduardo Luís Isatto (UFRGS)
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

Lisiane Pedroso Lima (UFRGS)
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

Patricia Tzortzopoulos Fazenda (*University of Huddersfield*)
PhD pela *University of Salford*, UK.

Dedico este trabalho aos sonhadores.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial aos meus pais Inês e João, à minha irmã Bruna, à minha afilhada Luiza e ao Rodrigo. Muito obrigado pelo amor, carinho e cumplicidade. Muito obrigado por fazerem dos meus sonhos, os sonhos de vocês.

Ao Professor Carlos Torres Formoso, pelas oportunidades, apoio constante e paciência. Por compartilhar seu conhecimento comigo, desde a iniciação científica, que contribuíram fundamentalmente para a minha formação pessoal e profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro concedido ao longo desta pesquisa.

À Juliana Parise Baldauf, pela amizade e por ter se feito tão presente ao longo dos últimos anos. Pelas conversas, parcerias, ideias, questionamentos e sugestões.

À professora Patricia Tzortzopoulos, pelas oportunidades, pelo carinho com que fui recebido em Manchester e na *University of Huddersfield* e pelo apoio e conhecimentos transmitidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À professora Luciani Lorenzi, pela amizade e pelas oportunidades oferecidas ao longo dos últimos anos.

À Luciana Gheller e ao Fabrício Vargas, por terem sido companheiros fiéis desde o início do Mestrado, pela amizade e por serem tão diferentes e verdadeiros.

À minha prima, Caroline de Melo, pelo carinho com que fui recebido por ela e pela sua família.

À família do Norie GEC, em especial à Caroline Valente, Cristian Cevallos, Cynthia Hentschke, Daniela Viana, Douglas Hamerski, Fernanda Brandalise, Fernanda Saidelles, Guillermina Peñaloza, Lisiane Lima, Lucila Sommer, Marcelo de Alencar, Mirela Tonetto, Rosana Dal Molin e Tatiane Righi. Muito obrigado pelas discussões na salinha, pelas rodadas de dúvidas e pelo apoio nas horas mais difíceis.

Aos auxiliares de pesquisa Flávia de Marchi e Vitor Fonseca, pela amizade e pelo suporte ao desenvolvimento da pesquisa.

À minha turma de Mestrado, Andressa Giese, Felipe Costa, Gabriela Nunes, Iago Santos, Laura Silvestro, Paula Franseschini e Paula Kwitko. Muito obrigado por terem feito o nosso primeiro ano (e os seguintes) tão especiais e produtivos.

Aos meus amigos Maurício Pertile, Rodrigo Milani, Gabriela Duarte e Juliana Koltermann da Silva, pelo apoio, pela amizade e por compartilharem tantos momentos especiais comigo.

Aos meus amigos Bárbara Pedó, Caroline Nunes, Helena Strieder, Kevin Quintian, Victória Milan e Yasmin Rama, por serem tão especiais em minha vida.

À Mariana Meneghetti, por ser tão especial, pela companhia, pelas conversas e pelo carinho.

Ao Luan Henrique Kunzler, pela amizade que tem a mesma duração de nossas vidas.

Às amigas especiais de Manchester e de Huddersfield, Bruno Mota, Caroline Kehl, Clarissa Biotto, Danilo Gomes, Manuela Fazzan, Sérgio Kemmer, Vanessa Prado Kemmer, Phillip Edmundson, Cornelia Potgieter, Sami Al-Mothafar, Benjamin Mashiter e George Palmer.

Ao Vitor Poletto e Eduardo Grasselli pelas ideias e pela amizade ao longo destes anos.

À Bruna Stefenon, Camila Civardi e Patrícia Buffon, por fazerem a nossa amizade descer e subir a serra.

Ao Felipe Cunha, Thaís Frota e Filipe Rosa, pela amizade e pelas boas conversas.

Agradeço a Deus por ter permitido que eu desenvolvesse este trabalho, pelas oportunidades e pela sabedoria em seguir frente ao desconhecido.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional ao longo dos últimos anos e que não estão nominalmente mencionados.

“We can’t solve problems by using the same kind of thinking we used when we created them.”

Albert Einstein

RESUMO

SOLIMAN JUNIOR., J. **Framework para suporte à verificação automatizada de requisitos regulamentares em projetos hospitalares. 2018.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, UFRGS, Porto Alegre.

Empreendimentos hospitalares são reconhecidos pela complexidade que está associada a todas as fases de seu ciclo de vida: projeto, construção e operação. Os projetos da saúde são altamente influenciados por regulamentações locais. Estes conjuntos de códigos e legislações contêm informações prescritivas e são importantes ao projeto, uma vez que as especificações são, usualmente, definidas de acordo com os critérios neles contidos. Ao longo do processo de desenvolvimento de produto, as especificações devem ser verificadas frente aos requisitos extraídos destas regulamentações. Este processo, se realizado manualmente, tende a ser demorado e propenso a erros. Tentativas de desenvolvimento de sistemas de verificação automatizada não se mostraram completamente satisfatórias. Muitos dos problemas estão relacionados à forma como novas abordagens são concebidas, muitas vezes desenvolvidas de acordo com métodos codificados e fragmentados, e à tipologia de informação que está nas normas e regulamentações. A abordagem metodológica utilizada nesta pesquisa foi a *Design Science Research*. Como artefato, foi desenvolvido um *framework* com base na abordagem semântica, para fornecer suporte ao desenvolvimento de sistemas de verificação automatizada, com ênfase em requisitos regulamentares no contexto de projetos de edificações hospitalares. As principais contribuições teóricas deste estudo, portanto, estão relacionadas às taxonomias e às transformações da informação, bem como às relações entre os constructos utilizados. Os resultados indicam que a natureza das regulamentações possui impacto significativo na possibilidade de tradução em regra lógica parametrizável. Apesar de a automação ser desejável, os resultados deste estudo indicam, ainda, que atualmente nem todos os requisitos podem ser completamente traduzidos em termos de processamento e verificação automatizados. Apesar de este fato diminuir o nível geral de automatização no processo, ele pode trazer benefícios ao contexto de projetos da saúde. O atendimento de alguns dos requisitos depende em um certo grau, em critérios subjetivos, que estão relacionados à interpretação humana e à criatividade.

Palavras-chave: projetos de edificações hospitalares; Building Information Modelling (BIM); regulamentações; verificação automatizada de requisitos; informação semântica

ABSTRACT

SOLIMAN JUNIOR., J. **Framework para suporte à verificação automatizada de requisitos regulamentares em projetos hospitalares. 2018.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, UFRGS, Porto Alegre.

Healthcare facilities are recognized for the complexity associated to all phases of their lifecycle: design, construction and operation. The design of healthcare projects is highly influenced by local healthcare regulations. These legislations usually contain prescriptive information and play an important role, as design specifications should be defined based on the criteria defined therein. In the design phase, during the product development process, requirements extracted from legal regulations must be verified against design specifications. This process, if done manually, tends to be time consuming and error prone. Attempts to develop automated rule checking systems for healthcare projects have not been fully successful. Most flaws appear to be related to the way new approaches are conceived, being mostly developed according to hard-coded and fragmented approaches, and the typology of information bounded by the regulations. The methodological approach adopted in this investigation was the Design Science Research. The main outcome of this research study is a semantic-based framework, devised to support the development of automated rule checking systems, focused on regulatory requirements of healthcare building design. The main theoretical contributions of this research work are concerned with the taxonomies and information transformation, as well as the relationships among the constructs involved. The results indicate that the nature of regulations have a major impact on the possibility of translating them into logic rules. Even though automation is desirable, the findings of this study also indicate that currently not all requirements can be fully translated into rules for automated processing and checking. Although this decreases the overall degree of automation in the process, this fact may provide benefits to the healthcare context. The fulfillment of some requirements to some extent should rely on subjective criteria, which depends on human interpretation and creativity.

Keywords: *healthcare building design; Building Information Modelling (BIM); regulations; automated code checking; semantic information*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 MOTIVAÇÃO	18
1.2 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA.....	19
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	23
1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	26
1.4.1 Objetivo geral da pesquisa.....	26
1.4.2 Objetivos específicos da pesquisa.....	27
1.5 DELIMITAÇÕES	27
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	28
2 BUILDING INFORMATION MODELLING	29
2.1 DEFINIÇÃO	29
2.2 MODELAGEM PARAMÉTRICA.....	30
2.2.1 Objetos Paramétricos	31
2.2.2 Nível de Desenvolvimento (LOD).....	35
2.2.3 Regras Paramétricas	36
2.3 CLASSIFICAÇÃO E INTEROPERABILIDADE SEMÂNTICA.....	39
2.4 VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DE REQUISITOS REGULAMENTARES	42
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
3 LINGUAGENS E ABORDAGENS PARA VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA	48
3.1 CONTEXTO	48
3.2 INFORMAÇÃO EM CÓDIGOS E REGULAMENTAÇÕES	48
3.3 ABORDAGENS RELACIONADAS À VERIFICAÇÃO DE REGRAS	51
3.3.1.1 <i>Conceptual Graph (CG)</i>	52
3.3.1.2 <i>Building Environment Rule and Analysis Language (BERA)</i>	53
3.3.1.3 <i>Natural Language Processing (NLP)</i>	54
3.3.1.4 Projeto <i>AutoCodes</i>	54
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
4 MÉTODO DE PESQUISA	56
4.1 ABORDAGEM DE PESQUISA	56
4.2 DESCRIÇÃO DO HOSPITAL A	58
4.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA	59
4.3.1 Etapa 1	61

4.3.2 Etapa 2	63
4.3.3 Etapa 3	64
4.4 DESCRIÇÃO DETALHADA DAS ATIVIDADES REALIZADAS	64
4.4.1 ETAPA 1	64
4.4.2 ETAPA 2	66
4.4.2.1 Seleção de Ferramentas.....	66
4.4.2.2 Aplicação da Verificação Automatizada	69
4.4.3 ETAPA 3	71
5 RESULTADOS	75
5.1 CONTEXTO DO SETOR DE EMERGÊNCIA ATUAL DO HOSPITAL A.....	75
5.2 DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DO ESPAÇO FUTURO DA EMERGÊNCIA	75
5.2.1 Compatibilização e modificações de projetos do Espaço Futuro	77
5.2.2 Aprovação do projeto na ANVISA.....	78
5.3 CATEGORIZAÇÃO DE REQUISITOS REGULAMENTARES	79
5.3.1 Resolução RDC nº 50	80
5.3.1.1 Captura de Requisitos Regulamentares	82
5.3.1.2 Classificação quanto à Natureza e Possibilidade de Tradução em Regra Lógica	84
5.3.1.3 Resultados da Classificação da Resolução RDC nº 50	85
5.3.2 Código de Edificações do Município de Porto Alegre	90
5.3.2.1 Classificação do Código de Edificações de Porto Alegre.....	91
5.3.3 Análise de Resultados da Categorização de Requisitos	94
5.4 APLICAÇÃO DA VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DOS REQUISITOS.....	96
5.4.1 Visão Geral do <i>Software</i> Solibri Model Checker®.....	96
5.4.1.1 Conversão de Regulamentações e Criação de Regras	97
5.4.1.2 Importação do Modelo e Classificação	98
5.4.2 Verificação de Regras com o Solibri®	101
5.4.2.1 Largura dos corredores.....	101
5.4.2.2 Área e altura dos espaços	103
5.4.2.3 Características das portas	105
5.4.2.4 Bate-macas.....	107
5.4.2.5 Existência de sistemas complementares	108
5.5 VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA E A TRANSFORMAÇÃO DA INFORMAÇÃO	110
5.6 DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS	112
6 FRAMEWORK PARA SUPORTE À VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DE REQUISITOS.....	115

6.1 VISÃO GERAL DO <i>FRAMEWORK</i>	115
6.2 ESCOPO DE APLICAÇÃO DO <i>FRAMEWORK</i>	116
6.3 CONTRIBUIÇÃO TEÓRICA DO <i>FRAMEWORK</i>	118
6.4 DESCRIÇÃO DETALHADA DO <i>FRAMEWORK</i>	122
6.4.1 Framework: Fases	122
6.4.2 Framework: Processamento Interno de Dados.....	122
6.4.2.1 Processo de Tradução 1 (TP1).....	123
6.4.2.2 Processo de Tradução 2 (TP2).....	124
6.4.3 Framework: Módulo de Interação entre Fases e Processamento Interno.....	124
6.4.4 Framework: Elementos Taxonômicos	124
6.4.4.1 Informação Semântica	125
6.4.4.2 Sentença Atômica	125
6.4.4.3 Expressão Lógica	126
6.5 ANÁLISE CRÍTICA DO <i>FRAMEWORK</i>	127
6.5.1 Avaliação do Artefato: Constructo Utilidade.....	127
6.5.2 Avaliação do Artefato: Constructo Aplicabilidade.....	128
7 CONCLUSÕES.....	130
7.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES.....	130
7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	134
8 REFERÊNCIAS	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre os aspectos da natureza de empreendimentos da saúde	20
Figura 2 – Relação entre BIM e modelagem paramétrica.....	32
Figura 3 – Parâmetros internos especificados pelo usuário em um objeto paramétrico	34
Figura 4 – Representação esquemática do LOD	36
Figura 5 – Interoperabilidade e fluxo de informações	41
Figura 6 – Classes fundamentais do processo de verificação automatizada.....	44
Figura 7 – Empreendimento do estudo empírico 1	59
Figura 8 – Delineamento da pesquisa	60
Figura 9 – As fases propostas por Holmström, Ketokivi e Hameri (2009) aplicadas ao delineamento ..	61
Figura 10 – Fontes de evidência: fase de compreensão	65
Figura 11 – Edificação 1 do Hospital A	67
Figura 12 – Pavimento térreo da Edificação 1	67
Figura 13 – Seção da Emergência.....	68
Figura 14 – Regulamentações inseridas no Solibri® para verificação automatizada.....	70
Figura 15 – Entrevistas de Refinamento e Avaliação do Artefato	72
Figura 16 – Atribuições de estabelecimentos assistenciais de saúde	81
Figura 17 – Exemplo 1 – Resolução RDC nº 50	82
Figura 18 – Exemplo 2 – Resolução RDC nº 50	83
Figura 19 – Conversão de requisitos quanto à natureza e regra lógica	84
Figura 20 – Resolução RDC nº 50: Relação entre os elementos identificados.....	87
Figura 21 – Resolução RDC nº 50: Caracterização dos requisitos identificados	88
Figura 22 - Matriz de caracterização dos requisitos.....	89
Figura 23 – Código de Edificações: Relação entre os elementos identificados	92
Figura 24 – Código de Edificações: Caracterização dos requisitos identificados	93
Figura 25 – Comparação entre caracterização das regulamentações	94
Figura 26 – Interface do Solibri Model Checker®	97
Figura 27 – Interface do Ruleset Manager.....	98
Figura 28 – Modelo BIM 3D visto no Solibri®	99
Figura 29 – Classificação de objetos IFC no Solibri®	100
Figura 30 – Propriedades da verificação da Largura dos Corredores.....	101
Figura 31 – Verificação automatizada: largura dos corredores para $\ell=2,0\text{m}$	102
Figura 32 – Verificação automatizada: largura dos corredores para $\ell=1,0\text{m}$	103
Figura 33 – Propriedades da verificação da área dos espaços	103
Figura 34 – Propriedades da verificação da altura dos espaços.....	104
Figura 35 – Verificação automatizada: espaços	105
Figura 36 – Propriedades da verificação da dimensão das portas	105
Figura 37 – Propriedades da verificação da existência de visores nas portas.....	106
Figura 38 – Verificação automatizada: inconsistências devido à classificação das portas	107
Figura 39 – Propriedades da verificação da existência de bate-macas nos corredores de circulação .	107
Figura 40 – Verificação automatizada: bate-macas	108
Figura 41 – Propriedades da verificação da existência de sistemas complementares de instalações prediais.	109

Figura 42 – Verificação automatizada: sistemas complementares	110
Figura 43 – Fluxo de informação semântica em um sistema de verificação automatizada.....	111
Figura 44 – <i>Framework</i> para suporte à verificação automatizada de regulamentações	117
Figura 45 – Definição de constructos representados no <i>framework</i>	120
Figura 46 – Relações e conexões entre os elementos do <i>framework</i>	121
Figura 47 – Fases principais do <i>framework</i> : exemplo da Resolução RDC nº 50	123
Figura 48 – As saídas da DSR e o <i>framework</i> desenvolvido	132

LISTA DE ABREVIATURAS

3D – Tridimensional

AC – Projeto de Ar Condicionado

ACM – Saída de Ar Comprimido Medicinal

ADE – A depender do Equipamento

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

AI – *Artificial Intelligence*

AIA – *The American Institute of Architects*

ANVISA – Agência Nacional da Vigilância Sanitária

ARQ – Projeto Arquitetônico

AS – Sentença Atômica

BERA – *Building Environment Rule and Analysis Language*

BIM – *Building Information Modelling*

BOM – *BERA Object Models*

CAC – Condições Ambientais de Conforto

CEI – Circulações Externas e Internas

CG – *Conceptual Graph*

CIC – Condições Ambientais de Controle de Infecção

CSCI – Condições de Segurança Contra Incêndio

DSR – *Design Science Research*

EAS – Estabelecimento Assistencial de Saúde

EBC – *Extended Building Code*

EBIM – *Extendend Building Information Model*

EE – Sistema Elétrico de Emergência

ELE – Projeto Elétrico

FOL – *First Order Logic*

GM – Projeto de Gases Medicinais

GMP – Guia de Modificação de Projeto

GSA – Guia de Solicitação de Alteração

GSI – Guia de Solicitação de Informação

HD – Projeto Hidráulico

HF – Instalação de Água Fria

IFC – *Industry Foundation Classes*

IFD – *International Framework for Dictionaries*

IP – Instalações Prediais ordinárias e especiais

ITr – Algoritmo de Método de Transformação da Informação

KB – *Kwnoledge Base*

LOD – Nível de Desenvolvimento

NLP – *Natural Language Processing*

NORIE – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

O – Oxigênio

OMS – Organização Mundial da Saúde

ON – Óxido Nitroso

PPGCI – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura

PPGEP – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

RS – Rio Grande do Sul

SSC – Sistemas Sociotécnicos Complexos

STR – Projeto Estrutural

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

USG – Ultrassonografia

TI – Tecnologia da Informação

TP1 – Processo de Tradução 1

TP2 – Processo de Tradução 2

UK – *United Kingdom*

VCCL – *Visual Code Checking Language*

XML – *eXtensible Markup Language*

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a motivação para o desenvolvimento do trabalho, o contexto e justificativa ao assunto tratado, o problema de pesquisa, os objetivos de pesquisa e delimitações do trabalho. Também é apresentada a estrutura do trabalho.

1.1 MOTIVAÇÃO

Este trabalho faz parte de um conjunto de estudos desenvolvidos no Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) da UFRGS, por um grupo de professores, alunos de mestrado e doutorado, e pós-doutorandos, na área de gestão de requisitos do ambiente construído, com foco em empreendimentos hospitalares.

Do ponto de vista institucional, esta pesquisa fez parte de uma das fases de um projeto intitulado “Desenvolvimento de Novos Métodos para Gestão da Segurança em Sistemas Sociotécnicos Complexos”. Neste projeto, originalmente firmado entre o Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (PPGEP/UFRGS) e um hospital público da grande Porto Alegre (Hospital A), foi estabelecida uma parceria com o objetivo geral de desenvolvimento de métodos inovadores para gestão de sistemas sociotécnicos (SSC), enfatizando aplicações no setor de Emergência de hospitais. Dentro deste projeto, o presente trabalho enquadrou-se dentro do módulo da gestão de requisitos, por estar relacionado a uma abordagem inovadora para verificação de requisitos do ambiente construído, de forma automatizada.

A principal motivação para o desenvolvimento deste trabalho, contudo, é de cunho pessoal. Esta inspiração é proveniente da necessidade em explorar a possibilidade de melhoria em projetos para empreendimentos hospitalares ao mesmo tempo em que se busca a compreensão e o desenvolvimento de novas ferramentas baseadas em BIM. Dessa forma, estes ambientes possuem o potencial de qualidade superior àquele observado atualmente. Assim, existe oportunidade para melhoria do tratamento terapêutico dos usuários finais, bem como da qualidade de vida do *staff* hospitalar, que utiliza estes espaços por longos períodos de tempo, melhorando os fluxos e permitindo a otimização das operações. Além disso, a adequação dos projetos aos critérios regulamentares e a oportunidade de modificação nas regulamentações em si, são, ainda, potenciais oportunidades de melhorias de projetos hospitalares, visando a aumentar o bem-estar dos usuários. Espera-se, também,

que reiterando os benefícios da utilização de técnicas baseadas em BIM e demonstrando a importância da abordagem semântica, especialmente para empreendimentos hospitalares, as barreiras para a adoção de técnicas automatizadas em projetos possam ser diminuídas, facilitando o acesso ao uso das ferramentas disponíveis e viabilizando o desenvolvimento de novas soluções.

1.2 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

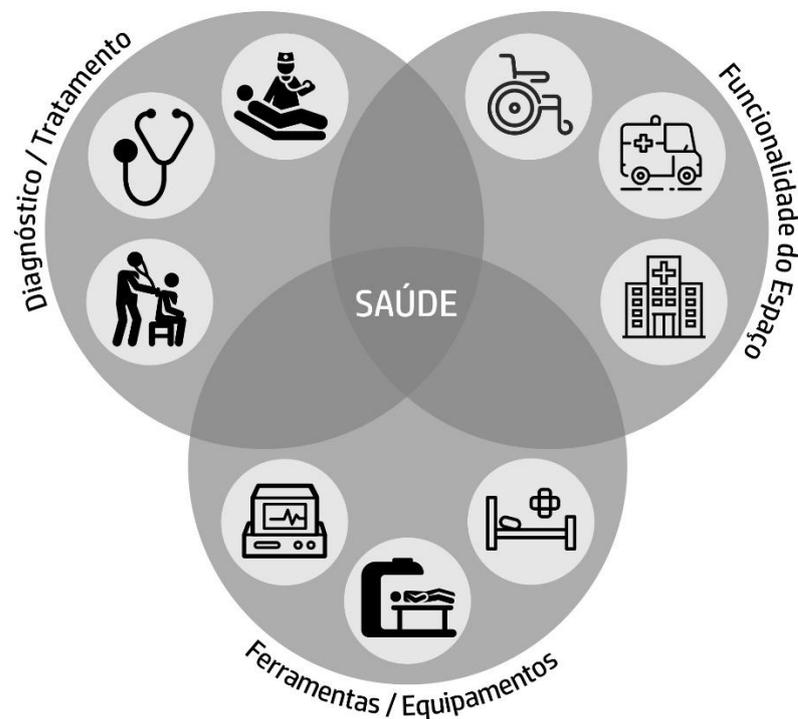
De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a prática da medicina refere-se a atividades, crenças e conhecimentos utilizados na manutenção da saúde, bem como na prevenção, diagnóstico, melhoria e tratamento de doenças físicas e mentais, visando manter o bem-estar geral da população (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2000). Antes do desenvolvimento de parâmetros e regulamentações que condicionassem as atividades médicas aos ambientes nos quais elas ocorrem, os tratamentos de saúde eram caracterizados por meio de atributos culturais ou religiosos (CHELLAPPA, 2009). Com o passar do tempo, o desenvolvimento de projetos hospitalares e da saúde passou a demandar novos conhecimentos, relacionados ao equilíbrio entre políticas, projetos, opções e preferências humanas (PIKAS et al., 2011).

O projeto do ambiente construído hospitalar é resultado de uma acumulação de diferentes conhecimentos no que diz respeito à provisão de necessidades básicas humanas, métodos de cuidado e de cura de enfermidades, buscando ambientes que promovam adequado tratamento (CHELLAPPA, 2009). Em projetos de empreendimentos hospitalares ou ambientes da saúde, a relação entre a qualidade do projeto e do ambiente construído ainda é mais crítica. Nesse sentido, Tzortzopoulos, Chan e Cooper (2005) apontam que projetos adequados de ambientes hospitalares e da saúde tendem a contribuir positivamente para os resultados finais de tratamentos terapêuticos, existindo uma relação direta entre a qualidade do ambiente hospitalar, dos serviços desenvolvidos e dos resultados finais dos tratamentos médicos. Tal interesse emerge devido ao desafio em desenvolver edificações de alta qualidade, e, que ao mesmo tempo, sejam capazes de acomodar intervenções clínicas e tecnologias médicas complexas de forma satisfatória, fornecendo ambientes terapêuticos mais humanos e eficientes.

Com relação aos ambientes hospitalares, Chellappa e Park (2010) afirmam que a natureza crítica do processo de projeto destes espaços é devido a três fatores: (i) o tratamento de pacientes envolve diferentes atividades, como discussões, exames, operações e verificações; (ii) os ambientes hospitalares necessitam ser funcionais para os médicos, assistentes e demais membros do *staff* hospitalar, de acordo com as necessidades de cada uma das atividades que ali ocorrem; (iii) os

ambientes necessitam ser projetados de acordo com as necessidades dos equipamentos de grande porte e ferramentas tecnológicas que irão ser utilizadas, e as consequentes implicações nas atividades a serem desenvolvidas (Figura 1). Dessa forma, a criticidade destes projetos está relacionada aos requisitos envolvidos, que dizem respeito às necessidades dos usuários destas instalações, mas também às demandas legais e regulamentares e das demais funcionalidades relacionadas aos espaços projetados.

Figura 1 – Relação entre os aspectos da natureza de empreendimentos da saúde



(fonte: adaptado de Chellappa e Park, 2009)

Para que as atividades relacionadas à saúde possam condições plenas de atender às necessidades dos pacientes, é necessário um ambiente hospitalar adequado (TZORTZOPOULOS; CHAN; COOPER, 2005; BALDAUF et al., 2015). Em um contexto de projeto de edificações, é reconhecido que, nesta fase, ocorrem as melhores oportunidades para aumentar a eficiência na etapa de produção e aumentar geração de valor para os usuários finais destes espaços (ENACHE-POMMER et al., 2010; KEMMER et al., 2011). De acordo com Koskela (2000), valor é gerado por meio do atendimento das necessidades e dos requisitos dos clientes. Tal satisfação é atingida num ciclo, no qual os requisitos são capturados e convertidos, em um ou mais estágios, em um produto ou serviço entregue ao consumidor final. Ao longo do processo de desenvolvimento de produto, a geração de valor consiste de três fases, descritas

por Leinonen e Huovila (2000) como: (i) identificar os desejos, necessidades e expectativas dos clientes; (ii) desenvolver soluções que vão ao encontro destes requisitos; e (iii) conduzir uma série de verificações ao longo do processos de projeto e de produção, para que as necessidades dos clientes possam ser traduzidas em um produto final, apropriado a elas.

Nesse sentido, os requisitos dizem respeito às funções, atributos e demais características do produto ou serviço requeridas pelos diversos clientes envolvidos, para que possam ser traduzidos em atributos da edificação, ou seja, para definir o que será produzido (KAMARA; ANUMBA; EVBUOMWAN, 2000). Estes atributos, ainda, podem ser concretos ou abstratos (GUTMAN, 1982), dependendo da percepção sensorial das características físicas do produto, ou da representação abstrata e não-sensorial de características dos atributos concretos (PETER; OLSON, 2001). Ainda, requisitos regulamentares são definidos por Kamara, Anumba e Evbuomwan (2000) como sendo regulamentos, normas e leis relacionados ao projeto, à obra, ao planejamento, à saúde e à segurança, além de outros requisitos legais que influenciam a aquisição, existência, operação e demolição do empreendimento.

Kiviniemi e Fischer (2004) apontam que a natureza iterativa do processo de projeto, e a sucessão de novas propostas de solução podem, ainda, levar à evolução dos requisitos iniciais por parte dos clientes. Tal fato, segundo os mesmos autores, pode promover uma desconexão entre os requisitos e a documentação de projeto. Com isso, o produto final pode não considerar alguns dos importantes requisitos que emergem ao longo do processo de desenvolvimento do produto, promovendo questionamentos quanto à qualidade do projeto e do processo de produção da edificação relacionada. Ainda, Solihin e Eastman (2015) também afirmam que os requisitos não lidam somente com propriedades diretamente mensuráveis, mas também com informações mais abstratas e ricas em semântica, que nem sempre são facilmente explicitadas no processo de projeto.

As instalações hospitalares e da saúde são reconhecidas pela elevada complexidade envolvida nas atividades de projeto, produção e operação (ENACHE-POMMER et al., 2010). A complexidade observada nos projetos de espaços da saúde está relacionada ao produto (ambiente construído) e aos processos associados, desenvolvidos nestes espaços. Muito desta complexidade, na etapa de projeto, diz respeito ao número de subsistemas construtivos e à diversidade de requisitos envolvida. Apesar disso, estas edificações são, usualmente, projetadas com a utilização de métodos de *design* tradicionais na indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC) (CHELLAPPA, 2009). A utilização de abordagens tradicionais de projetos e de gestão se mostra inadequada para o contexto hospitalar, uma vez que o aumento da complexidade dos projetos e dos processos, aliados ao dinamismo e à inovação (EDER et al., 2012), mostram-se insuficientes em termos de eficiência e de

geração de valor (KOSKELA; HOWELL, 2002). Ainda, a utilização de práticas tradicionais em empreendimentos que demandam técnicas mais robustas, capazes de lidar com a complexidade e incerteza envolvidas, pode fazer com que o produto final seja entregue, geralmente, a custos acima dos previstos. Nesse sentido, Manning e Messner (2008) afirmam que as implicações relativas à utilização ineficiente de recursos destinados à construção de novos centros de saúde e hospitais podem prejudicar o sistema como um todo.

Dessa forma, os dados obtidos por meio de avaliações e evidências coletadas junto aos pacientes, médicos, clientes, documentos, regulamentações, instituições governamentais e demais envolvidos são críticos para a tomada de decisão em projetos destas edificações, pois representam as necessidades dos diferentes envolvidos e interessados no empreendimento (KOLLBERG; DAHLGAARD; BREHMER, 2006; SENGONZI; DEMIAN; EMMITT, 2009; CHELLAPPA; PARK, 2010). Uma importante fonte de informação para o desenvolvimento destes projetos está relacionada aos códigos, regulamentações e legislações vigentes (ARAYICI et al., 2011), fundamentais para adequação dos atributos especificados pelos tomadores de decisão, durante as etapas de projeto, aos requisitos e demais critérios legais. Nesse sentido, as instituições regulamentadoras e agências governamentais locais são clientes importantes em empreendimentos hospitalares.

A utilização de *Building Information Modelling* (BIM) permite o desenvolvimento de projetos que alcancem maior qualidade, tendo justamente o contexto hospitalar como um dos maiores realizadores de seus benefícios (CHEN et al., 2011; ENACHE-POMMER et al., 2010). O uso de tecnologia da informação é sugerido para auxiliar à gestão de requisitos por muitos anos. Kamara e Anumba (2001) indicam que a tecnologia da informação (TI) pode permitir a criação, comunicação, documentação e gerenciamento dos requisitos envolvidos em um projeto. Nesse sentido, Kiviniemi (2005) sugere que a introdução de TI na gestão de requisitos é desejável, pois permite a inserção de certo nível de automação em manipular grandes quantidades de informações envolvidas. No contexto hospitalar, gerenciar as informações necessárias para projetar estes ambientes é uma atividade que continuamente atinge novos níveis de complexidade, devido aos avanços do conhecimento médico, da tecnologia associada e dos procedimentos realizados (CHELLAPPA, 2009).

Apesar das muitas contribuições já identificadas, a partir do uso de técnicas baseadas em TI e BIM, existe uma série de lacunas que necessitam de estudo e de pesquisa para maior entendimento e consequente viabilização técnica e funcional. Assim, a utilização de ferramentas baseadas em BIM tem o potencial de aumentar a eficiência na qual os proprietários, projetistas e construtores desenvolvem, documentam, gerenciam e executam projetos hospitalares (MANNING; MESSNER, 2008). Portanto,

existe a necessidade de criar, analisar e manter disponível elevada quantidade de informações, que, tradicionalmente, não são explicitadas ou vinculadas aos projetos e modelos tridimensionais comuns.

A partir do reconhecimento das peculiaridades relacionadas aos projetos de empreendimentos hospitalares, muito relacionadas à complexidade, percebe-se que novas técnicas e abordagens baseadas em TI e BIM são capazes de aumentar o valor percebido pelos usuários destes espaços, ao mesmo tempo em que permitem melhoria nos processos de projeto. Por outro lado, a elevada e crescente quantidade de requisitos envolvidos nesses projetos desafia os envolvidos nos processos de tomada de decisão a considerarem, armazenarem e utilizarem plenamente tais demandas nas soluções de projeto, ao longo do desenvolvimento do mesmo. Dessa forma, percebe-se a existência da necessidade de investigar o impacto de BIM, e das abordagens consequentes, na automatização da verificação de requisitos, em projetos de empreendimentos hospitalares.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Dentro do contexto de projetos de empreendimentos hospitalares e da saúde, existem muitos problemas a serem investigados, e, portanto, muitas variáveis envolvidas nos processos de tomada de decisão. A utilização de BIM em ambientes hospitalares apresenta grande número de benefícios apontados pela literatura, muitos relacionados ao contexto de elevada complexidade, conforme mencionado no item 1.2. Nesse sentido, a implementação de BIM, juntamente com a complementação e melhoria das práticas gerenciais e processuais, demonstram ter profundo impacto em como os projetos hospitalares podem ser desenvolvidos e entregues (PIKAS et al., 2011).

Em projetos de empreendimentos hospitalares, as constantes revisões são potenciais causas para os elevados índices de retrabalho envolvidos (FENG; TOMMELEIN, 2009). A origem destas perdas diz respeito a revisões realizadas de forma inapropriada, ou seja, quando são incompletas, não coordenadas e omissas em interpretar as documentações e códigos de regulamentações (FENG; TOMMELEIN, 2009). Diante disso, os referidos autores desenvolveram um estudo para identificar as fontes de perdas nas etapas de projeto e construção de instalações hospitalares. Foram identificados 158 itens de perdas nos processos, sendo que uma nova categoria foi explicitada, e diz respeito às revisões de projeto, com ênfase nas modificações de códigos e regulamentações e revisões de projeto inadequadas. Tais mudanças são fonte de retrabalho em muitas situações, principalmente quando dizem respeito a projetos de elevada complexidade. De forma semelhante, Manning e Messner (2008), com base em estudos de dois hospitais concluíram que, dentre os maiores benefícios da utilização de BIM nesses ambientes, está o fato de atributos paramétricos no modelo permitirem a programação de

informações para rápida comparação aos documentos e regulamentações, a um elevado nível de confiabilidade e acurácia.

Uma parte fundamental do processo de projeto e do uso de uma edificação diz respeito à satisfação dos requisitos de diversas origens (MARCHANT, 2016). Chellappa e Park (2010) afirmam que o uso de BIM permite a coordenação de múltiplas variáveis encontradas em instalações hospitalares e da saúde. Os referidos autores afirmam, ainda, que este fato permite preencher a lacuna que existe entre o projeto de ambientes hospitalares e os serviços neles desenvolvidos pelos profissionais da saúde, ao longo da operação dos espaços. Kiviniemi (2005) afirma que a utilização de técnicas baseadas em BIM pode ser uma alternativa de apoio à gestão de requisitos envolvidos em um projeto de construção, devido ao fato de permitir a conexão entre diferentes tipos de informações aos modelos de produto. Dessa forma, o uso combinado de modelos BIM, servidores e tecnologias emergentes pode permitir a automatização de algumas atividades que não geram valor diretamente ao processo de projeto, mas que são fundamentais para o sucesso do mesmo (AZIZ; TEZEL, 2016), como a verificação de tolerâncias e de requisitos aos códigos de construção.

A verificação detalhada da conformidade entre os elementos de projeto e os padrões aplicáveis de regulamentações se mostra uma etapa essencial no processo de projeto (NAWARI, 2013). Estas verificações são desenvolvidas múltiplas vezes ao longo do processo de projeto, a partir do avanço das definições dos atributos da edificação. Quando desenvolvidas de forma tradicional, as verificações de requisitos são executadas por meio da comparação manual de regras e de regulamentações aos atributos concretos especificados no projeto. Realizada desta forma, a verificação manual aumenta a propagação de erros, por meio de resultados ambíguos e inconsistentes realizados através de procedimentos ineficientes e repetitivos, que consomem elevadas quantidades de tempo e demais recursos das equipes de projeto (EASTMAN et al., 2009; TAN; HAMMAD; FAZIO, 2010; BHATT; HOIS; KUTZ, 2012; ZHONG et al., 2012; NAWARI, 2013; HARDIN; MCCOOL, 2015; ZHANG; EL-GOHARY, 2015; JIANG; LEICHT, 2016; LEE et al., 2016; PREIDEL; BORRMANN, 2015, 2016; MACIT İLAL; GÜNAYDIN, 2017).

Dessa forma, a necessidade da automatização da verificação de requisitos (*automated code checking* ou *automated rule checking*) é, evidentemente, cada vez mais crítica (NAWARI, 2012a), uma vez que a complexidade inerente aos projetos de empreendimentos hospitalares oferece, ainda, uma oportunidade para reforçar os benefícios da utilização de técnicas baseadas em BIM. (ENACHE-POMMER et al., 2010; MANNING; MESSNER, 2008). De forma análoga, diante do elevado número de códigos e regulamentações de construção, e ao conseqüente infinito número de regras que podem ser

definidas a partir deles, um processo de sistematização torna-se fundamental para viabilizar a verificação dos requisitos (SOLIHIN; EASTMAN, 2015).

Apesar do reconhecimento da necessidade de sistematização dos processos que envolvem a verificação automatizada de requisitos, as revisões de literatura realizadas por Tan, Hammad e Fazio (2010) e Zhong et al. (2012) afirmam que as pesquisas desenvolvidas dentro deste escopo são pontuais e isoladas. Muitas vezes, os esforços relatados estão relacionados somente aos processos de implementação de *software* comercial (SOLIHIN; EASTMAN, 2016). Ainda, as ferramentas de verificação comercialmente disponíveis dizem respeito predominantemente a requisitos de natureza quantitativa, havendo grande dificuldade em analisar um cenário em que os requisitos tem origem qualitativa, como o observado no contexto de instalações hospitalares.

Diante da revisão bibliográfica desenvolvida nesta pesquisa, percebe-se que os trabalhos que estudam abordagens inovadoras para automatização da verificação de requisitos (NAWARI, 2009; YURCHYSHYNA; ZARLI, 2009; PAUWELS et al., 2011; BEACH et al., 2015; PAUWELS; ZHANG, 2015; DIMYADI; PAUWELS; AMOR, 2016; HJELSETH, 2016; JIANG; LEICHT, 2016; PAUWELS et al., 2017; PAUWELS; ZHANG; LEE, 2017), são desenvolvidos para conjuntos de requisitos pouco abrangentes, como aqueles que limitam os requisitos a categorias específicas, como acessibilidade ou segurança estrutural, mostrando-se fragmentados em diversos sentidos, além de não refletirem a abrangência das regulamentações hospitalares. Tal fato aumenta a necessidade de sistemas em que seja possível generalizar a solução para conjuntos de requisitos menos específicos e mais amplos, permitindo maior adaptabilidade sem perdas de consistência da informação, quando se analisa um conjunto de requisitos vasto e de diferentes naturezas.

Por outro lado, os trabalhos desenvolvidos que exploram em maior profundidade o aspecto técnico das linguagens de programação para sistemas de verificação de requisitos (LEE; EASTMAN; LEE, 2014; ZHANG; EL-GOHARY, 2015; PARK; PREIDEL; BORRMANN, 2015, 2016; SOLIHIN; EASTMAN, 2016; LEE; LEE, 2016) acabam, em sua maioria, por se deterem somente às questões de programação computacional, limitando o escopo de solução, de modo a dificultarem a adoção destas soluções em um contexto que requer abordagens não-codificadas devido à subjetividade envolvida nos requisitos, como o de projetos hospitalares. Em muitos trabalhos relacionados ao assunto, a importância da informação semântica¹ não é plenamente considerada (SOLIHIN; EASTMAN, 2016). Dessa forma,

¹ Entende-se por informação semântica um conjunto dados processados, estruturados e dotados de significado. Esta conceptualização torna-se fundamental ao longo do trabalho e será melhor explorada na seção 3.2.

permanece uma lacuna em compreender a origem dos requisitos regulamentares, suas características e os correspondentes impactos na verificação, e a forma como eles são transformados até uma condição de regra lógica parametrizada e programável, conduzida de acordo com uma perspectiva mais holística e menos restrita.

Em vista disso, há uma lacuna de conhecimento em se tratando de suporte à sistematização e à uniformização de um sistema para verificação automatizada de requisitos no contexto hospitalar, principalmente no que tange à compreensão menos restrita dos requisitos de características distintas e menos objetivas. Dessa forma, é evidente a necessidade de uma solução abrangente, desenvolvida sob uma perspectiva mais holística e não-codificada, com o intuito de permitir melhoria da eficiência nos processos de verificação regulamentar sem a perda de dados relevantes aos projetos de espaços hospitalares. Assim, as contribuições teóricas desta pesquisa dizem respeito à relação dos conceitos envolvidos nas taxonomias e transformações de informação em um contexto de verificação automatizada de requisitos regulamentares com apoio de BIM em empreendimentos hospitalares. Dessa forma, espera-se contribuir para a compreensão da importância da abordagem semântica em processos que envolvem BIM. Esta contribuição está associada, também, aos processos de conversão e tradução da informação que acontecem ao longo da explicitação de requisitos regulamentares, em que serão discutidos os impactos dos processos de interpretação e abstração da informação.

1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

A seguir, são descritos o objetivo geral, bem como os objetivos específicos da pesquisa.

1.4.1 Objetivo geral da pesquisa

O objetivo geral da pesquisa consiste em propor um framework para suporte à verificação automatizada de requisitos regulamentares em projetos hospitalares por meio da utilização de princípios semânticos. Este *framework* visa a dar suporte para a modelagem de requisitos regulamentares e para o desenvolvimento tanto de sistemas computacionais quanto para novos métodos de verificação automatizada de requisitos regulamentares em projetos hospitalares. Os usuários-alvo do *framework* são: (i) membros de equipes de projeto que utilizam sistemas de verificação automatizada; (ii) instituições regulamentadoras governamentais ou privadas envolvidas no desenvolvimento ou atualização de códigos existentes; e (iii) empresas desenvolvedoras de *software* e *plug-ins* que atuam no desenvolvimento de sistemas e algoritmos de verificação automatizada.

1.4.2 Objetivos específicos da pesquisa

A seguir são descritos os objetivos específicos da pesquisa:

- a) Mapear e categorizar regulamentações pertinentes a projetos de empreendimentos hospitalares.
- b) Compreender o papel da semântica na tradução de dados para verificação automatizada de requisitos, no que se relaciona com BIM e codificação da informação.
- c) Promover uma reflexão a partir do uso de abordagens semânticas para o desenvolvimento ou aprimoramento de ferramentas de verificação automatizada de regras em modelos de edificações baseados em BIM.

1.5 DELIMITAÇÕES

As principais delimitações deste trabalho estão relacionadas a não ter sido possível aplicar o *framework* a uma situação real. Além disso, ao longo do desenvolvimento da pesquisa, não foram considerados aspectos que dizem respeito à definição de linguagens computacionais e à descrição aprofundada de códigos e algoritmos. Ainda, na caracterização das regulamentações, foram utilizados somente dois conjuntos de regulamentações como fontes de informação: Resolução RDC nº 50 (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2002) e Código de Obras do Município Porto Alegre, Brasil (MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE, 2001). Isso representa uma delimitação pois não considera todas as demais regulamentações e normativas associadas a projetos hospitalares, além das informações do Código de Obras do Município de Porto Alegre estarem inseridas em projetos somente para o contexto deste município. Além disso, o envolvimento completo da equipe de engenharia do Hospital A foi considerado ao longo do desenvolvimento do estudo empírico, mas não foi possível de ser totalmente concretizado. Por fim, a utilização de somente uma ferramenta para aplicação da verificação automatizada de regras em modelos BIM (*Solibri Model Checker*) representa outra delimitação, cujos impactos serão discutidos no item 5.4.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além do presente capítulo de introdução, em que são expostos a motivação, contexto e justificativa, o problema para desenvolvimento da pesquisa, bem como os objetivos e delimitações, este trabalho dispõe de mais sete capítulos.

Os capítulos 2 e 3 apresentam a revisão bibliográfica. O primeiro deles aborda os conceitos que relacionam BIM ao escopo deste trabalho, desde a definição que se mostra mais adequada, objetos e regras paramétricas e sistemas de verificação de regras automatizados com a utilização de BIM. A seguir, são discutidos os conceitos de linguagem e abordagens para verificação automatizada, em que se procura evidenciar os estudos realizados que relacionam a utilização de linguagens computacionais e diferentes abordagens para sistemas de verificação automatizada, bem como as informações inseridas em códigos e regulamentações.

O capítulo 4 apresenta o método de pesquisa, no qual é descrita a abordagem adotada para esta pesquisa, a caracterização do estudo empírico, bem como o delineamento da pesquisa. Na sequência são descritas as fases de compreensão, desenvolvimento e análise e reflexão.

No capítulo 5 são expostos os resultados da pesquisa, com base no desenvolvimento do estudo empírico em um projeto de expansão de um hospital. São descritos o processo de projeto observado, a categorização de requisitos proposta nesta pesquisa e a aplicação da verificação automatizada por meio de um *software* comercial. Ao final deste capítulo, é feita uma discussão sobre os resultados.

No capítulo 6, é definido e apresentado o artefato desta pesquisa, o *framework* para suporte à verificação automatizada de requisitos regulamentares em projetos hospitalares por meio da utilização de princípios semânticos. Por fim, no capítulo 7 são apresentadas as principais conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2 BUILDING INFORMATION MODELLING

Este capítulo inicia com a definição de *Building Information Modelling* (BIM) adotada neste trabalho. Após, é discutido o conceito de parametrização e a sua importância para técnicas baseadas em BIM, tanto para objetos paramétricos quanto para a parametrização de regras. É apresentada uma breve revisão sobre os padrões de classificação em BIM e o formato *Industry Foundation Classes* (IFC). Por fim, são apresentados os aspectos fundamentais da verificação automatizada de requisitos, seu impacto nas ferramentas e *software* BIM e no processo de verificação de projetos, além dos desafios relacionados à sua ampla utilização. As interações mais relevantes entre parametrização, classificação e verificação automatizada de requisitos são discutidas nas considerações finais do capítulo.

2.1 DEFINIÇÃO

De acordo com Eastman et al. (2008), BIM é “uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos associados, para produzir, comunicar e analisar modelos de edificações”. Apesar de esta ser a definição consolidada no *BIM Handbook* (EASTMAN et al., 2008), vários autores (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012; HARDIN; MCCOOL, 2015; MIETTINEN; PAAVOLA, 2014) afirmam que não há uma única definição que seja satisfatória para o conceito de BIM. Dessa forma, é enfatizada a necessidade da interpretação deste como um fenômeno multidimensional que está em constante evolução.

BIM pode ser definido como uma representação digital de uma edificação, um modelo tridimensional orientado ao objeto, ou um repositório de informações de projeto que facilita a interoperabilidade e a troca de informações com as demais aplicações e ferramentas de *software* relacionadas (MIETTINEN; PAAVOLA, 2014). Nesse sentido, a utilização desse repositório de informações, ao invés de um conjunto de desenhos e plantas, permite o armazenamento de diferentes tipos de informação, tais como dados geométricos, semânticos e tipológicos (SCHLUETER; THESSELING, 2009). De acordo com os referidos autores, as informações geométricas dizem respeito à forma tridimensional, os dados semânticos estão relacionados às propriedades dos elementos e as informações tipológicas capturam as dependências entre os componentes de um modelo. Smith e Tardiff (2009) citam, ainda, que os modelos virtuais são compostos por objetos que permitem que a informação seja interpretada por computadores e auxilie os projetistas envolvidos.

Azhar (2011) indica as principais utilizações de modelos baseados em BIM: (i) visualização de projetos em três dimensões; (ii) rápida geração de desenhos técnicos, uma vez que a criação de desenhos,

cortes e plantas é feita com base no modelo tridimensional; (iii) utilização de BIM para verificação de códigos e regulamentações; (iv) estimativas de custo rápidas e precisas, uma vez que as modificações são automaticamente atualizadas; (v) visualização do sequenciamento da produção, (vi) verificação de conflitos, interferências e detecção de colisões entre diferentes disciplinas; (vii) análise gráfica de possíveis falhas; (viii) gestão do uso, planejamento dos espaços e manutenção de edificações.

Com base no exposto, percebe-se que mesmo diante de inúmeras definições e diferentes percepções de uso de BIM, alguns dos pontos observados são equivalentes. Portanto, é importante que sejam mantidas ambas as visões processual, tecnológica e comportamental (HARDIN; MCCOOL, 2015). Em se tratando da verificação automatizada de requisitos, a visão processual (EASTMAN et al., 2008), tem sua importância justificada, uma vez que esta atividade envolve ações de planejamento e de execução, agregação de valor, aplicação de conhecimento, análise e comunicação de resultados. No entanto, é importante ressaltar que o aspecto tecnológico é condicionante básico para o processo em questão. Tal fato emerge basicamente devido a dois princípios: (i) as informações de diversas origens podem ser inseridas, armazenadas e rastreadas com facilidade, devido à estruturação de dados em BIM, (SCHLUETER; THESSELING, 2009; SMITH; TARDIFF, 2009); (ii) uma das bases fundamentais, propostas por Hardin e Mccool (2015), diz respeito justamente à importância da tecnologia avançar à medida que atende às demandas dos usuários, situação análoga à exposta por esta pesquisa. Ainda, a questão comportamental deve ser considerada, uma vez que sistemas como o estudado envolvem tanto os usuários finais, como projetistas e responsáveis pela verificação de inconsistências, mas também dizem respeito à cultura organizacional da instituição (HARDIN; MCCOOL, 2015). A questão comportamental evidencia as maiores resistências para mudanças. No entanto, ela representa uma peça fundamental, uma vez que diz respeito à tomada de decisão dos processos, a nível organizacional, mas também à execução final de atividades, a nível operacional.

2.2 MODELAGEM PARAMÉTRICA

As edificações são compostas por uma elevada quantidade de partes relativamente simples, o que representa um desafio em se tratando da quantidade de informações envolvidas (STEEL; DROGEMULLER; TOTH, 2012). Dessa forma, cada sistema em uma edificação possui regras e relações próprias, fazendo com que haja elevada necessidade de informações para projetar e construir completamente uma edificação (EASTMAN et al., 2011). Um dos benefícios da utilização da modelagem paramétrica para edificações é apontado por Reddy (2012), afirmando que devido à natureza paramétrica de BIM, os projetistas tem a oportunidade de explorar diferentes tipos de

materiais, distribuições de espaço e opções de design. Nesse sentido, Steel, Drogemuller e Toth (2012) afirmam que a modelagem paramétrica permite o controle de diferentes propriedades dos modelos, dessa forma os projetos podem ser facilmente ajustados pela modificação dos parâmetros. Eastman et al. (2011) definem a modelagem paramétrica como uma metodologia geral para definição de modelos por meio de restrições e parâmetros variados, que funciona como um meio para embutir conhecimento em modelos de edificações (LEE; SACKS; EASTMAN, 2006)

Nesses modelos, as informações são inseridas por meio de parâmetros e regras que determinam geometria, com expressões explícitas (LEE; SACKS; EASTMAN, 2006), além de outras propriedades e características não-geométricas (EASTMAN et al., 2008). Os referidos autores expõem, ainda, que tal fato permite a automatização de atualizações, de acordo com o controle do usuário ou modificações de contexto do modelo. Este aspecto é exposto por Hardin e Mccool (2015) como 'habilidade paramétrica', em que qualquer modificação no modelo é universal, e é refletido em todas as diferentes visualizações. Dessa forma, quando qualquer modificação é realizada nas regras de projeto, o modelo é automaticamente modificado (GARBER, 2014).

A parametrização é um conceito de grande relevância em se tratando de BIM. Tal relação emerge devido a: (i) a forma como as informações são inseridas em um modelo; (ii) os meios pelos quais os usuários inserem geometrias e modificam os dados e propriedades dos objetos; (iii) a relação imediata com análises desenvolvidas fora do contexto do desenvolvimento do modelo em si (EASTMAN et al., 2011).

De forma análoga, Lee, Eastman e Lee (2015) afirmam que a utilização de aplicações computacionais e de BIM permite o desenvolvimento tanto de projetos paramétricos que atendem a diferentes critérios, bem como o desenvolvimento de modelos interpretáveis por computador para verificações automatizadas. Dessa forma, percebe-se que neste último contexto, a parametrização está intimamente vinculada a duas bases fundamentais: (i) objetos paramétricos; (ii) regras paramétricas. Esta relação mostra-se uma etapa essencial no desenvolvimento de um sistema de verificação de requisitos, uma vez que diz respeito às informações contidas no modelo virtual da edificação, e a consequente modelagem de regras paramétricas.

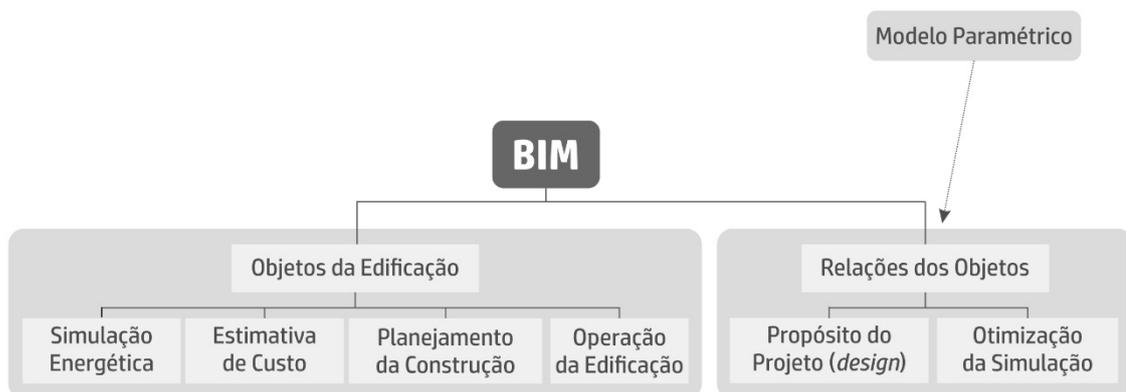
2.2.1 Objetos Paramétricos

Para Eastman et al. (2011), a modelagem paramétrica de objetos é uma forma poderosa de criar e editar geometrias. Nesse sentido, é importante compreender que BIM é uma base de dados que relaciona e controla os componentes de um modelo, e que a geometria tridimensional é um aspecto de

elevada importância. No entanto, o maior valor da aplicação da modelagem paramétrica e do BIM está na habilidade de agregar, editar, escolher e compilar as informações, com o objetivo de aumentar a qualidade dos projetos e da produção (HARDIN; MCCOOL, 2015).

Para compreender a relação entre parametrização e BIM, é importante entender a estrutura dos objetos paramétricos. Dessa forma, Garber (2014) aponta que uma forma é um conjunto de objetos geométricos que contém uma série de atributos e restrições paramétricas. As formas podem ser combinadas em partes, que são porções menores de um objeto maior, ou de uma edificação. Nesse sentido, a relação que existe entre BIM e modelagem paramétrica (Figura 2) é que um modelo BIM contém objetos e as correspondentes relações, que podem ser utilizadas para expressar o propósito do projeto e demais informações. A modelagem paramétrica é uma forma de estabelecer e gerenciar estas relações (KENSEK; NOBLE, 2014).

Figura 2 – Relação entre BIM e modelagem paramétrica



(fonte: adaptado de Kensek e Noble, 2014)

Para Eastman et al. (2011), o conceito de objeto paramétrico é fundamental para o entendimento de BIM. O conceito adotado pelos mesmos autores diz respeito a seis itens básicos: (i) os objetos consistem em definições geométricas e regras e dados associados; (ii) a geometria é integrada e não redundante, não permitindo a ocorrência de inconsistências; (iii) as regras paramétricas dos objetos ditam o comportamento de sua geometria; (iv) os objetos podem ser definidos em diferentes níveis de agregação; (v) os parâmetros dos objetos são capazes de identificar desvios que violem o comportamento para os mesmos; (vi) os objetos possuem a habilidade de vincular-se a ou receber, divulgar ou exportar conjuntos de atributos. De acordo com esta definição, objetos paramétricos são

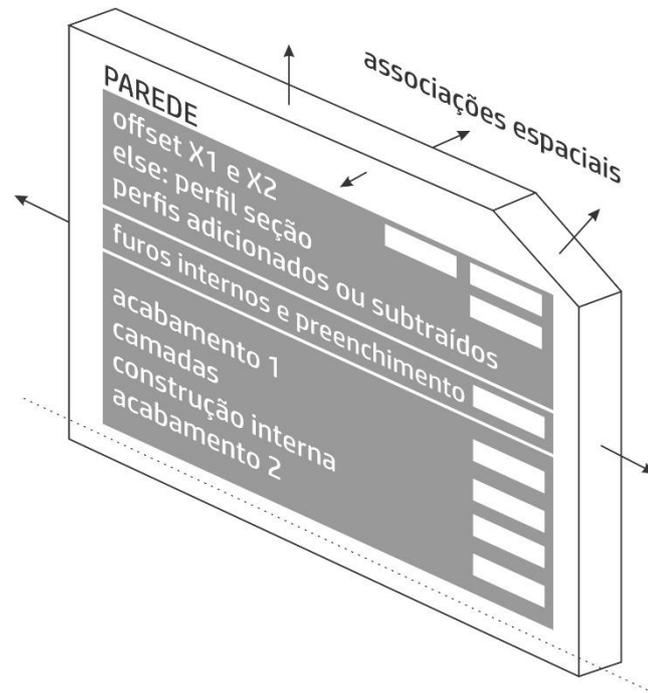
elementos concretos no modelo da edificação, que possuem informações concretas ou abstratas, numéricas ou textuais, a eles vinculadas.

A modelagem paramétrica de objetos permite que os parâmetros sejam processados por fórmulas matemáticas e algoritmos computacionais antes de serem transferidos aos objetos (KENSEK; NOBLE, 2014). Nesse sentido, Eastman et al. (2011) afirmam que a utilização deste tipo de modelagem torna o desenvolvimento e a edição de geometrias mais acessível, uma vez que as etapas de projetos se tornam mais ágeis e com menor propagação de erros. De forma análoga, Kensek e Noble (2014) afirmam que, por meio da modelagem paramétrica, um objeto pode modificar-se em vários estados e, ao mesmo tempo, preservar a lógica e o detalhamento construtivo.

Em um modelo BIM, os objetos são definidos por parâmetros internos ou especificados pelo usuário, além de dados físicos, estéticos, funcionais e gráficos (KENSEK; NOBLE, 2014). Os objetos e as suas faces podem ser definidos utilizando relações que envolvem distâncias, ângulos e regras, como **vinculado a**, **paralelo a** e **distante de** (EASTMAN et al., 2011). De acordo com os autores, essas relações permitem que cada instância de um elemento varie de acordo com as próprias configurações dos parâmetros e conforme as condições de contexto dos objetos relacionados. De forma semelhante, Garber (2014) afirma que as restrições paramétricas como paralelismo, posição, comprimento, raio, coincidência e tangência permitem que as modificações sejam automaticamente atualizadas conforme as decisões são tomadas ou editadas. A Figura 3, adaptada de Eastman et al. (2011) apresenta um exemplo de família genérica de paredes, com informações relacionadas à geometria, ao tipo, e classe, sendo que as setas representam objetos adjacentes.

Existem diferentes níveis de desenvolvimento quanto à parametrização de um objeto. De acordo com Eastman et al. (2011), estes níveis dizem respeito a três diferentes estágios: (i) no nível mais simples, o desenvolvimento de formas complexas é feito por meio de poucos parâmetros, o que é comumente chamado de **modelagem paramétrica de sólidos**; (ii) no nível intermediário, os objetos modificam-se automaticamente quando qualquer parâmetro da forma é alterado, com atualizações em todos os layouts do projeto; (iii) num estágio mais avançado, os parâmetros que definem uma forma são vinculados por meio de regras e parâmetros a outra forma distinta (**modelagem paramétrica completa**), devido à necessidade de estabelecer relação entre os diferentes elementos em um modelo.

Figura 3 – Parâmetros internos especificados pelo usuário em um objeto paramétrico



(fonte: adaptado de Eastman et al., 2011)

Apesar de o foco principal da modelagem paramétrica estar depositado em parâmetros e restrições que controlem a geometria e a forma, as relações paramétricas devem ir além das propriedades geométricas e incluir dados semânticos e tipológicos, como, por exemplo, informações não-numéricas, qualitativas e de maior caráter subjetivo (EASTMAN et al., 2011; GARBER, 2014; KENSEK; NOBLE, 2014). Isso se mostra necessário devido à importância da captura de parâmetros tácitos e semânticos, inseridos na modelagem, para utilização posterior e validação interna e externa do modelo. Ainda, Lee, Sacks e Eastman (2006) apontam que mesmo diante da oportunidade de modelar 'objetos inteligentes' oferecida pela parametrização e BIM, capturar e introduzir conhecimento tácito em um modelo paramétrico exige um planejamento de modelagem cuidadoso e bem pensado, devido à ambiguidade e complexidade envolvida no processo.

Apesar do reconhecimento de que a modelagem paramétrica baseada em objetos teve grande influência no aumento da aceitação do BIM, é importante ressaltar que ela não é sinônimo de ferramentas de modelagem BIM ou da geração de modelos das edificações (EASTMAN et al., 2011). De acordo com os mesmos autores, existem inúmeras outras ferramentas de modelagem, análise, verificação, representação e validação que tem um papel importante nas práticas BIM.

2.2.2 Nível de Desenvolvimento (LOD)

O nível de desenvolvimento (*Level of Development* – LOD) é apontado por Solihin e Eastman (2015) como sendo um fator fundamental para o desenvolvimento de modelos de edificações. Os autores afirmam que esse mecanismo de especificação foi desenvolvido com o intuito de articular o conteúdo e a confiabilidade de modelos BIM.

Conforme um projeto BIM evolui ao longo das diferentes fases, os níveis de desenvolvimento devem acompanhar esta evolução (TOMMELEIN; GHOLAMI, 2012). Nesse sentido, os LODs dos objetos em um modelo progridem uniformemente, mas sob índices diferentes (SOLIHIN; EASTMAN, 2015). Assim, quanto mais elevado o LOD, espera-se que mais detalhada seja a informação dentro de um modelo BIM.

De acordo com o AIA (THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS, 2013), o LOD pode ser dividido em cinco níveis (100, 200, 300, 400, 500). O conceito de LOD 350 foi desenvolvido pela equipe do BIMForum, no relatório *Level of Development Specification* (BIMFORUM, 2016). Os 6 níveis de desenvolvimento são descritos a seguir, com base nas informações das duas organizações citadas acima e na Figura 4:

- a) **LOD 100:** os elementos são representados graficamente no modelo de forma genérica, por meio de símbolos ou demais representações aproximadas. Os elementos não são representações geométricas, mas informações agregadas aos objetos do modelo;
- b) **LOD 200:** os elementos são representados graficamente como um sistema, objeto ou conjunto genérico aproximado, com quantidades, forma, localização e orientação. Os elementos podem ser reconhecidos como os componentes que representam ou como volumes para reserva de espaço;
- c) **LOD 300:** os elementos são representados graficamente como um sistema, objeto ou conjunto específico, que é preciso em termos de quantidade, forma, localização e orientação;
- d) **LOD 350:** os elementos são representados graficamente como um sistema, objeto ou conjunto específico, que é preciso em termos de quantidade, forma, localização, orientação e interface com outros sistemas construtivos. Também podem ser adicionadas informações não-gráficas;

- e) **LOD 400:** os elementos são representados graficamente como um sistema, objeto ou conjunto específico, que é preciso em termos de quantidade, forma, localização e orientação, com detalhamento que permite a fabricação, montagem e obtenção de informação para instalação;
- f) **LOD 500:** os elementos são representações verificadas *in loco*, precisos em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Não há avanço relacionado à um nível superior de informação geométrica ou não geométrica, se comparado ao nível anterior.

Figura 4 – Representação esquemática do LOD



(fonte: adaptado de BIMFORUM, 2016)

2.2.3 Regras Paramétricas

Atualmente, as regras contidas em códigos de construção a instruções normativas são escritas em linguagem orientada às pessoas (SOLIHIN; EASTMAN, 2015). Essa abordagem requer um amplo domínio de conhecimento para interpretar as informações e transformá-las em uma forma lógica e programável, sem a perda de informações significativas. Nesse sentido, as 'regras inteligentes', ou regras paramétricas, são definidas por Nawari (2012b) como sendo um formato digital dos códigos de construção. Essas regras possibilitam a verificação automatizada de regulamentações sem interferências no modelo virtual da edificação, fornecendo um suporte ao processo de projeto, com base nos objetos paramétricos, suas relações e atributos.

Solihin e Eastman (2015) apontam que o escopo de regras parametrizadas está delimitado às seguintes categorias: (i) verificações de consistência dos modelos de edificações; (ii) verificação de códigos e normas regulamentares; (iii) requisitos de clientes específicos; (iv) requisitos de viabilidade construtiva; (v) regras de segurança e possíveis ações corretivas; (vi) aprovações de garantia; e (vii) nível de finalização do modelo BIM para entrega à gestão da manutenção da edificação. Percebe-se que, dentro deste escopo, duas das categorias dizem respeito ao presente estudo: verificação de

códigos regulamentares, e a relação dos requisitos de clientes específicos, como no caso de projetos hospitalares.

As regras paramétricas são baseadas em sistemas de verificação para um modelo proposto, e fornecem resultados como **'aprovado'**, **'reprovado'**, **'atenção'**, ou **'desconhecido'** para condições em que a informação é incompleta ou encontra-se perdida (NAWARI, 2012b). Assim, com base na rotina interna da regra, é realizada uma verificação dos atributos e informações no modelo, com o intuito de definir, sistematicamente, se os parâmetros são satisfeitos, insatisfeitos ou incompletos.

Os princípios fundamentais, em se tratando da organização do escopo de regras parametrizadas, são motivados pelas seguintes ideias (SOLIHIN; EASTMAN, 2015):

- a) **reutilização da estrutura das regras e das sentenças:** com base nos padrões das regras, é possível o reaproveitamento da etapa de interpretação, em que é feita a descoberta de premissas, dependências, ambiguidades e exceções para definir exatamente o que são os requisitos lógicos da regra;
- b) **existência de melhores práticas:** em algumas áreas, em que as regras não são bem definidas, existe um consenso de quais são as melhores práticas aceitas pela indústria;
- c) **estratégias para diminuir a lacuna entre as regras e as informações no modelo:** esta lacuna diz respeito aos dados que são implicitamente representados no modelo. Além disso, envolve o desenvolvimento de terminologias para as regras e as suas classificações utilizando um padrão amplamente disponível, como o IFC. Uma forma padrão de representar os modelos de edificação é fundamental no desenvolvimento de sistemas de regras parametrizadas.

Dessa forma, Solihin e Eastman (2015) definem quatro classes de regras parametrizadas. Essa definição diz respeito à complexidade da estrutura de dados do modelo e a complexidade das regras envolvidas. As classes de regras propostas pelos referidos autores estão apresentadas a seguir:

- a) **Regras que requerem um único ou pequeno número de dados explícitos:** essa categoria de regras verifica atributos explícitos e referências de uma entidade que existe em um conjunto de dados BIM. A informação originalmente é inserida nos elementos do modelo. Exemplo: *“paredes corta-fogo devem conter tipos de parede, porta e janelas adequados”*.

- b) **Regras que requerem valores variados para atributos simples:** as verificações são baseadas em um único valor ou em um conjunto de valores derivados. Essa categoria somente deriva valores de atributos, sem desenvolver uma nova estrutura de dados. Além disso, neste processo está envolvido um *trade-off* entre a necessidade do usuário de derivar os dados e os dados derivados pelo sistema de verificação. Neste estágio estão inclusas relações implícitas entre os elementos e combinações internas das regras. Exemplo: *“Distribuição de portas: A distância entre duas portas consecutivas deve ser 1219 mm mais a largura da porta abrindo no espaço. As portas em série devem abrir todas na mesma direção ou pra fora do espaço entre as portas”.*
- c) **Regras que exigem uma estrutura de dados externa:** esta classificação necessita de uma estrutura de dados que é capaz de envolver as informações da edificação com elevado nível de semântica. A ideia principal é de computar os dados uma única vez e utilizá-los em múltiplas aplicações. A utilização típica diz respeito a normas que envolvem requisitos complexos, geralmente utilizando algoritmos de moderada a elevada complexidade. Exemplo: *“Escada de saída de porão: (a) qualquer escada que serve um pavimento de porão de uma edificação deve cumprir com todas as previsões para escadas de saída, e (b) esta escada não pode ser contínua com outra escada que sirva a um pavimento diferente, e (c) as escadas de saída localizadas em porão que estiverem verticalmente alinhadas com as escadas de outros pavimentos devem ser separadas das demais por um elemento construtivo com resistência ao fogo de período mínimo igual ao requerido para o enclausuramento da edificação.”*
- d) **Regras que requerem uma ‘prova de solução’:** esta categoria de regras não necessariamente diz respeito à critérios de aceitação ou rejeição de um item de norma ou regulamentação, mas sim à uma prova de que solução apresentada é válida. As regras geralmente enfatizam critérios para comprovar aceitação, e não de somente atender aos critérios estabelecidos. Espera-se que os níveis de complexidade não aumentem em comparação às demais regras, mas novas necessidades devam emergir, uma vez que este processo diz respeito à captura de conhecimento e desenvolvimento de uma solução viável, por meio de algoritmos computacionais. Exemplo: algumas regras de classe 3 podem evoluir para esta categoria, se abordadas de forma diferente, como o desenvolvimento de um algoritmo que identifica visualmente no modelo, por meio da utilização de padrões cromáticos diferentes, sugestões para disposição de elementos de fixação, como parafusos, com base em uma diretriz previamente parametrizada.

2.3 CLASSIFICAÇÃO E INTEROPERABILIDADE SEMÂNTICA

Apesar de grande parte das atividades de verificação automatizada estarem relacionadas a elementos e objetos individuais, muito do que diz respeito às regras e automatização inicia no nível de categorias do modelo (NAWARI, 2012b). Nesse sentido, a utilização de padrões de classificação permite a utilização de tecnologia da informação de forma íntegra, constituindo a etapa mais básica para comunicação eletrônica por meio de computadores e demais dispositivos (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012).

De acordo com Nawari (2012b), a categorização do modelo tem três funções principais: (i) auxiliar na previsão sobre objetos no modelo, uma vez que eles estejam classificados; (ii) as categorias servem para organizar e simplificar a base de conhecimento; (iii) desenvolvimento de um sistema de mapeamento de termos, definições e disposições de código. Dessa forma, percebe-se que é necessária a adoção de plataformas de trabalho amplamente aceitas e com elevado desenvolvimento técnico, para permitir a comunicação e a colaboração entre os participantes de um projeto, sem exigir que todos trabalhem com as mesmas aplicações proprietárias (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012).

A organização de elementos num modelo BIM em categorias e subcategorias de forma hierárquica e taxonômica é uma parte vital do desenvolvimento de sistemas automatizados. A proposta dessa abordagem é permitir o desenvolvimento da habilidade de lidar com exceções e incertezas presentes em muitas das regulamentações e das normas de construção (NAWARI, 2012b). Em se tratando da classificação de modelos BIM, ou seja, da utilização de um padrão para definição e organização da informação e dos dados inseridos neste modelo, dois conceitos são de elevada importância: interoperabilidade e IFC.

Interoperabilidade é definida por Steel, Drogemuller e Toth (2012) em quatro níveis diferentes: (i) interoperabilidade de arquivos, que é a habilidade de ferramentas trocarem arquivos de forma satisfatória; (ii) interoperabilidade sintaxe, como sendo a habilidade de ferramentas analisarem arquivos sem inconsistências; (iii) interoperabilidade de visualização, que se relaciona à habilidade de ferramentas distintas promoverem visualizações precisas do modelo; e (iv) interoperabilidade semântica, que diz respeito à habilidade de ferramentas distintas compreenderem da mesma forma o significado dos elementos de um modelo.

Nesse sentido, a interoperabilidade baseada num formato padrão aberto, como o IFC, possui inúmeros benefícios. Caso os padrões abertos não existissem, cada uma das ferramentas computacionais deveria desenvolver ferramentas de tradução de ida e volta de arquivos para demais aplicações que deseja comunicar. Com a utilização de um padrão aberto, a informação pode ser importada e

exportada num único formato entre todas as aplicações que suportam o mesmo padrão. (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012).

IFC é um modelo de dados aberto e padronizado, que tem como objetivo permitir a interoperabilidade entre modelos BIM de diferentes ferramentas computacionais na indústria da arquitetura, engenharia e construção e na gestão da manutenção dos empreendimentos. (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012). Para Nawari (2012b), o IFC é atualmente considerado uma das estruturas de dados mais apropriadas para troca de informações e interoperabilidade na indústria da construção. Steel, Drogemuller e Toth (2012) afirmam, ainda, que modelos IFC são ricos em semântica, visto que não capturam somente a geometria tridimensional dos objetos, mas também dados relativos a outros aspectos da edificação.

De forma oposta à definição de *software* BIM, cujas bases estão relacionadas à interoperabilidade por meio da utilização de padrões abertos, a troca de dados, na prática, é dominada por soluções proprietárias. Isso significa que projetos de construção integrados são baseados em uma solução na qual os colaboradores utilizam *software* da mesma empresa, ou de empresas diferentes que sejam compatíveis entre si, sem o uso de um padrão aberto e não-proprietário. Apesar disso, a indústria da construção, de modo geral, iniciou a utilizar especificações em formato aberto de dados relativamente cedo no processo de adoção de BIM. Dessa forma, percebe-se que o IFC possui o potencial para suprir as necessidades de conexão entre os envolvidos nas diferentes fases de um projeto, mesmo em um cenário fragmentado como o observado na construção. (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012). Atualmente, o esquema IFC² é composto por 653 entidades distintas, que dizem respeito aos objetos em um modelo virtual da edificação (exemplo *IfcSpace*, *IfcWall* e *IfcFlowTerminal*), mas também compreendem informações referentes a relações entre elementos (exemplo *IfcTypeObject*), informações do projeto (exemplo *IfcBuildingStorey*), e propriedades customizáveis (exemplo *IfcPropertySet*).

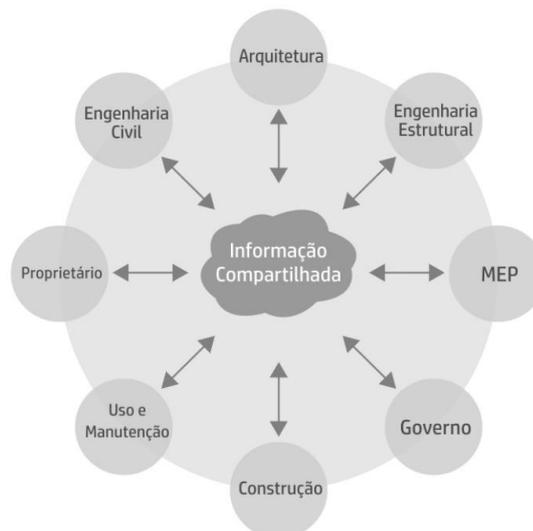
Steel, Drogemuller e Toth (2012) afirmam que o IFC é, sobretudo, um exemplo de interoperabilidade baseada em modelo, com uma ampla abrangência de informação de diferentes domínios. Apesar da ampla utilização para diversas finalidades em BIM, este formato não foi explicitamente desenvolvido para interação com ambientes de verificação automatizada, sendo que a sua especificação não é baseada numa teoria lógica (NAWARI, 2012b). Com a ampliação do escopo do IFC a um nível lógico, pode ser possível o desenvolvimento e a implementação de sistemas avançados de verificação automatizada de regras (NAWARI, 2012b).

² As informações referentes ao esquema e entidades IFC foram obtidas junto à BuildingSmart, a partir dos endereços eletrônicos <<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/>> e <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/alphabeticalorder_entities.htm>, com acesso em junho/2018.

O futuro da indústria continuará a seguir pelo curso de maior integração e interoperabilidade (HARDIN; MCCOOL, 2015), o que representa a importância do uso e desenvolvimento contínuo do IFC. Dessa forma, existe a necessidade de compreender o funcionamento dos processos quando inseridos neste contexto. Na Figura 5, é apresentado o fluxo de informações baseado em BIM integrado e de padrão aberto. É importante ressaltar que BIM integrado não diz respeito a um único modelo central, que funciona como um repositório de todas as informações, mas sim como uma forma de permitir que todos os envolvidos nos processos que dizem respeito à edificação compartilhem informações por meio destes padrões abertos (SMITH; TARDIFF, 2009).

Apesar do IFC ser considerado o padrão da indústria para troca de informações, Tan, Hammad e Fazio (2010) afirmam que os *IfcPropertySets*, definidos em *IfcXML*, poderiam ser utilizados para estender o modelo IFC com variáveis e atributos adicionais, mas se mostram limitados. Os mesmos autores sugerem que o *EBIM (Extended Building Information Model)* poderia facilitar a representação e simulação de um modelo de saída, em um contexto de verificação automatizada de regras/requisitos. Tan, Hammad e Fazio (2010) definem EBIM como sendo caracterizado em termos de: (i) objetos da edificação e de subsistemas das edificações; (ii) estruturação hierárquica e hereditária; e (iii) abstração de dados de simulação. Nesse sentido, o *EBIM* poderia ser utilizado como um formato padrão para representar as saídas de modelos de edificação, análise de desempenho e verificação automatizada de requisitos, de acordo com as regulamentações legais. Ainda, o *EBIM* pode ser representado em XML (*eXtensible Markup Language*) porque este formato é flexível, pode ser lido facilmente e é utilizado por várias aplicações computacionais e está rapidamente disponível.

Figura 5 – Interoperabilidade e fluxo de informações



(fonte: adaptado de Smith e Tardiff, 2009)

Um dos desafios enfrentados pela indústria AEC é a utilização de BIM não somente como uma ferramenta de suporte ao processo de projeto, mas como uma interface para a troca de informações entre os diferentes envolvidos nestes processos (STEEL; DROGEMULLER; TOTH, 2012). Dessa forma, conforme a utilização de BIM aumenta, a necessidade do desenvolvimento de linguagens específicas ao domínio, de alta capacidade de customização, também aumenta (LEE; EASTMAN; LEE, 2014). Tal demanda diz respeito à coordenação dos diferentes interesses na indústria AEC, dando suporte à interface que permita a troca de informação entre os envolvidos. Esse desafio diz respeito à aplicação de sistemas interoperáveis, capazes de lidar com modelos que possam ser modificados e utilizados pelos envolvidos a um nível semântico de informação (STEEL; DROGEMULLER; TOTH, 2012). Nesse sentido, a aplicação de semântica e ontologia possui um papel importante na simplificação do processo de projeto (NAWARI, 2009). Dessa forma, ontologia deve ser vista como uma forma para se compreender um objeto inserido em um domínio e as relações entre eles (NAWARI, 2009).

O principal desafio da interoperabilidade semântica está relacionado à qualidade e à consistência dos modelos produzidos (STEEL; DROGEMULLER; TOTH, 2012). Nesse sentido, a complexidade envolvida geralmente é causada pelos humanos, devido à forma como os documentos são escritos (várias iterações entre diferentes pessoas, por um longo período de tempo), além da complexidade inerente da própria natureza das regras (SOLIHIN; EASTMAN, 2016). Assim, um modelo mais simples e neutro que represente os dados de projetos de edificações de forma estruturada é necessário do ponto de vista do usuário. Isso se deve ao fato de que este modelo deve ser de fácil acesso, independente de plataforma ou estruturas internas complexas, promovendo alta fidelidade, sendo útil em problemas de domínios específicos, mantendo a simplicidade e neutralidade (LEE; EASTMAN; LEE, 2014).

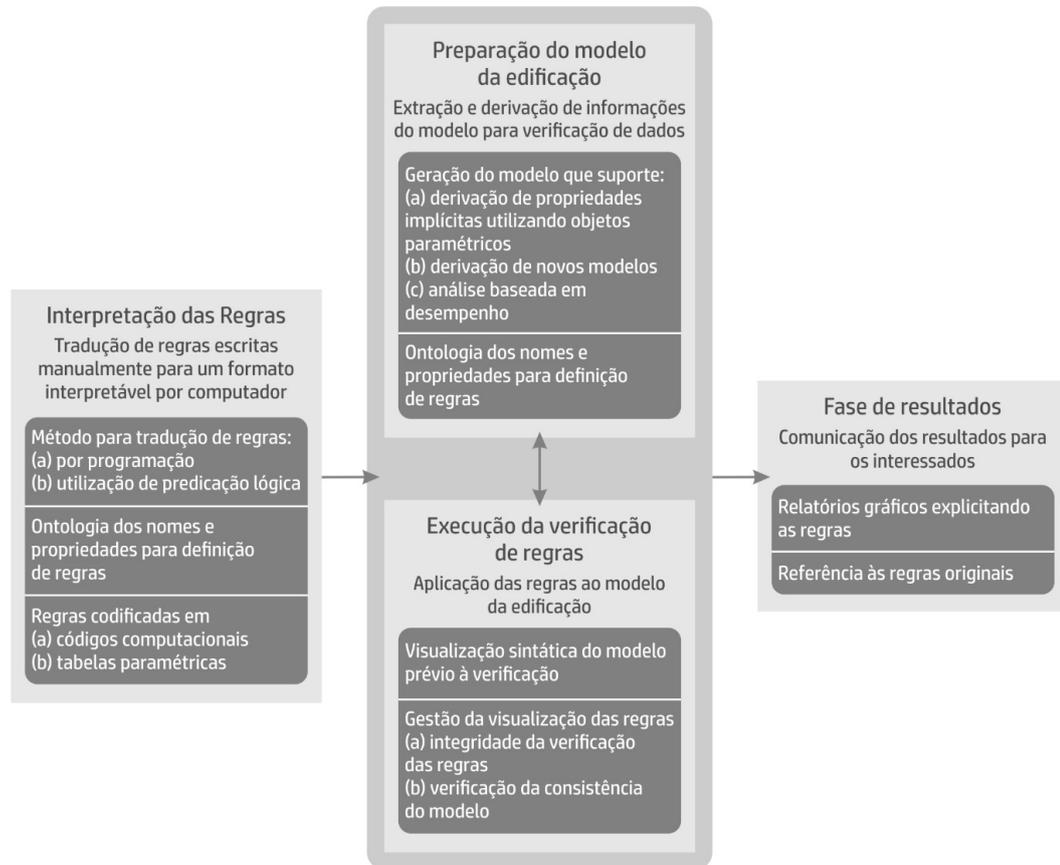
2.4 VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DE REQUISITOS REGULAMENTARES

Há diferentes definições para sistemas de verificação automatizada de requisitos: (i) trata-se de “um *software* que não modifica o projeto de uma edificação, mas ao invés disso, avalia o projeto com base na configuração de seus objetos, suas relações ou atributos” (EASTMAN et al., 2009); (ii) são sistemas que “tem como objetivo fornecer suporte computacional ao processo de verificação de projetos de edificações frente a códigos de construção e regulamentações aplicáveis de uma forma eficiente” (MACIT İLAL; GÜNAYDIN, 2017). Apesar da semelhança quanto às definições, existem diferenças importantes entre as mesmas, que evidenciam aspectos complementares em um sistema de

verificação automatizada. Eastman et al. (2009) consideram a verificação automatizada de requisitos como uma atividade baseada em *software*, enquanto Macit Ilal e Günaydin (2017) sugerem que esta atividade está relacionada à uma lógica baseada em sistemas, não necessariamente vinculada a *software*. Assim, a primeira definição é centrada em tecnologia, enquanto a segunda é orientada aos processos. O papel da verificação automatizada de requisitos diz respeito à validação de projetos de edificações frente à diversos critérios (EASTMAN et al., 2009).

Eastman et al. (2009) descrevem o processo de verificação automatizada de requisitos em quatro etapas fundamentais: (i) interpretação e estruturação das regras; (ii) preparação do modelo da edificação; (iii) execução da verificação; (iv) fase de resultados. Os referidos autores reconhecem a necessidade de convenções comuns entre as três primeiras fases, uma vez que existe a demanda por uma ontologia comum entre o modelo da edificação baseado em BIM e as regras codificadas. Ainda, com base na revisão desenvolvida, percebe-se que as fases individuais precisam ser individualmente consistentes, para fins de estabelecer estes sistemas de verificação a um nível operacional. Isso indica a demanda por um ponto de partida estável e bem definido para os sistemas de verificação automatizada, que diz respeito ao input de dados de códigos e regulamentações. Um esquema com as quatro classes fundamentais é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Classes fundamentais do processo de verificação automatizada



(fonte: adaptado de Eastman et al., 2009)

Dessa forma, o desenvolvimento de aplicações computacionais, destinadas à verificação automatizada de requisitos, necessita de uma série de premissas que devem ser consideradas ao longo do desenvolvimento de sistemas ou métodos de verificação automatizada. Tan, Hammad e Fazio (2010) apontam quais são as questões fundamentais que devem ser observadas neste processo: (i) qualquer verificação automatizada de um modelo de edificação deve ser capaz de referenciar a seção do código que está sendo violado, como um indicador de regra definida por código; (ii) um sistema de verificação automatizada deve identificar todas as instâncias de aplicação; (iii) códigos de edificações podem ser modificados, de acordo com a evolução das regulamentações; (iv) as regras de verificação devem ser capazes de se modificar conforme a região de aplicação sem modificar o algoritmo central; (v) regulamentações de projetos geralmente são sentenças lógicas complexas, e a programação convencional *if-then-else* pode não ser capazes de descrevê-las de forma eficiente; (vi) a comunicação ruim entre as equipes de edificação e os desenvolvedores de *software* pode resultar em aplicações de baixa qualidade e eficiência.

Os desafios envolvidos na verificação automatizada de requisitos regulamentares dizem respeito às fontes de informação que servem como *input* para a modelagem de regras, que geralmente estão abertas à interpretação, incerteza e até mesmo informações impossíveis de modelar (MACIT İLAL; GÜNAYDIN, 2017). Dessa forma, os referidos autores afirmam que o processo de identificar a natureza das regulamentações e as hierarquias de informações associadas são atividades prioritárias no desenvolvimento de modelos para verificação automatizada de requisitos regulamentares. De forma análoga, Nawari (2012b) afirma que as plataformas para comparação de códigos de construção e regulamentações às informações inseridas em modelos variam em: (i) capacidade de automatizar processos de verificação, (ii) flexibilidade de modelagem da informação e de codificação de regras, (iii) produção de relatórios de fácil compreensão; (iv) visualização 3D; e (v) habilidade de integração com outras aplicações.

Os conjuntos de regras parametrizadas e as informações da edificação devem estar separados no desenvolvimento de aplicações, uma vez que essa separação permite que os dados sejam processados em domínios diferentes, ou seja, os modelos de edificações são desenvolvidos com o uso de ferramentas específicas para modelagem da informação, e as regulamentações e regras são criados e verificados em plataformas próprias para esta finalidade (TAN; HAMMAD; FAZIO, 2010). Nesse sentido, Nawari (2012b) indica que é necessário desenvolver modelos BIM adequados para a verificação automatizada de requisitos, uma vez que as necessidades de um modelo para este fim são mais específicas do que para outros usos.

Nawari (2012b) afirma que quando uma condição de elevada subjetividade (menos quantitativa) é verificada automaticamente, por meio de um algoritmo, a aceitação ocorre de uma forma mais fácil do que quando ela é verificada por humanos. Isso se deve ao fato de que rotinas de programação bem escritas possuem menor probabilidade para propagação de resultados incorretos. Por outro lado, o mesmo autor sugere que, devido à habilidade dos seres humanos em termos de dedução e flexibilidade de interpretação, estes possuem uma forma mais eficiente de comprovar resultados de elevada complexidade (geralmente de caráter mais qualitativo). Apesar do potencial demonstrado, existe uma série de desafios relacionados ao desenvolvimento deste tipo de plataforma. As dificuldades dizem respeito aos parâmetros de informação que podem ser analisados ou mensurados. Assim, existe um desafio crescente em fazer com que informações predominantemente qualitativas possam ser associadas aos parâmetros orientados ao objeto de um modelo BIM (SMITH; TARDIFF, 2009).

As ferramentas comerciais para verificação automatizada de requisitos nem sempre se mostram adequadas às necessidades distintas dos usuários e dos requisitos envolvidos (EASTMAN et al., 2009;

LEE et al., 2016). Essa situação reflete o uso deste tipo de abordagem na prática, tornando o processo de verificação automatizada de regras mais uma atividade centrada em *software* do que um processo independente (LEE et al., 2016).

Tan, Hammad e Fazio (2010) definem *EBC (Extended Building Code)* como sendo uma versão eletrônica dos códigos e regulamentações agrupados a tabelas de decisão³ em *XML*, que logicamente descrevem as sentenças das regulamentações. Nawari (2012b), por outro lado indica que o uso de *IFD (International Framework for Dictionaries)* permite a criação de um catálogo das nomenclaturas dos objetos (vocabulário), aproximando conjuntos de dados distintos aos seus significados. De uma forma geral, *IFD* opera como um dicionário aberto, que pode ser vinculado a várias aplicações, melhorando a interoperabilidade e fornecendo uma base fundamental para a análise e verificação da informação em qualquer etapa do projeto.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elevada quantidade de informações em se tratando de requisitos e BIM justifica a importância da discussão sobre modelagem paramétrica. A utilização de parâmetros se mostra como uma das bases tecnológicas fundamentais, sendo apontada por Lee, Sacks e Eastman (2006) como uma forma eficiente para que o conhecimento tácito (de caráter mais subjetivo) seja inserido nos modelos. A modelagem paramétrica, em um contexto de verificação automatizada de requisitos está relacionada a dois pontos fundamentais: (i) desenvolvimento de objetos paramétricos e (ii) desenvolvimento de regras paramétricas. O correto desenvolvimento de modelos de edificações tem, ainda, como uma etapa fundamental a classificação dos elementos e das informações que os compõem. Assim, com base na literatura, o *IFC* surge como o padrão aberto de interoperabilidade mais difundido para troca de arquivos. Apesar disso, alguns autores (TAN; HAMMAD; FAZIO, 2010; NAWARI, 2012b) afirmam que existe uma lacuna, sugerindo que este formato necessita ser mais desenvolvido, ou sugerem a adoção de outro padrão, como descrito anteriormente.

Portanto, a verificação automatizada de requisitos está situada num contexto de inovação em BIM. O principal desafio apontado pela literatura expõe a dificuldade em traduzir as regulamentações e códigos de construção, escritos em linguagem orientada às pessoas, em uma linguagem orientada à computação. Nesse sentido, os argumentos lógicos tradicionais, utilizados para programação de

³ Uma tabela de decisão é uma lista dos critérios de decisão e é desenhada em formato de matriz, sendo um formato compacto para representar problemas lógicos complexos (TAN; HAMMAD; FAZIO, 2010).

algoritmos computacionais, podem se mostrar insuficientes em converter a informação implícita e de caráter predominantemente qualitativo dessas regras. Alguns dos trabalhos já desenvolvidos (TAN; HAMMAD; FAZIO, 2010; NAWARI, 2012b; SOLIHIN; EASTMAN, 2015, 2016) sugerem algumas abordagens inovadoras. As ideias desenvolvidas por estes autores servem como base fundamental nesta pesquisa.

De uma forma geral, percebe-se que o desenvolvimento de uma representação orientada à semântica, que incorpore a maioria dos códigos e das regulamentações, e a codificação do conhecimento são fatores fundamentais. Nesse sentido, o desenvolvimento ou evolução dos padrões abertos para troca de informações, capazes de lidar com um contexto de caráter mais qualitativo e subjetivo de forma estruturada, mostra-se imprescindível para o resultado adequado de um sistema de verificação automatizada. Por outro lado, alguns dos requisitos identificados, que se relacionam aos projetos dos espaços destinados à saúde, possuem, intrinsecamente, natureza de elevada subjetividade. Dessa forma, existe a necessidade de promover uma abordagem que considere o caráter qualitativo em situações nas quais isto é possível. Assim, ao mesmo tempo em que uma abordagem para requisitos mais quantitativos permite programação mais rápida, os requisitos predominantemente qualitativos (subjetivos) poderiam ser automatizados com menor dificuldade.

3 LINGUAGENS E ABORDAGENS PARA VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA

No presente capítulo são discutidos os conceitos relacionados às linguagens utilizadas para representar modelos de edificações e os desafios que dizem respeito ao processo de interpretação e à interoperabilidade semântica, bem como seus impactos na modelagem de sistemas de verificação automatizada de regras. São apresentadas algumas linguagens computacionais bem como novas abordagens para a criação e verificação automatizada de regras.

3.1 CONTEXTO

A partir do momento que a utilização de técnicas automatizadas em projetos de edificações se tornou uma perspectiva promissora e as trocas de dados se tornaram mais complexas, à medida que a tecnologia avançou (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012), ambos os contextos comerciais e de pesquisa iniciaram a desenvolver e estruturar sistemas de verificação automatizada para projetos. As iniciativas acadêmicas dizem respeito ao desenvolvimento de: (i) novas linguagens computacionais (LEE; EASTMAN; LEE, 2014; EL-GOHARY, 2015; PARK; PREIDEL; BORRMANN, 2015, 2016; SOLIHIN; EASTMAN, 2016; ZHANG; LEE; LEE, 2016); e (ii) novas abordagens para a criação e verificação de regras (NAWARI, 2009; YURCHYSHYNA; ZARLI, 2009; PAUWELS et al., 2011; BEACH et al., 2015; PAUWELS; ZHANG, 2015; DIMYADI; PAUWELS; AMOR, 2016; HJELSETH, 2016; JIANG; LEICHT, 2016; PAUWELS et al., 2017; PAUWELS; ZHANG; LEE, 2017). Entretanto, estes avanços parecem ser limitados em situações em que o contexto de aplicação é diferente daquele para o qual foram desenvolvidos. Alguns destes autores (YANG; ZHANG, 2006; PAUWELS et al., 2011; ZHONG et al., 2012; TORMA, 2013; BEACH et al., 2015; PAUWELS; ZHANG, 2015; PAUWELS et al., 2017; PAUWELS; ZHANG; LEE, 2017) explicitam ainda o papel da informação semântica como sendo uma abordagem fundamental para a verificação automatizada de requisitos.

3.2 INFORMAÇÃO EM CÓDIGOS E REGULAMENTAÇÕES

Os códigos da construção, de forma tradicional, são escritos, lidos, interpretados e aplicados por diferentes pessoas (EASTMAN et al., 2009; NAWARI, 2012b). Este processo, baseado em linguagem natural, inclui elevado número de expressões complexas, que geralmente resultam em ambiguidades, contradições e imprecisão quando se traduzem estas sentenças em linguagens executáveis em computador (EASTMAN et al., 2009; LEE et al., 2016). Esses códigos normalmente possuem um

objetivo natural de organizar, classificar, etiquetar e definir as regras, eventos e padrões para que o ambiente construído seja seguro, eficiente e econômico (NAWARI, 2012b).

Nesse sentido, os conjuntos de códigos e regras parametrizadas, escritos de acordo com uma linguagem executável em computador devem ser (MACIT İLAL; GÜNAYDIN, 2017): (i) compreensíveis suficientemente para lidar com as estruturas dos códigos e regulamentações; (ii) capazes de representar todos os tipos de informação; (iii) flexíveis para serem mantidos e controlados por diferentes usuários (por exemplo, não-programadores são capazes de adicionar ou modificar regras no sistema); (iv) vinculados aos códigos de edificações e demais conjuntos de regulamentações, para fins de consistência; (v) focados no aspecto geral dos conjuntos de regulamentações, ao invés de focar na representação individual de regras, criando meios para prevenção de contradições entre diferentes regras. Ainda, uma regra escrita em formato executável por computador deve ser capaz de codificar a lógica do requisito envolvido (MARCHANT, 2016), evidenciando as relações e condicionantes entre os elementos de uma sentença. Dessa forma, existe um importante conceito a ser considerado: sentença atômica (AS)⁴. A definição deste conceito é “uma sentença declarativa que é somente verdadeira ou falsa e não pode ser simplificada em outras sentenças menores” (LEE et al., 2016). Isso significa que sentenças atômicas são as unidades mínimas de verificação automatizada (PARK; LEE; LEE, 2016) e são compostas pela estrutura SVO (sujeito – verbo – objeto).

Apesar do reconhecimento dos aspectos as regras escritas de acordo com uma linguagem executável em computador devem apresentar, os esforços existentes em codificar regulamentações para formatos computacionais ainda requerem atividades manuais (ZHANG; EL-GOHARY, 2015). Isso se deve ao fato de que traduzir uma linguagem natural, escrita e lida por humanos, para um formato em computador requerer um “processo lógico e confiável de criação de regras” (LEE et al., 2016), que deve ser baseado na informação fundamental da sentença, ou seja, a parte fundamental das frases, o significado da sentença. Nesse sentido, Chen e Vernadat (2003) definem os “significados das terminologias” como semântica. De forma análoga, ZHANG; EL-GOHARY (2015) afirmam que a informação semântica “tem como objetivo capturar os significados de um domínio ou tópico específico [...] de forma estruturada”. Floridi (2005) complementa esta definição em formalizar o conceito de **informação semântica** como “conjunto de dados estruturados, confiáveis e com significado”. Portanto, com base nestas conceitualizações prévias, esforços relacionados ao desenvolvimento de regras baseadas em computador devem estar focados em dados processados, estruturados e dotados de significado, definidos como informação semântica.

⁴ A utilização e aplicação do conceito de sentença atômica torna-se fundamental ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Com a utilização de ferramentas BIM, a estrutura de dados de uma edificação é representada de forma explícita (LEE; EASTMAN; LEE, 2014). No entanto, os mesmos autores apontam que os usuários tendem a interpretá-la de forma implícita devido à natureza do processo de projeto. Devido a esta característica, tradicionalmente muito do processo de interpretação da informação não é explicitado ao longo do processo de desenvolvimento de produto. Assim, parte do conhecimento pode não se tornar disponível por meio de dados compartilhados. Por outro lado, a utilização de BIM pode auxiliar aos envolvidos em um projeto a desenvolverem conhecimento comum, justamente por meio de uma linguagem explícita que permita a troca de informações (LAAKSO; KIVINIEMI, 2012). Este fato evidencia a demanda pelo aumento da transparência para permitir que o uso de BIM e de linguagens adequadas possibilite a troca de informações no processo de projeto (PREIDEL; BORRMANN, 2016). Dessa forma, é necessário que novas capacidades sejam inseridas aos modelos em contextos de problemas de domínios específicos, ao mesmo tempo em que ocorre aumento do nível de abstração em elementos chave do modelo (LEE; EASTMAN; LEE, 2014).

As especificações dos requisitos para regras parametrizadas são frequentemente mais complexas do que parecem, devido ao processo direto de interpretação (SOLIHIN; EASTMAN, 2016). De acordo com os referidos autores, isso se deve ao fato de que o objetivo do estágio de interpretação não é somente entender o propósito da regra, mas também agregar, nas regras, o conhecimento dos especialistas envolvidos no processo. Assim, um sistema de verificação automatizada deve ser capaz de capturar sistematicamente este conhecimento e retê-lo ao longo dos processos de implementação, garantindo precisão adequada, minimizando a perda de conhecimento quando as informações passam pelos envolvidos no processo de verificação automatizada (SOLIHIN; EASTMAN, 2016). Contudo, nota-se que nas etapas de interpretação podem ocorrer interferências e quebras no fluxo de informação semântica devido à retenção humana de parte dos dados pelo especialista envolvidos. Essa informação armazenada pode não ser novamente explicitada, impedindo a manutenção dos dados ao longo deste processo. Por outro lado, a inserção de conhecimento na etapa de interpretação (SOLIHIN; EASTMAN, 2016) pode fazer com que, de forma não proposital, o significado das regulamentações seja alterado ao longo deste processo, de acordo com as ideias pré-concebidas dos envolvidos.

Existe um desafio adicional, que diz respeito ao gerenciamento de um elevado número de regulamentações, transformando-as em um formato passível de leitura por computadores (SOLIHIN; EASTMAN, 2016), o que é fundamental para o desenvolvimento da verificação automatizada. Essas regras traduzidas, em inúmeras situações, resultam em elementos lógicos de elevada complexidade. Nesse sentido, os componentes de sentenças complexas são segmentos de texto expressos por meio

de uma variedade de padrões estruturais de linguagem e são compostos de múltiplos conceitos e relações (ZHANG; EL-GOHARY, 2015). Os mesmos autores afirmam que esse tipo de componente possui maior probabilidade de resultar em uma estrutura de sentença mais complexa, porque incorpora e conecta mais conceitos e relações dentro da própria sentença

3.3 ABORDAGENS RELACIONADAS À VERIFICAÇÃO DE REGRAS

A partir do desenvolvimento de modelos BIM, surgem oportunidades de utilização de diferentes linguagens e abordagens para verificações correspondentes. As linguagens de programação geralmente possuem fronteiras que são ambíguas em termos de diferenciação (LEE; EASTMAN; LEE, 2014). Assim, os referidos autores afirmam que uma linguagem padrão pode possuir diferentes dialetos, para diferentes propósitos. No entanto, cada linguagem pode ser classificada de acordo com diferentes perspectivas, como cronologia, categorização, geração, paradigmas, usuário-alvo e padronização

Vários estudos discutem abordagens para a verificação automatizada de regras. Zhang e El-Gohary (2015) apresentaram o algoritmo de método de transformação da informação (ITr), baseado modelagem semântica e técnicas de processamento de linguagem natural (*Natural Language Processing* – NLP). Este trabalho transformou elementos de um conjunto de regulamentações em requisitos quantitativos por meio de elementos lógicos. Os mesmos autores, contudo, reconhecem a existência de variabilidade e inconsistências devido aos diversos aspectos entre os diferentes códigos e regulamentações. Apesar disso, esta abordagem de transformação da informação aparenta ser uma forma promissora de moldar a informação a necessidades específicas, como a observada em um contexto de verificação automatizada de requisitos.

Preidel e Borrmann (2015) e Preidel e Borrmann (2016) afirmam que muitas das abordagens para verificação automatizada de requisitos falham porque a informação é complexa demais para ser suficientemente representada pelas regras. Dessa forma, a pesquisa desenvolvida pelos referidos autores apresenta a Linguagem Visual para Verificação de Requisitos (*Visual Code Checking Language* – VCCL), uma linguagem de programação visual e baseada em fluxo de informação. Os mesmos autores enfatizam a necessidade de desenvolvimento de mais elementos capazes de representar estas informações da forma requerida pela VCCL, devido à variedade de códigos e das diferentes formas de representação da informação. Park, Lee e Lee (2016) definiram a *KBimCode*, uma linguagem de programação de domínio específico que tem como objetivo representar sentenças regulamentares do código de edificações da Coreia de uma forma padronizada, com uma sintaxe que

seja de fácil utilização. Esta abordagem, baseada na utilização do conceito de Sentença Atômica, fornece um método estruturado para explicitar os elementos fundamentais de uma sentença, ao longo dos processos de transformação da informação.

A pesquisa desenvolvida por Dimyadi, Pauwels e Amor (2016) promoveu uma revisão das diversas abordagens para modelar e verificar o conhecimento sobre regulamentações. Foi identificada a necessidade de um padrão aberto para representação de regulamentações, que poderia criar um ambiente favorável para acesso eficiente a informações referentes aos códigos e regulamentações. Pauwels et al. (2017) compararam três abordagens para verificação automatizada de regras baseadas em semântica. Este trabalho promoveu evidências de que os principais pontos relacionados a este contexto dizem respeito a indexação de algoritmos, técnicas para reescrever sentenças e estratégias para manuseio de regras. Beach et al. (2015) também exploraram a abordagem semântica para a verificação de regras. Os referidos autores identificaram que esta abordagem permite a especificação e atualização de regulamentações sem desenvolvimentos significativos de *software*. Então, foi exposta a necessidade de uma mudança de paradigmas na forma como as regulamentações são escritas, uma vez que a documentação lida por humanos deveria ser vista como uma saída (*output*) dos requisitos regulamentares, ao invés de funcionar como uma entrada (*input*) para a criação de regras automatizadas.

De acordo com a revisão bibliográfica, existem diferentes métodos e abordagens potencialmente relacionados a sistemas de verificação automatizada. Solihin e Eastman (2016) apontam que os métodos aparentemente mais adequados para este fim são aqueles baseados em conhecimento (*Knowledge Base* – KB), que, segundo os autores, é um dos ramos da inteligência artificial (*Artificial Intelligence* – AI). No entanto, os autores afirmam que, mesmo dentro de um mesmo escopo, existem diferentes abordagens a serem utilizados, como a lógica de primeira ordem (*First Order Logic* – FOL), lógica descritiva (*Descripton Logic* – DL) e diagramas conceituais (*Conceptual Graph* – CG). As principais incitativas são descritas em maior profundidade a seguir:

3.3.1.1 *Conceptual Graph* (CG)

A utilização de diagramas conceituais oferece uma base sólida que permite a descrição exata dos requisitos (SOLIHIN; EASTMAN, 2016). Nesse sentido, os autores apontam que a abordagem adotada é a da “caixa-branca” (em oposição ao termo “caixa-preta”), porque permite a captura dos requisitos e a derivação de dados e de relações no processo de verificação automatizada, promovendo aumento da transparência no processo. No entanto, essa abordagem é baseada na FOL, e, de acordo com Dimyad, Pauwels e Amor (2016) isso pode tornar o sistema indecifrável caso adaptado de forma incorreta.

As características da utilização de CG, segundo Solihin e Eastman (2016) são:

- a) uma ferramenta para capturar conhecimento das regras, com base nos requisitos para automatização de forma que facilitada para os usuários, uma vez que estes não são familiarizados com linguagens de programação;
- b) habilidade de capturar requisitos e suas relações e interações com os objetos de um modelo;
- c) mapeamento direto dos conceitos de CG em entidades IFC;
- d) habilidade de subdividir regras complexas em partições menores e mais simples, de forma sistematizada e padrão.

O uso de diagramas conceituais permite ainda, a construção de uma rede de informações semântica que expressa os significados de forma logicamente precisa, capaz de ser lida e utilizada por humanos e por computadores (NATIONAL OFFICE OF BUILDING TECHNOLOGY AND ADMINISTRATION, 2009).

3.3.1.2 *Building Environment Rule and Analysis Language (BERA)*

A linguagem BERA é baseada em domínio específico e lida com modelos de informação da construção de forma intuitiva, de modo a aumentar a qualidade do projeto e avaliar os requisitos de acordo com regras definidas pelos usuários (LEE; EASTMAN; LEE, 2014). Essa linguagem foi originalmente desenvolvida para avaliação do programa espacial e de circulação de uma edificação (PREIDEL; BORRMANN, 2016). Os mesmos autores afirmam que a BERA oferece um conjunto de operadores espaciais para a definição de regras, promovendo um importante ponto de partida para novas linguagens.

Assim, Dimyad, Pauwels e Amor (2016) afirmam que essa linguagem é exclusiva do domínio do ambiente construído e, devido a isso, existe uma limitação quanto a usabilidade e escalabilidade, mas promove adequada aplicação para este contexto específico. Diante disso, a linguagem não é extensível sem modificação na sintaxe (SOLIHIN; EASTMAN, 2016). Os mesmos autores afirmam, contudo, que a BERA desenvolve seu próprio ambiente de execução, o que limita a capacidade de lidar com estruturas de regras complexas.

3.3.1.3 *Natural Language Processing* (NLP)

NLP é um subcampo da inteligência artificial que tem como objetivo fazer com que a linguagem natural seja compreensível por computador, de modo que os textos ou falas possam ser processados de forma similar à humana (ZHANG; EL-GOHARY, 2015). Nesse sentido, os algoritmos desenvolvidos de forma a extrair e transformar a informação de forma automática (PARK; LEE; LEE, 2016).

Zhang e El-Gohary (2015) desenvolveram estudo baseado em NLP, de modo a facilitar a análise textual de documentos regulamentares e o consequente processamento e formalização desses requisitos de forma processável por computador. Os autores afirmam, contudo, que a utilização profunda de NLP ainda significa um desafio para a inteligência artificial, uma vez que ela requer uma representação elaborada para o conhecimento e significância.

3.3.1.4 Projeto *AutoCodes*

Um dos desenvolvimentos comuns mais relevantes na área da verificação automatizada de regras corresponde aos esforços desenvolvidos pelo grupo FIATECH, por meio da execução do projeto *AutoCodes* (FIATECH, 2012). Este projeto iniciou em 2011 (fase 1) com o objetivo de “validar o uso de tecnologia automatizada para a avaliação de projetos reais por meio da verificação automatizada de regras, promovendo a aceleração dos processos de aprovação de projetos” (FIATECH, 2012). O processo de transformação da revisão de códigos regulamentares iniciou durante a fase 1, por meio do uso de dados digitais e tecnologia da informação, com o objetivo de avançar de um processo manual e dependente de métodos baseados em papel, para um processo de revisão baseado em técnicas digitais (FIATECH, 2015). Ao longo desta etapa foram documentadas inconsistências em documentos e regulamentações. Um dos resultados da fase 1 diz respeito à confirmação de que a verificação manual de regras é um processo inconsistente, uma vez que ele depende de julgamento e interpretações humanas, que são ambíguos porque eles incorporam experiências prévias e entendimentos pessoais implícitos sobre as regulamentações (FIATECH, 2012; SOLIHIN; EASTMAN, 2015).

A fase 2 do projeto *AutoCodes* iniciou em 2013 e teve como objetivo definir padrões para o processo de verificação digital, por meio de: (i) produzir um protocolo de diretrizes para o desenvolvimento de modelos e arquivos baseados em BIM possíveis de serem verificados; (ii) definir diretrizes para o processo de revisão de projetos digital; (iii) expandir essa transição à aspectos relacionados à educação e ao treinamento para instituições governamentais (FIATECH, 2015). No final desta fase, o projeto *AutoCodes* demonstrou com sucesso a viabilidade da adoção de métodos de aprovação de

projetos automatizados, bem como promoveu um entendimento amplo dos processos de verificação de regras digitais.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão bibliográfica, é possível observar que muitas das pesquisas identificam que a diversidade de regulamentações e os processos de tradução da informação, bem como o fluxo desta informação ao longo da verificação de regras, representam desafios importantes no contexto da verificação automatizada de regras em projetos. Esta seção revisou os trabalhos relacionados ao contexto da verificação automatizada de regulamentações, considerando tanto pesquisas específicas, focadas no desenvolvimento de algoritmos ou linguagens computacionais, mas também abordagem mais genéricas, como o projeto *AutoCodes*, do grupo FIATECH. Parece ser evidente que muitos dos trabalhos desenvolvidos estão relacionados ao desenvolvimento de diferentes soluções, protótipos de sistemas ou métodos para as necessidades da verificação automatizada. Uma parcela relevante dos trabalhos analisados estabelece uma relação importante entre as funcionalidades de tecnologias semânticas e extração, interpretação e execução de regras. Entretanto, nenhum dos trabalhos explora o fluxo desta informação semântica ao longo dos processos de tradução da informação (que ocorrem na conversão de regulamentações em regras lógicas) para fins de verificação automatizada. Apesar disso, as pesquisas relatadas nesta seção fornecem conceptualizações e desenvolvimentos fundamentais para suportar este trabalho.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta o método de pesquisa utilizado para o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente é discutida a abordagem adotada no desenvolvimento da pesquisa. A seguir, é exposto o delineamento da pesquisa. Após é realizada a descrição das três etapas da pesquisa, em que foi desenvolvido um estudo empírico. Ao longo destas etapas, são expostos o contexto do hospital no qual foi realizado o estudo, bem como a caracterização do empreendimento específico em questão. São também definidos os processos de análise inicial dos requisitos, a escolha das ferramentas utilizadas, a escolha das regulamentações analisadas e a modelagem BIM 3D. Ao final, descreve-se o processo de verificação automatizada desenvolvido com o uso de uma solução de tecnologia da informação comercial. Ao final do capítulo, são discutidos os constructos definidos com o intuito de realizar uma avaliação preliminar do *framework*.

4.1 ABORDAGEM DE PESQUISA

Uma pesquisa científica pode enquadrar-se em três diferentes categorias de ciências, de acordo com Van Aken (2004): (i) a ciência formal, que possui como objetivo a construção de proposições para validar sua consistência lógica interna; (ii) a ciência explicativa, que procura descrever, explicar e prever fenômenos observáveis; (iii) a pesquisa construtiva – em inglês, *constructive research* ou *design science research*, cujo objetivo é a construção de um conhecimento para a criação de artefatos e consequente solução de classes de problemas de origem prática.

Neste trabalho, a abordagem de pesquisa adotada se enquadra como *Design Science Research (DSR)*, devido ao fato de propor um artefato que tem como objetivo solucionar um problema do mundo real, ao mesmo tempo em que busca o avanço do conhecimento teórico. O objetivo final deste conhecimento, de acordo com Voordijk (2009), é projetar ou desenvolver soluções para problemas complexos e relevantes no contexto específico de design, produção e operação do ambiente construído. Nesse sentido, Lukka (2003) define a pesquisa construtiva como um procedimento para produzir construções inovadoras, com o objetivo de solucionar problemas enfrentados no mundo real, e assim, contribuir para a teoria da disciplina no qual é aplicada. O mesmo autor aponta que esta abordagem permite reduzir a distância entre a prática e a pesquisa. Estas construções inovadoras podem ser modelos, diagramas, planos, estruturas organizacionais, produtos comerciais ou sistemas de informação (LUKKA, 2003). Para March e Smith (1995), as saídas, ou artefatos da *DSR* ainda podem ser: métodos, constructos e instanciações.

Holmström, Ketokivi e Hameri (2009) afirmam que a teoria e a prática podem ser vistas como formas distintas de conhecimento, mas que a lacuna existente entre as mesmas não se deve à transferência de conhecimento. Nesse sentido, Lukka (2003) afirma que a contribuição teórica pode dizer respeito ao desenvolvimento do próprio artefato, do ponto de vista que propõe novas soluções para atingir um objetivo determinado, ou da compreensão das relações envolvidas entre os conceitos aplicados na teorização do estudo. March e Smith (1995) afirmam, ainda, que os produtos resultantes dessa abordagem devem ser avaliados segundo os critérios de valor e utilidade. De acordo com os mesmos autores, a avaliação do artefato permite verificar sua funcionalidade e o progresso alcançado.

Para a determinação da estratégia de pesquisa, de acordo com Yin (1994), é fundamental, ainda, a consideração de diversos fatores, que dizem respeito à própria estrutura interna da pesquisa, como o tipo da pergunta, mas também ao contexto do fenômeno a ser estudado, sua relevância e contemporaneidade.

Com base no exposto, o problema identificado para esta pesquisa no mundo real aborda a possibilidade de prover aos usuários finais dos sistemas e empreendimentos da saúde ambientes de maior qualidade. Para isso, foi identificada a oportunidade de auxiliar a verificação automatizada de requisitos regulamentares, permitindo o aumento da eficiência e redução da parcela de atividades que não agregam valor às etapas de desenvolvimento de projetos em empreendimentos hospitalares.

O artefato principal desenvolvido é um *framework* para suporte à automatização da verificação de requisitos regulamentares em projetos hospitalares com o apoio de BIM, com o intuito de compreender, estruturar e sistematizar as atividades envolvidas com base na transformação de informação semântica. Este *framework* explora os requisitos regulamentares em três fases: (i) na sua origem, ou seja, na regulamentação ou normativa; (ii) quando ocorre a explicitação em projeto; e (iii) durante a etapa de codificação do requisito para fins de verificação automatizada. Assim, são exploradas relações entre estas fases por meio dos processos de transformação da informação envolvidos, além das taxonomias observadas em cada uma delas. O conceito de solução pode beneficiar tanto os projetistas envolvidos nos empreendimentos da saúde, quanto às organizações e instituições governamentais ou privadas que realizam a aprovação dos projetos e elaboram ou atualizam os códigos de edificações e conjuntos de regulamentações, bem como os desenvolvedores de *software* ou *plugins* para verificação. O *framework* irá fornecer suporte para a modelagem de requisitos regulamentares e para o desenvolvimento de sistemas (tanto para *software*, quanto para novos métodos) de verificação automatizada de requisitos regulamentares em projetos hospitalares.

4.2 DESCRIÇÃO DO HOSPITAL A

O objeto de estudo, localizado em Porto Alegre (RS), consiste de um hospital público universitário (Hospital A), que é uma das referências em termos de acesso à assistência pública à saúde no estado. De acordo com dados da instituição, foram realizados, no ano de 2016, mais de seiscentas mil consultas e três milhões de exames neste hospital. O mesmo também se destaca pelas atividades de ensino de graduação e de pós-graduação, bem como pelas pesquisas realizadas.

Ao longo do desenvolvimento do estudo, o complexo hospitalar passava por um grande processo de expansão, de aproximadamente 70% em área construída, e com custo de R\$ 408 milhões. Dentro deste processo, foram construídas duas novas edificações (denominadas Anexo 1 e Anexo 2), sendo a área construída de, respectivamente, 53.981 m² e 30.118 m².

A Edificação Anexo 1, denominada nesta pesquisa Edificação 1 (Figura 7), tem previsão de conclusão para o final de 2018. Tem nove pavimentos, dois subsolos, uma torre de circulação vertical que promove o acesso à edificação hospitalar existente, além de outras duas torres de circulação vertical interna, nas extremidades do prédio. Dentro do projeto de expansão deste complexo, este estudo teve seu escopo restrito ao setor da emergência. Este setor deverá ocupar todo o pavimento térreo de uma das edificações a serem construídas. O pavimento térreo tem uma área de aproximadamente 5.000 m², sendo dividida entre as unidades destinadas ao atendimento imediato de urgência e emergência adulto e pediátrico.

Este estudo surgiu a partir de uma oportunidade de parceria com um projeto de expansão do Hospital A. Esta parceria, inicialmente firmada com o setor da Emergência, evoluiu para um acordo entre o contratante da obra (Hospital A) e o grupo de pesquisa em questão. A seleção do setor da emergência como objeto de estudo se deve às seguintes razões: (i) foi estabelecida uma parceria direta entre o NORIE-UFRGS e o setor de engenharia do Hospital A; (ii) este setor apresenta uma série de peculiaridades, relacionadas aos fluxos que ocorrem nos espaços, bem como no que diz respeito à complexidade inerente ao projeto do novo espaço; (iii) interesse da administração do setor da emergência pela relação entre requisitos e BIM; e (iv) oportunidade de auxiliar a transição do setor atual da emergência para a nova edificação, com os resultados dos estudos que estão sendo desenvolvidos.

Figura 7 – Empreendimento do estudo empírico, a Edificação 1



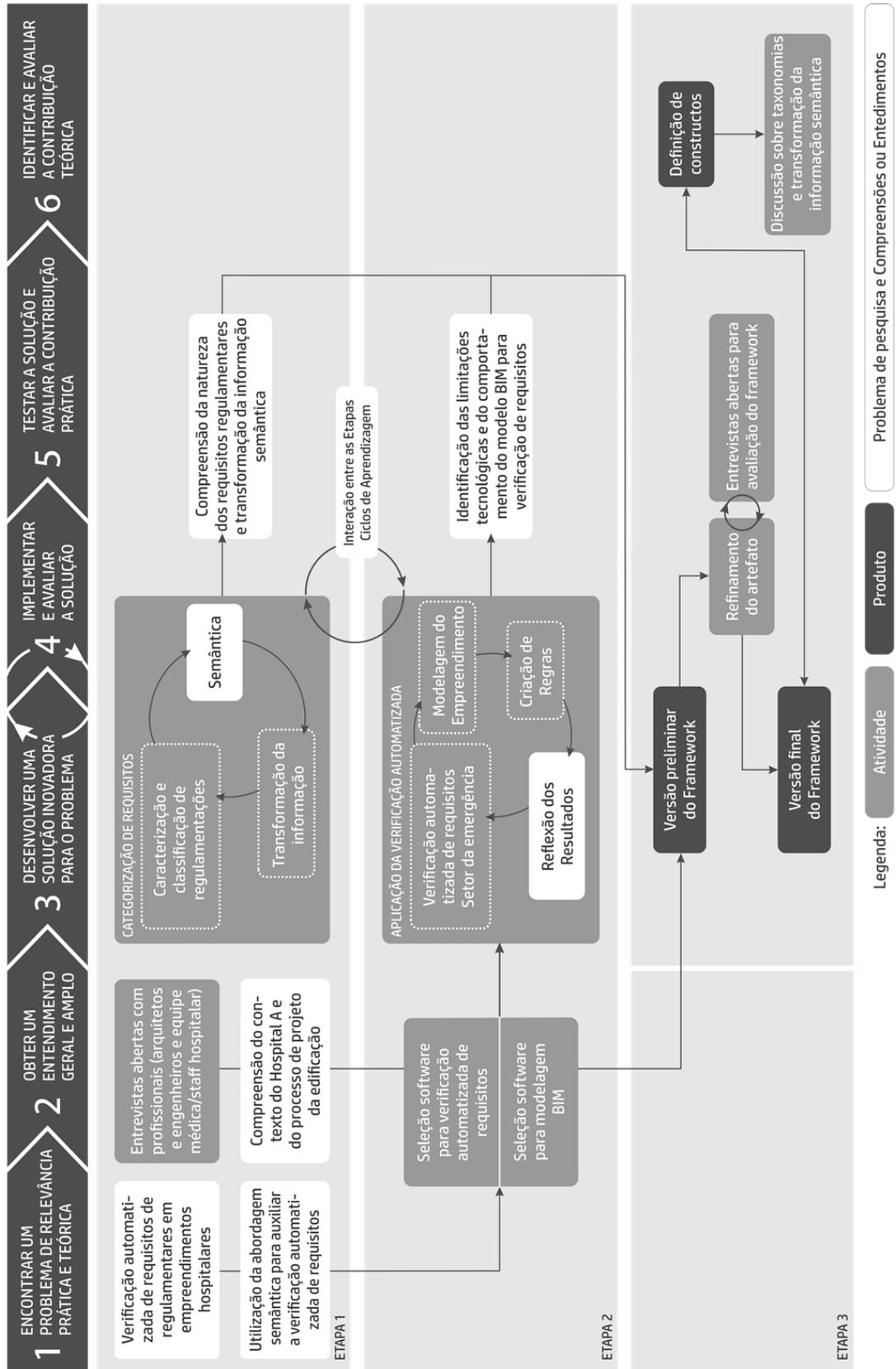
(fonte: arquivos do Hospital A)

4.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento da pesquisa está apresentado na Figura 8. A pesquisa foi dividida em três etapas sequenciais, ao longo das quais foi conduzido o estudo empírico no setor de emergência do Hospital A. Tais etapas foram desenvolvidas de acordo com a sequência de passos, baseada nos expostos por Kasanen, Lukka e Siitonen (1993) e Lukka (2003): (1) encontrar um problema de relevância prática e teórica; (2) obter um entendimento geral e amplo, estabelecendo conexão com as teorias relacionadas; (3) desenvolver uma solução inovadora para o problema; (4) e implementar e avaliar a solução; (5) testar a solução e avaliar a contribuição prática; e (6) identificar e avaliar as contribuições teóricas

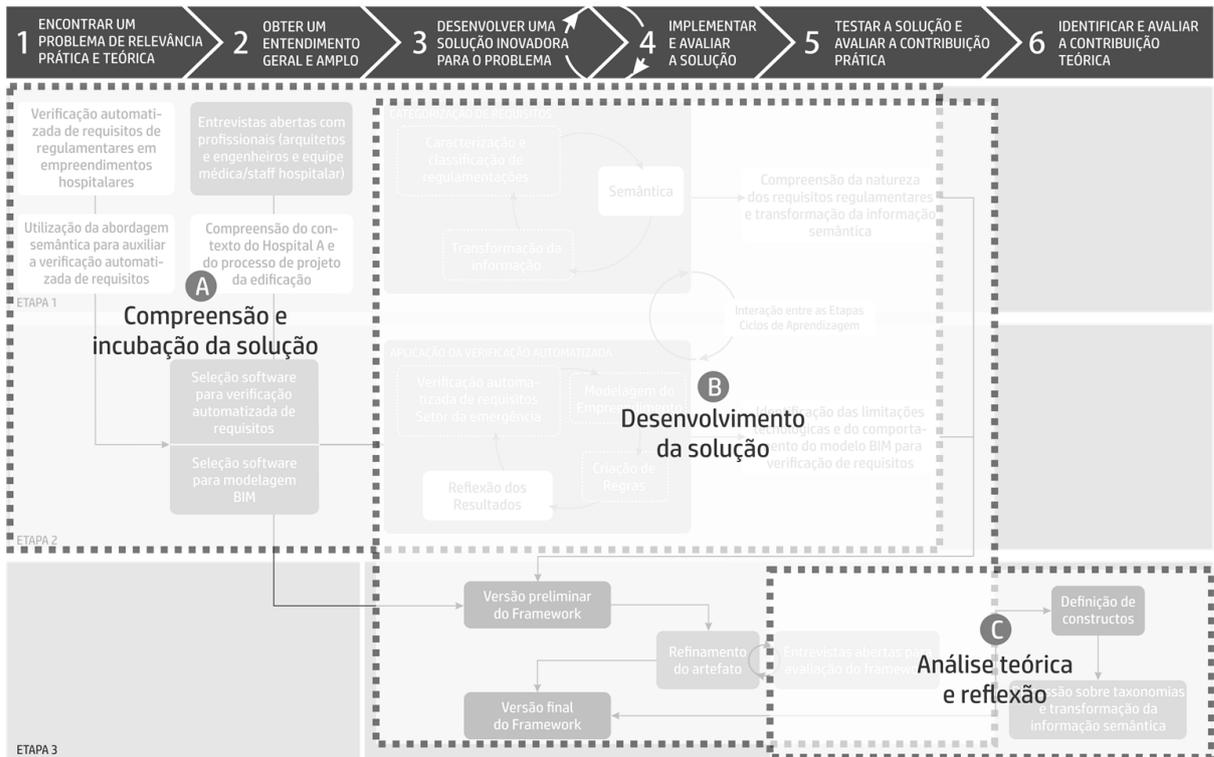
Cada uma destas etapas está, ainda, associada de forma diferente às fases definidas por Holmström, Ketokivi e Hameri (2009): (A) compreensão e incubação da solução; (B) desenvolvimento da solução; e (C) análise teórica e reflexão. Dessa forma, na Figura 9 é ilustrado como as etapas da pesquisa relacionam-se às fases descritas pelos referidos autores. Na sequência, são descritos os delineamentos de cada uma das etapas da pesquisa, seus objetivos e produtos. Na seção 4.4 será apresentada a descrição detalhada da coleta de dados e as fontes de evidência para cada uma das referidas etapas da pesquisa.

Figura 8 – Delineamento da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 9 – As fases propostas por Holmström, Ketokivi e Hameri (2009) aplicadas ao delineamento



(fonte: elaborado pelo autor)

4.3.1 Etapa 1

A primeira etapa da pesquisa foi desenvolvida de dezembro de 2016 a dezembro de 2017. Como é ilustrado na Figura 9 (A e B), nesta etapa iniciaram a compreensão (A) e o desenvolvimento (B) da solução descritos por Holmström, Ketokivi e Hameri (2009). Os principais objetivos desta etapa foram: (i) entender o contexto do Hospital A; (ii) compreender o processo de projeto e de aprovação regulamentar da edificação onde foi realizado o estudo empírico; e (iii) compreender como ocorre a conversão de requisitos tradicionais de projeto de empreendimentos hospitalares (oriundos de regulamentações) em regras lógicas parametrizadas.

Para atingir os dois primeiros objetivos, foi conduzida uma série de entrevistas e observações diretas de uma unidade de emergência existente, que permitiram compreender o escopo e determinação do contexto geral da pesquisa, em quais documentos os projetistas do Hospital A buscavam informações de caráter regulamentar para apoiar à tomada de decisão nas etapas de projeto e de compatibilizações, além de obter exemplos de situações nas quais o processo de aprovação pode impactar diretamente as etapas de produção e operação da edificação hospitalar.

Conforme sugerido por Solihin e Eastman (2016), um dos pontos fundamentais na implementação de um processo de verificação automatizada é a análise dos requisitos relacionados. No entanto, existe um grande número de normativas, legislações e conjuntos de regulamentações associados a projetos hospitalares, tais como a Cartilha de Acessibilidade Arquitetônica e Urbanística de Porto Alegre (MINISTÉRIO PÚBLICO ESTADUAL; CONSELHO ESTADUAL DOS DIREITOS DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA, 2010), Código de Edificações do Município de Porto Alegre (MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE, 2001), Decreto N° 23.430 - Promoção, Proteção e Recuperação da Saúde Pública (ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 1974), ABNT NBR 9050:2015 Acessibilidade a Edificações, Mobiliário, Espaços e Equipamentos Urbanos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), NR 32 Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2011), Portaria N° 2048 Serviços de Urgência e Emergência (BRASIL, 2002) e Resolução RDC n° 50/2002 (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2002).

Dessa forma, para atingir o terceiro objetivo desta etapa, dois conjuntos de regulamentações foram escolhidos para serem analisados: (i) a Resolução RDC n° 50/2002 (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2002); e (ii) o Código de Edificações do Município de Porto Alegre (MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE, 2001). Esta escolha deu-se com base nas entrevistas realizadas inicialmente, uma vez que a partir delas foi possível definir as regulamentações mais pertinentes ao empreendimento estudado. Com base na análise e classificação de dois conjuntos de regulamentações identificadas nesta pesquisa, os requisitos foram categorizados de acordo com as suas características, pertinentes ao contexto de verificação automatizada. A seguir, a escolha de cada um destes conjuntos de regulamentações é justificada.

A Resolução RDC n° 50 é um importante documento em se tratando de projetos de estabelecimentos da saúde. Esta resolução diz respeito ao regulamento técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. Dessa forma, a Resolução RDC n° 50 constitui um meio legal para a determinação dos aspectos fundamentais relacionados aos projetos desses espaços. Isso se deve ao fato de que todos os estabelecimentos assistenciais de saúde devem, obrigatoriamente, ser elaborados em conformidade com as disposições desta norma, em concordâncias às demais regulamentações locais, estaduais e federais.

O Código de Obras do Município de Porto Alegre constitui uma legislação municipal que estabelece as condições para qualquer edificação a ser construída nos limites deste município. Dessa forma, o cumprimento das regulamentações contidas neste documento é compulsório para o empreendimento

do Hospital A. Apesar de este não ser um conjunto de regulamentações diretamente associado a projetos hospitalares, a caracterização do mesmo oferece uma oportunidade de comparação à Resolução RDC nº 50.

Esta etapa do estudo teve seu escopo limitado à categorização de requisitos regulamentares e à análise da informação semântica das regulamentações, não sendo necessária, neste momento, a aplicação da verificação automatizada de requisitos do empreendimento estudado. Além disso, foi desenvolvida uma revisão bibliográfica inicial, com o intuito de estabelecer o referencial teórico básico da pesquisa. Como contribuição desta etapa, foi possível compreender a natureza dos requisitos capturados a partir destas regulamentações e como ocorre a transformação da informação no processo de tradução de regulamentações em regras lógicas parametrizadas.

4.3.2 Etapa 2

A segunda etapa da pesquisa foi desenvolvida de agosto de 2017 a dezembro de 2017 e consistiu no desenvolvimento e aplicação da verificação de requisitos de forma automatizada, utilizando um *software* comercialmente disponível. De acordo com o que é ilustrado na Figura 9 (A e B), esta etapa compreendeu a parte final da compreensão e incubação da solução (A) e a parcela principal do desenvolvimento solução (B), descritos por Holmström, Ketokivi e Hameri (2009).

O objetivo desta etapa foi aplicar a verificação automatizada utilizando um *software* comercial. Para isso, foi desenvolvido um modelo virtual da edificação em BIM 3D, com suporte do *software* Autodesk Revit® e realizada a modelagem de conjunto de regras em *software* de verificação. A ferramenta para a verificação automatizada escolhida (Solibri Model Checker®) foi utilizada de forma a explorar o funcionamento de regras lógicas parametrizadas aplicadas a uma ou mais condições em um modelo BIM 3D.

Esta etapa permitiu desenvolver uma análise quanto à eficácia desta solução comercialmente disponível frente às demandas das regulamentações avaliadas. Isso possibilitou identificar limitações da tecnologia disponível, e de que forma uma abordagem baseada em semântica pode auxiliar na transformação da informação para fins de verificação destes requisitos. Além disso, entre as etapas 1 e 2, que ocorreram simultaneamente em determinado período, aconteceram vários ciclos de aprendizagem, no que diz respeito às interações entre a compreensão da tradução das regulamentações em regras, a definição de taxonomias e os impactos destas atividades no modelo BIM.

Nesta etapa da pesquisa emergiu uma versão preliminar do *framework*, como um resultado das entrevistas e observações realizadas ao longo do desenvolvimento do estudo empírico, bem como de *insights* decorridos a partir da categorização das regulamentações e verificações realizadas.

4.3.3 Etapa 3

A terceira etapa da pesquisa foi desenvolvida de dezembro de 2017 a abril de 2018. Ela teve como objetivo analisar os dados coletados, buscando-se o refinamento do artefato. Dessa forma, ela compreendeu a análise teórica e reflexão (C), conforme descrito por Holmström, Ketokivi e Hameri (2009) e apresentado na Figura 9 (C). Com base nisso, foram geradas as principais contribuições para a versão final do *framework*, bem como as contribuições teóricas associadas.

Como a abordagem adotada para esta pesquisa foi a *Design Science Research*, foi necessário avaliar o artefato proposto. Esta avaliação foi conduzida de acordo com: (i) percepção do pesquisador ao longo da condução do estudo empírico; (ii) testes realizados no *software* de verificação automatizada; e (iii) por meio de entrevistas desenvolvidas no Reino Unido, com especialistas no assunto, como professores, alunos de doutorado em arquitetura e ambiente construído e representantes de *software*.

4.4 DESCRIÇÃO DETALHADA DAS ATIVIDADES REALIZADAS

A seguir são descritas as atividades realizadas na pesquisa ao longo do desenvolvimento do estudo empírico, de acordo com as etapas da pesquisa.

4.4.1 ETAPA 1

A Figura 10 contém a relação de fontes de evidência que serviram para a compreensão do problema de pesquisa e do contexto específico do desenvolvimento do projeto no Hospital A. A partir das entrevistas abertas realizadas com o corpo clínico e com o *staff* hospitalar⁵, bem como das observações diretas, foi possível desenvolver um diagnóstico inicial para a compreensão do contexto do setor e do Hospital A. A caracterização e classificação das regulamentações⁶ foi realizada com base na obtenção e posterior análise dos documentos e conjuntos de normas relacionados, em planilhas no *software* Microsoft Excel®.

⁵ O corpo clínico corresponde às equipes de médicos e enfermeiros do Hospital A. O *staff* hospitalar corresponde aos demais funcionários.

⁶ O auxiliar de pesquisa que auxiliou no desenvolvimento desta atividade foi Vitor Franzoi Fonseca.

Figura 10 – Fontes de evidência: fase de compreensão

Número / Data	Fonte de Evidência	Duração aproximada	Perfil dos Participantes	Compreensão	
				Problema de Pesquisa	Contexto Específico
01 05/12/2016	Entrevista Aberta; Observação Direta	45 min	Chefe do Serviço Administrativo – Emergência atual		X
02 05/12/2016	Entrevista Aberta	1h 30min	Chefe Médico do Serviço de Emergência – Emergência atual		X
03 24/05/2017	Entrevista Aberta	45 min	Engenheiro Responsável pela Obra	X	X
04 24/05/2017	Entrevista Aberta	2h 15min	Arquiteta responsável pela Coordenação de Projetos	X	X
05 06/07/2017	Entrevista Aberta	2h 10min	Arquiteta responsável pelo Projeto Executivo	X	X
06 12/07/2017	Observação Direta; Entrevista Aberta	1h 15min	Engenheiro Responsável pela fiscalização de Complementares		X
07 27/07/2017	Entrevista Aberta	1h	Engenheiro Responsável pela Obra	X	X
08 18/08/2017	Entrevista Aberta; Observação Direta	50 min	Engenheiro Responsável pela fiscalização de Complementares	X	X
09 03/10/2017	Entrevista Aberta	70 min	Arquiteta responsável pela aprovação do projeto junto à instituição regulamentadora		X
10 20/12/2017	Entrevista Aberta	40 min	Arquiteto participante do desenvolvimento da Resolução RDC nº 50	X	X

(fonte: elaborado pelo autor)

4.4.2 ETAPA 2

4.4.2.1 Seleção de Ferramentas

O processo de identificação e escolha das ferramentas e *software* utilizados ao longo desta etapa do estudo mostrou-se uma atividade importante, pois está associada à aplicação prática dos conceitos envolvidos na pesquisa. A seguir são descritos os processos de seleção de modelagem BIM 3D e de ferramenta para aplicação da verificação automatizada.

Seleção de ferramentas para modelagem BIM 3D

O modelo BIM 3D da edificação 1 (Figura 11 e Figura 12) foi desenvolvido no *software* Autodesk Revit®, com base no projeto arquitetônico criado no *software* AutoCAD®, disponibilizado pela Equipe de Engenharia do Hospital A.

A seleção do *software* Autodesk Revit® para a etapa de modelagem do empreendimento se deu devido aos seguintes critérios: (i) disponibilidade para uso do *software* de forma acadêmica e educacional; (ii) experiência do pesquisador e do auxiliar de pesquisa⁷ no uso da ferramenta; (iii) execução de um modelo inicial da mesma edificação⁸ (Figura 11), a um nível de desenvolvimento inferior (LOD 200 e 300⁹), para pesquisa anteriormente desenvolvida no NORIE-UFRGS, referente ao envelope da edificação e detalhamento básico do pavimento térreo.

O pavimento térreo da Edificação 1 foi separado do modelo inicialmente desenvolvido, sendo melhor detalhado, atualizado e verificado, para fins de aplicação prática do modelo BIM 3D no estudo empírico. O modelo do térreo da Edificação 1 foi executado de acordo com o LOD 350 (Figura 12).

Uma seção deste pavimento, correspondente a uma área de 140m², localizada em uma intersecção entre dois corredores na área de diagnóstico e terapia do setor da Emergência, foi modelada com maior LOD (350-400). Esta seção corresponde à área de maior concentração de instalações de diferentes disciplinas do pavimento térreo. Nesta seção, foram modeladas as seguintes disciplinas: (i) arquitetura (ARQ); (ii) estrutura (STR); (iii) elétrica (ELE); (iv) hidráulica (HID); (v) ar condicionado (AC); e (vi) gases medicinais (GM). A modelagem desta seção contribuiu para a verificação de alguns dos

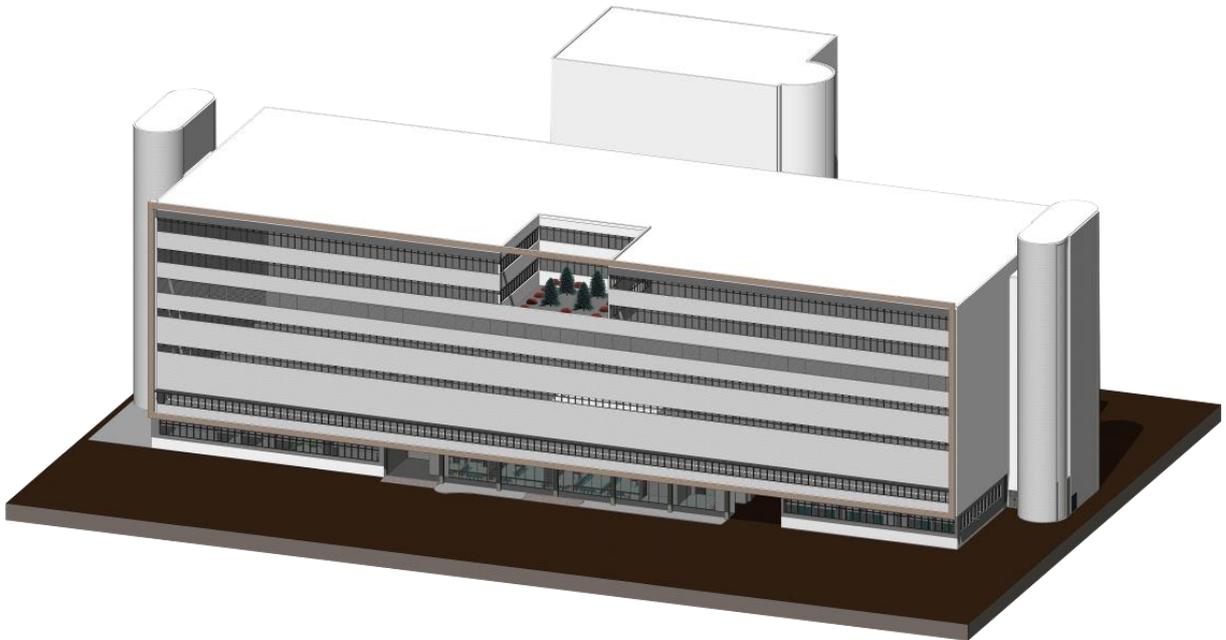
⁷ O auxiliar de pesquisa que participou deste estudo foi Vitor Franzoi Fonseca.

⁸ Este modelo foi desenvolvido pela auxiliar de pesquisa Natália Ransolin, em etapa anterior ao desenvolvimento deste estudo.

⁹ O LOD foi especificado como 200 e 300, pois diferentes partes do modelo foram concebidas de acordo com diferentes níveis de desenvolvimento.

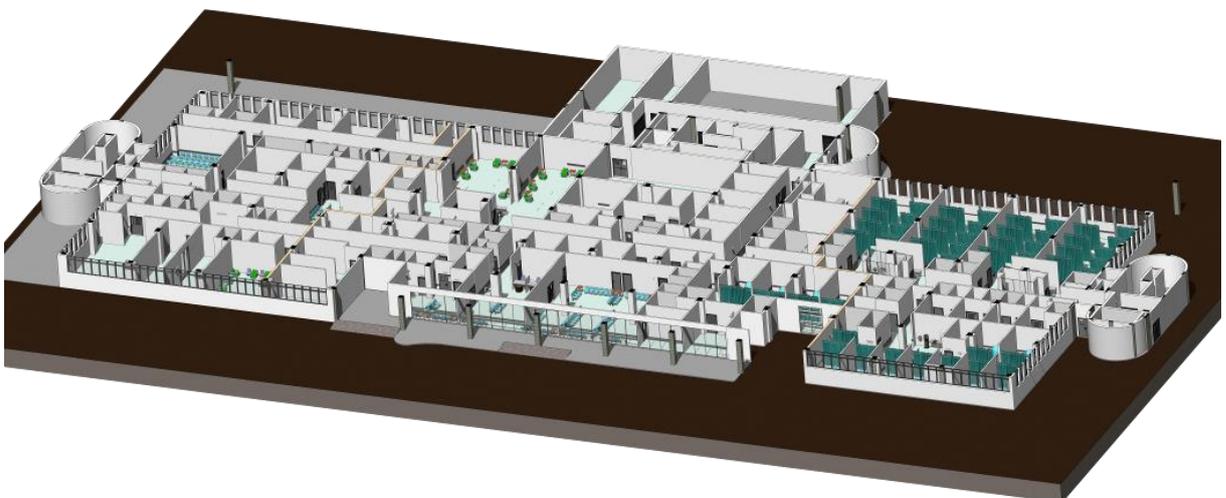
requisitos associados às instalações específicas. Na Figura 13 apresenta-se esta seção, bem como todos os projetos modelados.

Figura 11 – Edificação 1 do Hospital A



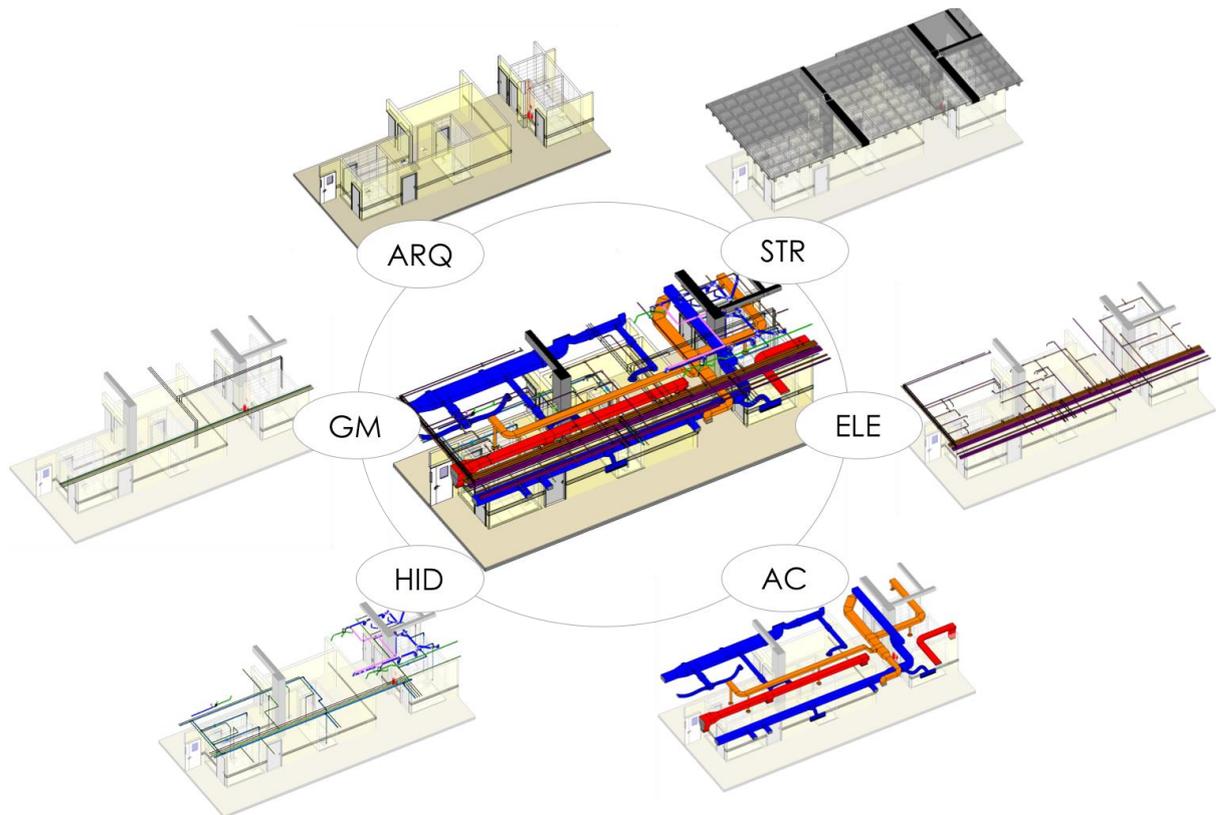
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 12 – Pavimento térreo da Edificação 1



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 13 – Seção da Emergência



(fonte: elaborado pelo autor)

Seleção de ferramentas para verificação automatizada

Nesta etapa também foi selecionado o *software* para apoio à verificação automatizada de requisitos. Foi selecionado o pacote computacional Solibri Model Checker® v9.6¹⁰. A escolha se deu devido aos seguintes critérios: (i) experiência prévia do pesquisador com o *software*; (ii) aquisição prévia do *software* pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFRGS com finalidade acadêmica; e (iii) reconhecimento da importância deste *software* no cenário da verificação automatizada por diversos autores (SACKS et al., 2010; TORMA, 2013; LEE; EASTMAN; LEE, 2015; MERSCHBROCK; MUNKVOLD, 2015; MAINARDI NETO; SANTOS, 2015; PARSANEZHAD; TARANDI; LUND, 2016).

Para a utilização do *software* de verificação não houve treinamento específico do pesquisador envolvido, uma vez que o mesmo já havia adquirido experiência prévia durante a realização de um estudo em um empreendimento de habitação de interesse social.

¹⁰ A versão da ferramenta Solibri Model Checker® utilizada no estudo empírico foi a 9.6 (2015).

4.4.2.2 Aplicação da Verificação Automatizada

Com base na aplicação da verificação automatizada, foi possível realizar uma avaliação do processo de verificação com suporte do *software* Solibri Model Checker®, no que diz respeito ao escopo da pesquisa em andamento. Essa análise está relacionada à forma como a biblioteca de regras contidas no *software* foi capaz de se adaptar às necessidades das regulamentações de projeto de estabelecimentos hospitalares estudadas, sem perda de informação.

Para isso, foram selecionados 14 requisitos regulamentares da Resolução RDC nº 50, indicados na Figura 14. Este conjunto foi escolhido ao mesmo tempo em que era realizada, de forma paralela, a finalização da categorização dos requisitos desta resolução. Na mesma figura, podem ser observadas as regras que foram possíveis de serem inseridas e verificadas com suporte do *software*. Esta atividade foi conduzida para fins de aplicação do *software* em questão, e não para simular um processo completo de verificação e aprovação regulamentar. Portanto, não foram verificadas todas as regulamentações identificadas, de modo que a escolha do conjunto de regulamentações escolhido deveria ser capaz de representar diferentes tipologias de regras a serem verificadas.

A escolha das regulamentações a serem traduzidas em regras no *software* se deu a partir da possibilidade de verificar diferentes tipos de regras, a partir de diferentes requisitos regulamentares, no modelo da edificação. Essa escolha foi fundamentada na percepção de que a tipologia de verificação a partir do requisito regulamentar associado tende a ser repetitiva (por exemplo, verificar a presença ou ausência de determinado objeto em um espaço). Para fins de verificação automatizada, isso corresponde à reutilização da mesma estrutura de regra para verificar a conformidade dos requisitos regulamentares aos diferentes atributos especificados nos projetos.

Figura 14 – Requisitos regulamentares inseridos no Solibri® para verificação automatizada

Item	Informação do Requisito	Elemento IFC	Espaço no Modelo	Regra (Solibri)	Verificação
2.2.1; 2.2.3 - 2.2.6	Sala de emergência (politraumatismo, parada cardíaca, etc) deve ter no mínimo 12m ² por leito	<i>IfcSpace</i>	Sala de Emergência Adulto	SOL/230/1.1	OK
2.2.1; 2.2.3 à 2.2.7	Sala de emergência (politraumatismo, parada cardíaca, etc) deve ter pé direito mínimo de 2,7 m	<i>IfcSpace</i>	Sala de Emergência Adulto	SOL/230/1.1	OK
2.2.1; 2.2.3 à 2.2.8	Sala de emergência (politraumatismo, parada cardíaca, etc) deve ter distância de 1m entre leito e paredes	<i>IfcSpace</i> <i>IfcObject</i>	Sala de Emergência Adulto	SOL/222/3.1	OK
4.3	Corredores de circulação de pacientes: bate-macas/corrimãos em ao menos uma parede lateral	<i>IfcObject</i> (<i>Bate-macas</i>)	Corredor	SOL/225/1.1	?
4.3	Corredores de circulação de pacientes: bate-macas/corrimãos numa altura de 80cm a 92 cm do piso	<i>IfcObject</i> (<i>Bate-macas</i>)	Corredor	SOL/222/3.1	?
4.3	Corredores de circulação de paciente ambulantes ou em cadeiras de rodas devem possuir largura mínima de 2,00m quando corredor > 11m	<i>IfcSpace</i>	Corredor	SOL/209/1.2	?
4.3	Todas as portas utilizadas para a passagem de camas/macacões e de laboratórios devem ter dimensões mínimas de 1,10 (vão livre) x 2,10 m	<i>IfcDoor</i>	Espera Interna, Sala de Raio X, Sala de Ecocrafia, Sala Exame e Terapia de Ultra-Sonografia USG	SOL/208/3.0	OK
4.3	As portas das salas cirúrgicas, parto, quartos de isolamento e quartos ou enfermarias de pediatria devem possuir visores.	<i>IfcDoor</i>	Quarto Isolamento	SOL/230/1.1	?
CSCI - B.3.1	As unidades de internação devem dispor de escada com raio de abrangência não superior a 30,00 m.	<i>IfcStair</i>	Sala Coletiva de Observação B1/C1	SOL/161/3.1	?

(continua na página seguinte)

Figura 14 – Requisitos regulamentares inseridos no Solibri® para verificação automatizada (continuação)

2.1	Área externa para desembarque de ambulâncias deve ter no mínimo 21,00 m ² de área coberta	<i>IfcSpace</i>	Área Externa para Desembarque de Ambulâncias	SOL/230/1.1	OK
CIC - B.4.8	Consultórios e Salas de Exames de Emergência e Urgência: Deve(m) existir lavatório(s) exclusivo(s) para uso da equipe de assistência dentro dos próprios ambientes. Caso exista um sanitário ou banheiro dentro do consultório/sala, fica dispensada a existência de lavatório extra	<i>IfcSpace</i>	Consultórios, Consultórios Indiferenciados, Salas de Exames	SOL/230/1.1	?
IP - 4	Sala de Procedim. Invasivos da Emerg. deve ter O: 2 por leito; ON: 1 para cada 2 leitos se estiver disponível na unidade; ACM: 2 por leito	<i>IfcSpace</i> <i>IfcObject</i>	Sala de Procedimentos	SOL/230/1.1	OK
4.2.5.d	Sala de Exames de Ultra-sonografia (USG) deve ter água fria	<i>IfcFlow</i> <i>Terminal</i>	Sala Exame e Terapia Ultra Sonografia - USG	SOL/230/1.1	OK
4.2.5.d	Sala de Exames de Ultra-sonografia (USG) deve ter um ponto de Oxigênio para cada sala	<i>IfcObject</i>	Sala Exame e Terapia Ultra Sonografia - USG	SOL/230/1.1	OK

(fonte: elaborado pelo autor)

4.4.3 ETAPA 3

Além das percepções do pesquisador e dos testes realizados com a aplicação prática no Solibri®, foram realizadas entrevistas abertas e uma apresentação, com o intuito de avaliar o artefato (em suas diferentes versões), sendo as mesmas descritas na

Figura 15, de acordo com os escopos específicos de cada uma delas. No Brasil, foram realizadas duas atividades relacionadas à avaliação do artefato, uma entrevista com uma aluna de doutorado e uma pesquisadora, ambas inseridas no contexto do ambiente construído hospitalar, com experiência na modelagem de requisitos e BIM, e um seminário para apresentação e discussão do *framework* com um grupo de pesquisadores do NORIE-UFRGS. Estas avaliações foram desenvolvidas enquanto ainda não haviam sido definidos os critérios de avaliação.

As demais entrevistas ocorreram no Reino Unido, durante o período de três meses em que o autor permaneceu como aluno visitante na *University of Huddersfield*. Buscou-se realizar entrevistas fora do contexto no qual o artefato foi desenvolvido em função da necessidade de contar com especialistas em

BIM, gestão de requisitos e verificação automatizada de requisitos, com o objetivo de obter contribuições relacionadas à verificação automatizada em empreendimentos hospitalares, bem como aos conceitos envolvidos na construção do *framework*, tais como informação semântica, sentença atômica e ontologia comum. Todas estas avaliações foram realizadas após a definição dos critérios de avaliação do artefato. Uma importante limitação da avaliação do artefato foi a dificuldade de envolver a equipe de engenharia e arquitetura do hospital, responsável pela contratação do projeto e das obras, assim como pelo acompanhamento da obra, em função de dificuldades de agendamento.

Figura 15 – Entrevistas de Refinamento e Avaliação do Artefato

Número / Data	Fonte de Evidência	Duração	Perfil dos Participantes	Escopo Específico da Avaliação
01 19/10/2017	Entrevista Aberta (avaliação da 1ª versão)	65 min	Pesquisadora e aluna de Doutorado com experiência em ambiente construído hospitalar, BIM e gestão de requisitos (grupo de pesquisa Norie)	Avaliação geral do artefato e compreensão das conexões e adaptações de taxonomias, intervenção no layout
02 01/12/2017	Apresentação	80 min	Professora acadêmica, alunos de Mestrado e Doutorado em Engenharia Civil	Avaliações quanto à diagramação, às relações entre constructos e aos processos de transformação da informação
03 10/01/2018	Entrevista Aberta	45 min	Professor, acadêmico, elevada experiência relacionada à informação em modelos de edificações e IFC, forte presença e líder na <i>buildingSMART International</i>	Avaliação geral do artefato, ênfase nos processos de transformação da informação
04 12/01/2018	Entrevista Aberta	30 min	Professor, acadêmico, empreendedor, elevada experiência relacionada à aplicação de BIM, um dos autores de maior relevância no cenário mundial	Avaliação da solução prática e sugestões de novas abordagens
05 20/01/2018	Entrevista Aberta	40 min	Diretor de <i>software</i> para gerenciamento de propriedades IFC	Avaliação geral do artefato, ênfase no desenvolvimento tecnológico de acordo com a abordagem proposta
06 12/02/2018	Entrevista Aberta	45 min	Professor, acadêmico, elevada experiência em projetos hospitalares	Avaliação geral do artefato
07 13/02/2018	Entrevista Aberta	25 min	Aluno de Doutorado, experiência em colaboração nas etapas de projeto de edificações	Avaliação geral do artefato

(continua na página seguinte)

Figura 15 – Entrevistas de Refinamento e Avaliação do Artefato (continuação)

08 13/02/2018	Entrevista Aberta	30 min	Aluna de Doutorado, experiência em BIM e <i>Lean Construction</i>	Avaliação geral do artefato
09 13/02/2018	Entrevista Aberta	20 min	Professor, acadêmico, elevada experiência em <i>Lean Construction</i> e Teoria do Design, um dos autores de maior relevância no cenário mundial	Avaliação geral do artefato e da diagramação e layout
10 21/03/2018	Entrevista Aberta	55 min	Professor, acadêmico, elevada experiência em projetos hospitalares e BIM	Avaliação geral do artefato, conexões com processo de projeto
11 26/03/2018	Entrevista Aberta	55 min	Diretor de <i>software</i> amplamente reconhecido para verificação automatizada de requisitos	Avaliação geral do artefato, ênfase na aplicação da verificação e dados empíricos
12 28/03/2018	Entrevista Aberta	25 min	Professor, acadêmico, referência mundial no contexto de projetos que relacionam o ambiente construído e saúde.	Avaliação geral do artefato e do processo de categorização de requisitos regulamentares

(fonte: elaborado pelo autor)

O artefato gerado foi avaliado em função de dois constructos: utilidade e aplicabilidade. Para a definição dos critérios de avaliação, relacionados a cada constructo, foram priorizados os critérios definidos por March e Smith (1995) quando aplicados ao contexto da pesquisa.

Quanto à utilidade, foi considerada como principal contribuição a utilização do *framework* para a melhoria do processo de verificação de requisitos regulamentares em projetos hospitalares. Dessa forma, o constructo utilidade foi desdobrado em:

- a) **explicitação da informação tridimensional e semântica:** como a utilização do artefato proposto permite explicitar as informações envolvidas em um processo de verificação automatizada?
- b) **consistência ao longo do processo de modelagem e de verificação:** de que forma a aplicação do *framework* é capaz de tornar os processos de verificação menos variáveis e dependentes de julgamentos pessoais?

- c) **precisão da verificação automatizada, considerando tolerâncias:** como o artefato de pesquisa permite o desenvolvimento de verificações menos imprecisas e omissas?
- d) **abrangência da utilização do *framework* para requisitos de diferentes naturezas:** como o artefato de pesquisa se mostra versátil para a criação de novas regulamentações ou edição de regulamentações existentes, de diferentes tipos e origens?
- e) **rastreabilidade da informação ao longo do processo:** como a aplicação do artefato permite a transformação da informação semântica e a rastreabilidade de informações?

De forma similar, o constructo aplicabilidade diz respeito à facilidade em compreender os requisitos regulamentares, criar ou editar regras lógicas parametrizáveis e executar a verificação automatizada. Assim, este constructo foi desdobrado em:

- a) **facilidade de utilização do *framework* por diferentes usuários:** os usuários alvo do *framework* conseguirão utilizá-lo de forma adequada, para os diferentes interesses e objetivos de cada uma das partes?
- b) **tradução de informações regulamentares em regras lógicas:** como a aplicação do *framework* torna mais fácil a transformação destas informações?
- c) **transparência da informação no processo:** de que forma a aplicação do *framework* torna o processo de tradução de informação e verificação de requisitos mais transparente?

5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados da pesquisa. Inicialmente é descrito o contexto no qual se encontra o objeto do estudo empírico, o Setor de Emergência do Hospital A, em suas configurações atuais e futuras, no que diz respeito à compatibilização dos projetos e o processo de aprovação na ANVISA. Após, são discutidos os resultados da categorização de requisitos, tanto para a Resolução RDC nº 50, quanto para o Código de Edificações do Município de Porto Alegre. Em seguida, os resultados da aplicação da verificação automatizada de requisitos são apresentados, de acordo com uma visão geral da interface do *software*, conversão de requisitos regulamentares e criação de regras e a verificação propriamente dita. No final, apresenta-se uma discussão sobre a verificação automatizada e a transformação da informação, além de uma discussão geral sobre os resultados.

5.1 CONTEXTO DO SETOR DE EMERGÊNCIA ATUAL DO HOSPITAL A

O setor de emergência do Hospital A apresenta uma série de peculiaridades, em comparação a outros hospitais deste tipo. A partir das observações diretas no setor da emergência existente e das entrevistas realizadas com o corpo clínico e o *staff* hospitalar, constatou-se que este setor consiste em um modelo híbrido de operações, ou seja, opera de acordo com as suas atribuições assistenciais, mas, em função das atividades de ensino e pesquisa desenvolvidas no hospital, também funciona como um hospital completo de menor porte. Por exemplo, há consultórios para atendimentos médicos específicos, o que não é típico de unidades convencionais de um setor de emergência.

Esta premissa de separação dos espaços a partir de consultórios modifica e limita a configuração espacial da emergência atual. Dessa forma, os espaços destinados ao recebimento e acolhimento de pacientes em situações de urgência e de emergência podem não se encontrar em concordância com os decorrentes usos dos mesmos.

5.2 DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DO ESPAÇO FUTURO DA EMERGÊNCIA

O espaço projetado para o novo setor da emergência foi concebido de acordo com a mesma lógica da unidade de emergência atual, com base no modelo híbrido existente. De acordo com as entrevistas realizadas ao longo da fase de compreensão, o processo de tomada de decisão, relacionado às definições de uso dos espaços, envolveu uma série de *trade-offs* devido aos inúmeros intervenientes envolvidos. De acordo com os entrevistados, isso fez com que fosse difícil explicitar requisitos em um

contexto em que o modelo assistencial de prestação de serviços à saúde não se mostrou suficientemente claro, ou seja, quando um hospital opera de acordo com um modelo híbrido, como na situação analisada.

Este fato é evidenciado pelo projeto e as especificações do espaço futuro, que possuem algumas características de um projeto convencional de hospital completo. Por exemplo, em serviços de emergência destinados ao ensino, os atendimentos deveriam ser realizados preferencialmente em boxes e macas, para melhorar os fluxos e facilitar o transporte e a execução de procedimentos. Contudo, ainda se observa a existência de uma série de consultórios no espaço futuro da emergência. Além disso, o projeto do novo setor de emergência tem maior extensão que o atual, tendo a planta um formato retangular. Isto demanda uma série de esforços relacionados a alterações de processos e de fluxos de pacientes e de equipamentos.

Diante dos fatos expostos e das entrevistas realizadas, foi percebido que o *staff* hospitalar e o corpo clínico do Hospital A tiveram participação limitada nas definições de *layout* do projeto da nova instalação. O acesso aos projetos por estas equipes, e as consequentes participações nos mesmos, foram permitidos em uma etapa posterior às definições básicas. Dessa forma, não foi possível a participação destas equipes e a devida intervenção na quantificação e dimensionamento dos espaços, bem como em decisões mais específicas, relacionadas aos processos e fluxos observados no setor da Emergência.

Dessa forma, existiu a necessidade de uma série de alterações nos projetos e readequação dos espaços, após as respectivas conclusões dos projetos, muitas solicitadas ao longo da execução da obra. Estas constantes modificações de projeto da nova unidade da emergência dificultaram a condução do estudo uma vez que os projetos sofriam diversas alterações, muitas delas não repassadas à equipe de pesquisa. Além disso, estas modificações impactaram diretamente a finalização da fase de projetos e o andamento geral da obra. Tais dificuldades podem ser justificadas pelo fato de que a extensão do processo de projeto foi superior à permanência de alguns dos envolvidos nas suas respectivas funções no Hospital A, tornando ainda mais complexos os processos decisórios. De um modo geral, alguns cargos diretivos e gerenciais mudaram com mais frequência, se comparado à duração das etapas de desenvolvimento do empreendimento, gerando uma série de solicitações de modificação nos projetos tardiamente.

5.2.1 Compatibilização e modificações de projetos do Espaço Futuro

A compatibilização dos projetos conduzida para o projeto do Hospital A foi desenvolvida pelos profissionais da equipe de arquitetura, contratados pelo consórcio responsável pelo empreendimento. Estas atividades foram realizadas de forma manual, por meio da análise visual de incompatibilidades e verificações de inconsistências entre os projetos arquitetônico, estrutural e de sistemas prediais, com base na análise de plantas bidimensionais, principalmente de forro e de laje. As informações foram armazenadas em uma matriz em que eram apontados os locais específicos em que ocorriam as interferências. Esta matriz foi desenvolvida e utilizada pela equipe de compatibilização para identificação, armazenamento e comunicação das incompatibilidades aos envolvidos. Esse processo consumiu elevados períodos de tempo¹¹ e mostrou-se de difícil execução, uma vez que os projetos são extensos e de elevada complexidade.

O consórcio responsável pela execução da obra realizou uma análise crítica dos projetos, que consiste em uma verificação manual, com base em diferentes conjuntos de requisitos regulamentares. Esta análise crítica ocorreu antes da compatibilização de projetos das diversas disciplinas. Assim, houve a necessidade de um grande número de revisões após a contratação do consórcio de empresas construtoras, oriundas de uma necessidade de compatibilização de projetos ou para facilitar a execução da obra, causando retrabalhos e modificações formais nos projetos. Foram identificados quatro documentos estabelecidos entre o consórcio contratado pela execução da obra, os arquitetos e demais responsáveis pelos projetos e o cliente, representado por diversos intervenientes do corpo clínico e *staff* hospitalar. Estes documentos tiveram como objetivo formalizar e sistematizar a realização de modificações em projetos:

- a) **Guia de solicitação de informação (GSI):** está relacionada a um questionamento realizado pelas equipes de compatibilização de projetos após a análise crítica do mesmo. Essa solicitação é enviada aos projetistas, e tem como objetivo esclarecer dúvidas com estes profissionais;
- b) **Guia de solicitação de alteração de projeto (GSA):** a partir da análise crítica dos projetos, caso uma necessidade de alteração de projeto seja percebida pelas equipes envolvidas, a GSA é elaborada e avaliada pelas equipes do consórcio. Caso seja considerado procedente pela supervisão do consórcio, a solicitação é encaminhada aos responsáveis pelo projeto em questão. Quando essa solicitação parte de um

¹¹ Os entrevistados não foram capazes de mensurar o tempo despendido para tal atividade, mas enfatizaram que muito tempo foi consumido em atividades de difícil execução e baixa precisão e eficácia.

stakeholder, pertencente ao corpo clínico, *staff* hospitalar ou administração do Hospital A, ela é encaminhada para o setor de engenharia e arquitetura interno do hospital, sendo proposta uma solução de projeto que esteja de acordo com a legislação. Essa solução é enviada posteriormente aos responsáveis pela execução da obra, para que sejam avaliados os impactos dessa modificação. Somente após esse processo a guia pode ser encaminhada aos responsáveis pelo projeto, para fins de aprovação e alteração.

- c) **Guia de modificação de projeto (GMP):** está relacionada a uma modificação emergencial na obra, necessária aos projetos correspondentes, sem que ocorra a alteração de projeto. Este documento é avaliado e assinado pelos responsáveis e anexado aos projetos. As modificações realizadas no produto, a partir da GMP, devem ser representadas no projeto *as-built* da edificação;
- d) **Submittal:** diz respeito a uma modificação do memorial descritivo, devido a uma necessidade observada pela equipe ao compatibilizar projetos ou especificar a compra de componentes e sistemas construtivos.

5.2.2 Aprovação do projeto na ANVISA

O processo de aprovação do projeto pela ANVISA, em relação à Resolução RDC nº 50, teve uma longa duração, que se estendeu às etapas de produção, conforme informações obtidas com os entrevistados (equipe de projeto do consórcio, membros do *staff* de engenharia do Hospital A e arquitetos que participaram do projeto do espaço futuro da emergência), uma vez que a situação de não conformidade em relação aos critérios estabelecidos nas referidas regulamentações somente impede a operação da edificação e não a sua construção. Dessa forma, os projetos foram inicialmente submetidos a outras instituições regulamentares envolvidas, o que tornou a aprovação junto à ANVISA extensa e crítica. Ao longo das etapas finais do estudo, a edificação encontrava-se em estágios intermediários de acabamentos e instalações especiais. No entanto, o processo de aprovação regulamentar ainda não havia sido concluído.

De fato, muitas das modificações e adaptações de projeto e atividades de retrabalho descritas na seção anterior estavam associadas à existência de não conformidades do projeto a critérios estabelecidos na RDC nº 50. Este foi mais um dos fatores que justificam a elevada propensão ao retrabalho e às adaptações observadas no projeto, ao longo das etapas de construção.

5.3 CATEGORIZAÇÃO DE REQUISITOS REGULAMENTARES

Foram definidos quatro critérios de avaliação (classificações) para a atividade de categorização de requisitos regulamentares. Esta definição se deu com base nas percepções do pesquisador ao longo da condução do estudo empírico e da revisão bibliográfica. Ainda, a partir da análise individualizada das regulamentações¹², foi possível definir se cada uma delas possui informações que dão origem a um ou mais requisitos de projeto, ou seja, informações que dão origem à inserção de novos atributos ou à modificação de atributos existentes em um projeto. Estas classificações são definidas a seguir:

- a) Classificação quanto à natureza:** a partir da avaliação do conteúdo de cada um dos requisitos, foi possível caracteriza-los quanto à predominância de informações de origem qualitativa (quando o conteúdo traz consigo informações não-numéricas, muitas vezes de caráter mais subjetivo¹³, tais como presença ou ausência de determinado atributo), quantitativa (quando o conteúdo diz respeito a informações numéricas e objetivas¹⁴, tais como dimensões, áreas e quantidades) ou. Em algumas situações, não foi possível determinar a predominância de uma das naturezas. Nestes casos, os requisitos foram classificados como sendo de natureza ambígua¹⁵.
- b) Classificação quanto à possibilidade de tradução em regra lógica:** com base nas informações dos requisitos, foi possível determinar se existe a possibilidade de tradução em regra lógica potencialmente parametrizável. Esta análise é binária e teve como critérios de avaliação a possibilidade de transformar as informações contidas nos requisitos em uma possível sequência lógica programável, dotada de termos que expressam condição e termos que expressam conteúdo das sentenças. Também foi considerado o processo de modelagem da edificação, de modo que este permita a inserção de parâmetros e de informações a serem verificadas posteriormente. É importante destacar que esta classificação não foi feita com base em critérios de

¹² Entende-se por regulamentação a unidade individualizada de um item do documento, normativa, código ou conjunto de regulamentações em que se está desenvolvendo a análise. Não deve ser observada como sinônimo de requisito regulamentar, pois eventualmente é composta por informações que não se relacionam a atributos da edificação.

¹³ Natureza qualitativa nem sempre é mais subjetiva. Por exemplo, a definição de um tipo específico de revestimento é definido como sendo de natureza qualitativa, mas não é subjetivo. Ao contrário de requisitos de natureza quantitativa, em que todos são objetivos.

¹⁴ Requisitos de natureza quantitativa sempre apresentam um viés mais objetivo, se comparado aos requisitos de natureza quantitativa.

¹⁵ Por exemplo: Para a área coletiva de tratamento na UTI devem existir no mínimo 5 leitos, podendo ainda existir quartos ou áreas coletivas, ou ambos, a critério do Estabelecimento Assistencial de Saúde.

software comercialmente disponível, mas sob a premissa de que se existe a possibilidade de escrever as informações de um requisito regulamentar em formato lógico, é possível a tradução para regra lógica potencialmente parametrizável.

- c) **Objeto IFC relacionado à verificação do requisito no modelo da edificação:** estabelecer as relações entre a informação dos requisitos e onde estes dados devem ser verificados no modelo virtual da edificação. Ou seja, esta classificação buscou vincular os requisitos com os objetos do modelo da edificação associados, utilizando as denominações e taxonomias da formato de classificação de dados IFC.
- d) **Classes de Regras Paramétricas (SOLIHIN; EASTMAN, 2015):** os requisitos possíveis de serem traduzidos em regras lógicas parametrizadas foram classificados de acordo com a definição de classes de regras paramétricas estabelecidas por Solihin e Eastman (2015). Esta definição estabelece 4 classes (1-4), em que, de modo simplificado, requisitos pertencentes à classe 1 representam os casos de regras parametrizadas de baixa complexidade lógica, enquanto requisitos pertencentes à classe 4 dizem respeito aos casos em que a lógica de verificação é a de maior complexidade.

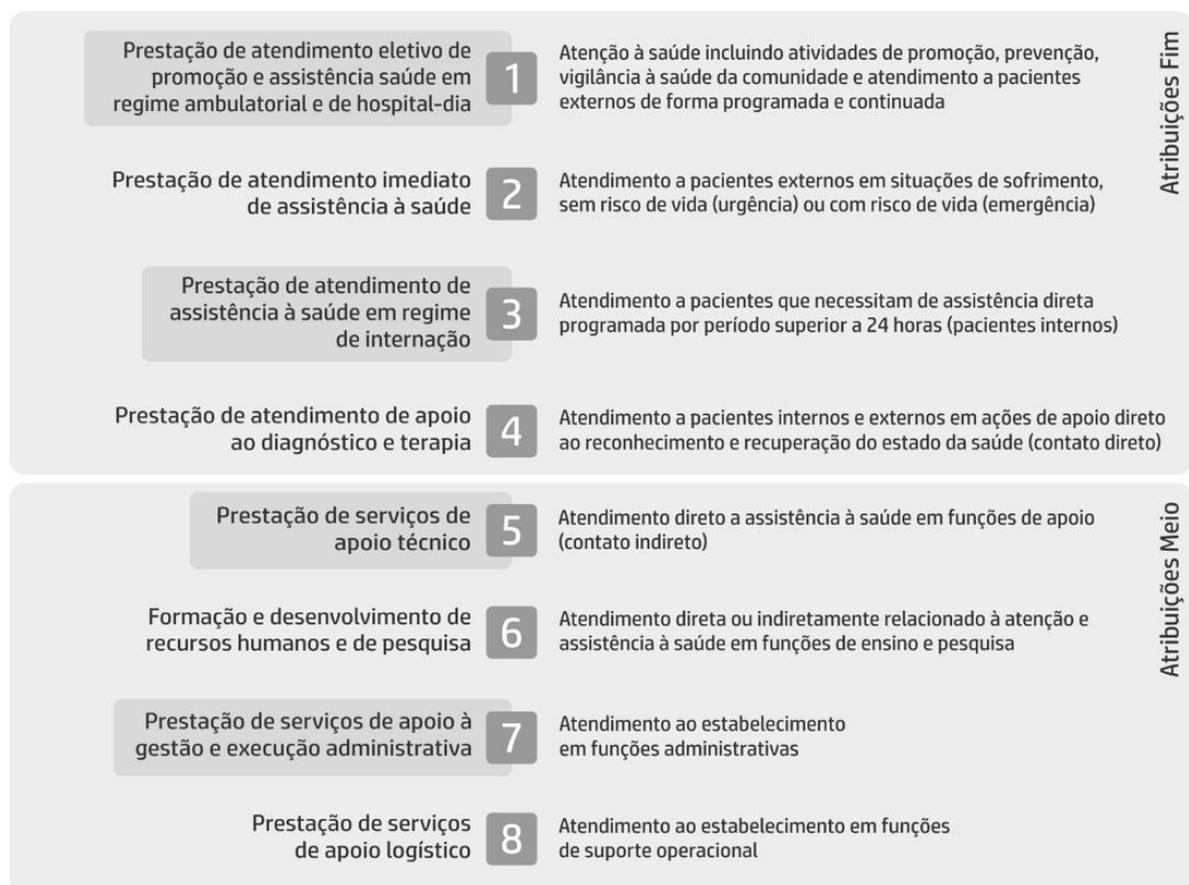
5.3.1 Resolução RDC nº 50

O conteúdo da Resolução RDC nº 50 é estruturado a partir da programação físico-funcional dos estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS)¹⁶, ou seja, de acordo com as atividades a serem desenvolvidas em cada um dos setores da edificação, relacionadas às tecnologias de operação e à conformação das redes físicas de saúde associadas ao sistema em questão (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2002). Assim, o conteúdo deste conjunto de regulamentações apresenta as diversas atribuições para um estabelecimento assistencial de saúde completo, que, junto às características locais, devem definir o programa físico-funcional do estabelecimento. Com base no exposto, a Resolução RDC nº 50 divide a organização físico-funcional dos espaços de um estabelecimento de saúde de acordo com oito atribuições, apresentadas na Figura 16.

¹⁶EAS: “denominação dada a qualquer edificação destinada à prestação de assistência à saúde à população, que demande o acesso de pacientes, em regime de internação ou não, qualquer que seja o seu nível de complexidade” (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2002)

É importante destacar que estas oito atribuições estão divididas em duas categorias: (i) atribuições fim, em que constituem funções diretamente relacionadas à atenção e assistência à saúde; e (ii) atribuições meio, que servem como base para o desenvolvimento das atribuições fim, bem como para o atendimento delas próprias. Além das atribuições mencionadas acima, são também expressas no documento cinco categorias de critérios de projeto: (i) circulações externas e internas (CEI); (ii) condições ambientais de conforto (CAC); (iii) condições ambientais de controle de infecção (CIC); (iv) instalações prediais ordinárias e especiais (IP); e (v) condições de segurança contra incêndio (CSCI).

Figura 16 – Atribuições de estabelecimentos assistenciais de saúde



(fonte: baseado no conteúdo da Resolução RDC nº 50, ANVISA, 2002)

De modo geral, o conteúdo da Resolução RDC nº 50 é bastante abrangente, e o atendimento de cada um dos requisitos regulamentares depende das atribuições que são adotadas por cada um dos projetos hospitalares. Dessa forma, percebe-se que o nível de detalhamento dos requisitos regulamentares é variado. Para determinados critérios, as especificações são fixas e rígidas, enquanto para outros são definidas superficialmente. Apesar disso, a Resolução RDC nº 50 possui um caráter predominantemente prescritivo, sendo organizada como um roteiro de passo-a-passo para verificação de projetos hospitalares, de acordo com cada uma das atribuições.

5.3.1.1 Captura de Requisitos Regulamentares

Com base na avaliação de cada uma das regulamentações identificadas na Resolução RDC nº 50, foi possível determinar se o conteúdo de cada um de seus itens pode ser transformado em um ou mais requisitos regulamentares. É importante destacar que, muitas vezes, as regulamentações são expressas no documento em formato de planilhas, e contém informações que não dão origem a atributos de projeto, como observado a seguir:

- a) Exemplo 1: em um segmento da planilha de regulamentações referente à unidade funcional 2 – atendimento imediato, 2.2 – atendimento de urgência e emergência – urgência (alta complexidade e emergência), item 2.2.4 – realizar procedimento de enfermagem (Figura 17)
- b) Exemplo 2: unidade funcional 4 – apoio ao diagnóstico e terapia, reabilitação e fisioterapia, item 4.8.2a – box de terapias (Figura 18):

Figura 17 – Exemplo 1 – Resolução RDC nº 50

Nº Ativ.	Unidade/Ambiente	Dimensionamento		Instalações
		Quantificação (mínima)	Dimensão (mínima)	
2.2.4	Posto de enfermagem/ prescrição médica	1 para cada 12 leitos de observação	6,0 m ²	HF; EE

(fonte: baseado no conteúdo da Resolução RDC nº 50, ANVISA, 2002)

A partir dos exemplos 1 e 2, apresentados na Figura 17 e na Figura 18, respectivamente, foi possível capturar uma série de diferentes requisitos, que são a transformação dos requisitos presentes nas tabelas da Resolução RDC nº 50 em formato de requisito explícito. Estas transcrições podem ser observadas a seguir, para cada um dos exemplos:

Requisito 1.1: deve existir um posto de enfermagem ou prescrição médica a cada 12 leitos de observação, na unidade de atendimento imediato, nos setores de emergência e urgência de alta complexidade.

Requisito 1.2: a área do posto de enfermagem ou prescrição médica, para a unidade de atendimento imediato, nos setores de emergência e urgência de alta complexidade, deve ser maior ou igual a 6,0m².

Requisito 1.3: o posto de enfermagem ou prescrição médica deve ser provido de instalação de água fria, na unidade de atendimento imediato, nos setores de emergência e urgência de alta complexidade.

Requisito 1.4: o posto de enfermagem ou prescrição médica deve ser provido de sistema elétrico de emergência, na unidade de atendimento imediato, nos setores de emergência e urgência de alta complexidade.

Figura 18 – Exemplo 2 – Resolução RDC nº 50

Nº Ativ.	Unidade/Ambiente	Dimensionamento		Instalações
		Quantificação (mínima)	Dimensão (mínima)	
4.8.2a	Box de terapias	O número de boxes e salas depende das atividades desenvolvidas e da demanda de pacientes	2,4 m ² com dimensão mínima = 1,2m (cada). Ao menos um dos boxes deve possuir dimensão mínima = 1,5m.	HF; ADE

(fonte: baseado no conteúdo da Resolução RDC nº 50, ANVISA, 2002)

Requisito 2.1: o número de boxes e salas na unidade de apoio ao diagnóstico e terapia, no setor de reabilitação por meio de fisioterapia, depende das atividades desenvolvidas e da demanda de pacientes.

Requisito 2.2: a área destinada ao box de terapias na unidade de apoio ao diagnóstico e terapia, no setor de reabilitação por meio de fisioterapia, deve ser maior ou igual a 2,4m².

Requisito 2.3: a menor dimensão linear em box de terapias na unidade de apoio ao diagnóstico e terapia, no setor de reabilitação por meio de fisioterapia, deve ser maior ou igual a 1,2m.

Requisito 2.4: em pelo menos um dos boxes, a menor dimensão linear na unidade de apoio ao diagnóstico e terapia, no setor de reabilitação por meio de fisioterapia, deve ser maior ou igual a 1,5m.

Requisito 2.5: os boxes de terapia devem ser providos de instalação de água fria, na unidade de apoio ao diagnóstico e terapia, no setor de reabilitação por meio de fisioterapia.

Requisito 2.6: as demais instalações dos boxes de terapia, na unidade de apoio ao diagnóstico e terapia, no setor de reabilitação por meio de fisioterapia dependem dos equipamentos instalados no respectivo espaço.

5.3.1.2 Classificação quanto à Natureza e Possibilidade de Tradução em Regra Lógica

Os requisitos convertidos foram classificados de acordo com a predominância de natureza quantitativa ou qualitativa. De forma análoga, foi feita uma avaliação quanto à possibilidade de converter os requisitos identificados em regras lógicas potencialmente parametrizáveis. A Figura 19 apresenta um exemplo para os mesmos requisitos, anteriormente descritos no item 5.3.1.1.

Figura 19 – Conversão de requisitos quanto à natureza e regra lógica

Requisito	Natureza	Regra Lógica
Exemplo 1		
Requisito 1.1	Quantitativa	Sim
Requisito 1.2	Quantitativa	Sim
Requisito 1.3	Qualitativa	Sim
Requisito 1.4	Qualitativa	Sim
Exemplo 2		
Requisito 2.1	Qualitativa	Não
Requisito 2.2	Quantitativa	Sim
Requisito 2.3	Quantitativa	Sim
Requisito 2.4	Quantitativa	Sim
Requisito 2.5	Qualitativa	Sim
Requisito 2.6	Qualitativa	Não

(fonte: elaborado pelo autor)

Estas mesmas classificações foram realizadas para todos os demais requisitos identificados, a partir das regulamentações contidas na Resolução RDC nº 50. A seguir são descritos os resultados para cada uma das categorias de análises desenvolvidas:

5.3.1.3 Resultados da Classificação da Resolução RDC nº 50

A partir do mapeamento do conteúdo da Resolução RDC nº 50, foi possível identificar 837 regulamentações distintas, que estão divididas de acordo com as 8 atribuições e critérios de projeto, descritos anteriormente e na Figura 16. Cada uma destas regulamentações foi analisada individualmente com o objetivo de determinar se o conteúdo das mesmas pode ser transformado em um ou mais requisitos para os projetos de estabelecimentos da saúde.

Com base nas regulamentações identificadas anteriormente, foi possível realizar a tradução das informações em requisitos. Das 837 regulamentações, 184 não expressam informações que pode originar um ou mais requisitos. A partir das 654 regulamentações remanescentes, foi possível dar origem a 1273 requisitos distintos. Os requisitos foram definidos a partir da informação que dá origem a um atributo de projeto, de modo que possa ser analisado, posteriormente, o processo de tradução entre o conteúdo da regulamentação e a síntese do requisito.

As classificações descritas no início do item 5.3, e exemplificadas nas seções 5.3.1.1 e 5.3.1.2, foram utilizadas para análise da regulamentação Resolução RDC nº 50. A seguir, cada um dos itens é descrito:

- a) **Natureza dos requisitos:** cada um dos requisitos regulamentares identificados foi avaliado de acordo com o tipo de informação que expressa, de modo a definir se dizem respeito, predominantemente a informações qualitativas, quantitativas ou ambíguas. Dessa forma, dos 1273 requisitos identificados, 706 são de natureza predominantemente qualitativa, 476 são de natureza predominantemente quantitativa e 91 foram classificados como de natureza ambígua.
- b) **Possibilidade de tradução em regra lógica:** de forma análoga à análise quanto à natureza dos requisitos, foi possível determinar a possibilidade de tradução destes requisitos para uma regra lógica parametrizável. Assim, concluiu-se que, dos 1273 requisitos, 821 tem a possibilidade de serem convertidos em regras parametrizadas, ao passo que 452 podem não ter esta conversão realizada de forma satisfatória.
- c) **Relação natureza x possibilidade de tradução em regra lógica:** a partir da classificação quanto ao caráter dos requisitos e quanto à possibilidade de tradução em regra lógica parametrizável, foi possível definir as relações entre estas classificações. Dessa forma, (i) dos 706 requisitos qualitativos identificados, 324 podem ser traduzidos em regras lógicas, enquanto 382 não podem ser traduzidos; (ii) dos 476 requisitos quantitativos identificados, 430 podem ser traduzidos em regra

lógica parametrizável, ao passo que 46 não podem ser traduzidos; e (iii) dos 91 requisitos de natureza ambígua, 67 tem a possibilidade de tradução, enquanto 24 não podem ser convertidos em regra lógica.

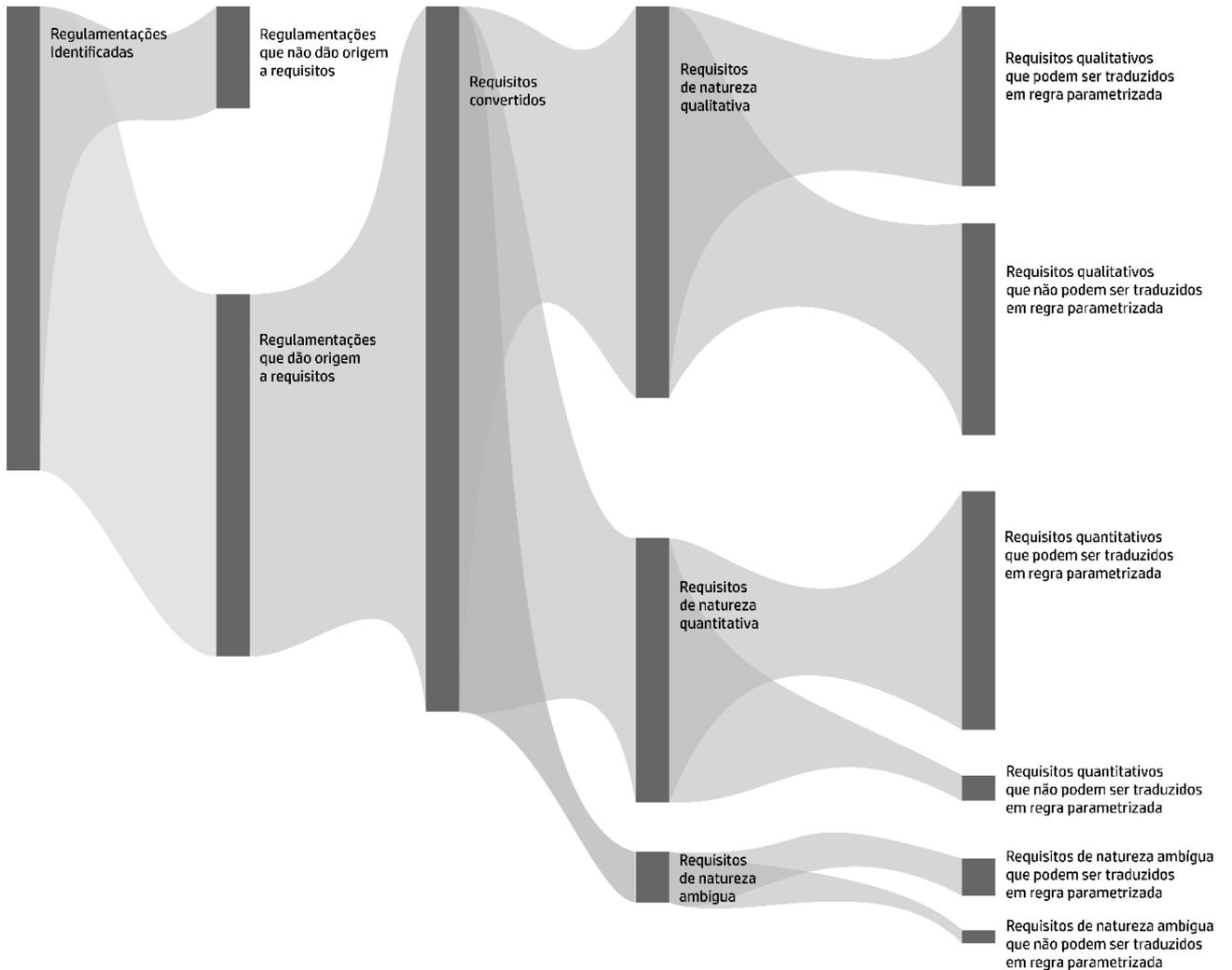
- d) **Elementos IFC associados:** a partir dos requisitos que podem ser traduzidos em regras lógicas potencialmente parametrizáveis, foi definido qual o objeto paramétrico ao qual a informação deveria estar vinculada no modelo virtual da edificação. Para isso, a classificação de objetos IFC foi utilizada. Foram identificados 371 requisitos que poderiam ser verificados por meio de propriedades e parâmetros dos objetos *IfcSpace*, enquanto 349 outros requisitos poderiam ser verificados por meio da condição da existência de um outro elemento IFC vinculado a um *IfcSpace* (o que, em termos práticos, diz respeito à existência de um determinado objeto ou conjunto de objetos inserido em um espaço).
- e) **Classes de Regras Paramétricas:** a partir da classificação para regras paramétricas definida por Solihin e Eastman (2015), foi possível identificar que 70% dos requisitos possíveis de tradução em regra lógica potencialmente parametrizável são classificados como Classe 1, 28% pertencem à Classe 2, enquanto os 2% remanescentes se enquadram à Classe 3 ou 4. Isso significa que a grande maioria das possíveis regras paramétricas representam sentenças de baixa complexidade lógica de execução.

Na Figura 20 é apresentada a relação entre os elementos identificados a partir da análise da Resolução RDC nº 50. Estes elementos estão dispostos em colunas que mantêm a proporção numérica observada na caracterização desenvolvida. A partir das regulamentações (coluna mais à esquerda) vão se desdobrando os requisitos de acordo com a caracterização proposta para o documento em análise. Este tipo de diagrama permite observar visualmente o comportamento dos elementos identificados na caracterização dos requisitos, bem como a distribuição e o desdobramento dos mesmos ao longo das classificações. Dessa forma, é evidente a predominância de requisitos de natureza qualitativa e da elevada parcela de requisitos quantitativos que podem ser traduzidos em regra parametrizada. É importante observar, contudo, que a Figura 20 e a Figura 21 se complementam no que diz respeito aos dados expostos.

Na Figura 21 são apresentadas as relações pertinentes à caracterização básica dos requisitos identificados. Dessa forma, pode-se analisar a natureza dos requisitos, quando relacionada à possibilidade de tradução em regra parametrizada. Ainda, pode-se observar a distribuição dos itens de

natureza ambígua, posicionados ao centro da Figura 21. À esquerda estão dispostos os somatórios dos requisitos identificados, para cada uma das três categorias.

Figura 20 – Resolução RDC nº 50: Relação entre os elementos identificados

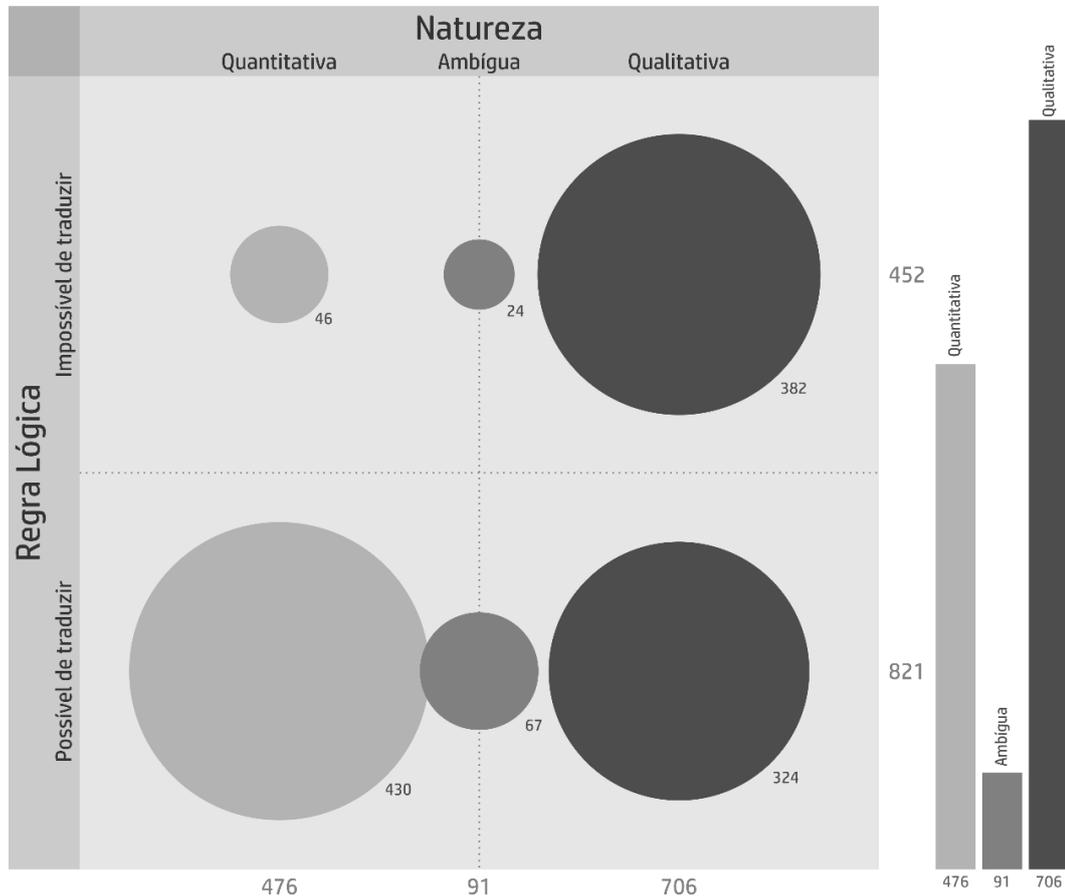


(fonte: elaborado pelo autor)

A Figura 21, permite observar os resultados em análises tanto verticais quanto horizontais, o que possibilita a comparação entre as naturezas quantitativa, ambígua ou qualitativa frente aos critérios de possibilidade de tradução em regra lógica parametrizável. Assim, percebe-se que os requisitos de natureza quantitativa expressam elevada propensão à tradução para regra lógica, o que corresponde a um valor superior a 90%. Com base em uma verificação similar, percebe-se que a proporção não é mantida em se tratando de requisitos de natureza qualitativa, sendo que aproximadamente 54% são passíveis de tradução. Ainda assim, entende-se que uma considerável parcela dos requisitos dessa natureza pode ser traduzida, o que reafirma a necessidade de explorar esse tipo de processo para elementos de origem menos objetiva. Contudo, é importante destacar que, apesar de as proporções

entre requisitos de natureza quantitativa e qualitativa serem bastante distintas, o número total de requisitos em cada uma dessas categorias é relativamente próximo, 430 e 324, respectivamente.

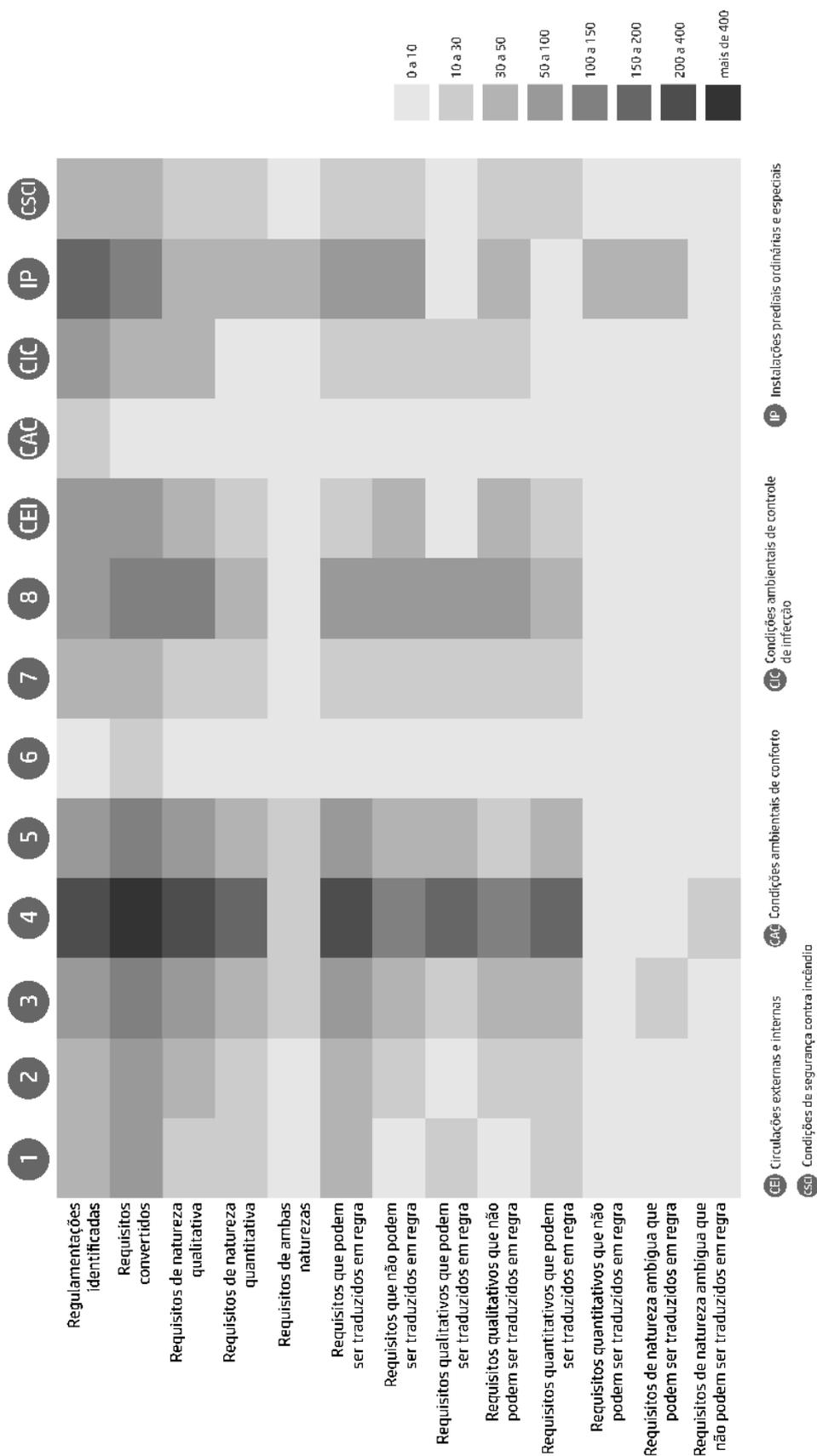
Figura 21 – Resolução RDC nº 50: Caracterização dos requisitos identificados



(fonte: elaborado pelo autor)

Os requisitos ambíguos correspondem a aproximadamente 20% dos requisitos identificados (Figura 21). Em função da predominância positiva para tradução em regra parametrizada, neste caso, pode-se fazer uma analogia e inferir que, apesar de caracterizados como ambíguos, os mesmos, de uma forma geral, são similares aos requisitos de natureza quantitativa. A partir da análise individualizada, para cada uma das partes da Resolução RDC nº 50, foi analisado como se distribuem os requisitos de acordo com as atribuições e critérios para o projeto de estabelecimentos assistenciais da saúde (EAS) (Figura 22). Cada uma das colunas representa uma atribuição da Resolução RDC nº 50 (expressas na Figura 16) ou um dos critérios de projeto evidenciado. De forma complementar, cada uma das linhas diz respeito a um elemento de classificação. Para que o resultado possa ser observado sob a ótica visual, os dados foram categorizados de acordo com a legenda anexa, relativa ao número de ocorrências observadas na categorização do documento.

Figura 22 - Matriz de caracterização dos requisitos



(fonte: elaborado pelo autor)

Pode-se inferir que, de acordo com a Figura 22, a atribuição nº 4 da Resolução RDC nº 50, “*Prestação de atendimento de apoio ao diagnóstico e terapia*”, a atribuição nº 8, “*Prestação de serviços de apoio logístico*” e o critério de projeto para instalações prediais possuem as maiores concentrações de resultados. Assim, estes segmentos da Resolução RDC nº 50 carregam o maior número de informações sobre as regulamentações para estabelecimentos da saúde. De forma análoga, a Figura 22 permite identificar os pontos que menos originam requisitos, correspondentes à atribuição nº 6 da Resolução RDC nº 50, “*Formação e desenvolvimento de recursos humanos e de pesquisa*” e o critério de projeto de condições ambientais de conforto.

O principal objeto do estudo empírico, o setor de emergência, enquadra-se na segunda atribuição da Resolução RDC nº 50, *Prestação de atendimento imediato de assistência à saúde*. A partir da análise da Figura 22, percebe-se que o número de requisitos regulamentares para esse setor é relativamente limitado. Apesar disso, pode-se observar que predominam requisitos de natureza qualitativa, bem como requisitos que podem ser traduzidos em regras lógicas parametrizáveis.

5.3.2 Código de Edificações do Município de Porto Alegre

Apesar de o Código de Edificações do Município de Porto Alegre (MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE, 2001) não ser um conjunto de regulamentações especificamente desenvolvida e aplicada a projetos de empreendimentos hospitalares, nas entrevistas abertas realizadas ao longo da etapa de compreensão, este conjunto, e o processo de aprovação associado, teve sua importância mencionada em diversas ocasiões. Devido a isso, este conjunto de normas e de regulamentações foi categorizado e avaliado de acordo com os mesmos critérios utilizados para classificar a Resolução RDC nº 50, no item anterior.

O Código de Edificações do Município de Porto Alegre corresponde à Lei Complementar Nº 284. Neste documento são definidas as premissas básicas para a aprovação municipal de projetos de edificações, que incluem as condições gerais relativas a terrenos, materiais e elementos da construção, diretrizes relativas à circulação de pessoas, iluminação e ventilação, tipologias de edificações e as atividades associadas a cada uma delas, bem como suas correspondentes instalações (MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE, 2001). A seguir, são apresentados os dados referentes às classificações das regulamentações contidas neste documento.

5.3.2.1 Classificação do Código de Edificações de Porto Alegre

A partir do mapeamento do conteúdo do Código de Edificações de Porto Alegre, foi possível identificar 1078 regulamentações distintas. Cada uma destas regulamentações foi analisada individualmente com o objetivo de determinar se o conteúdo das mesmas pode ser traduzido em um ou mais requisitos para os projetos de estabelecimentos da saúde.

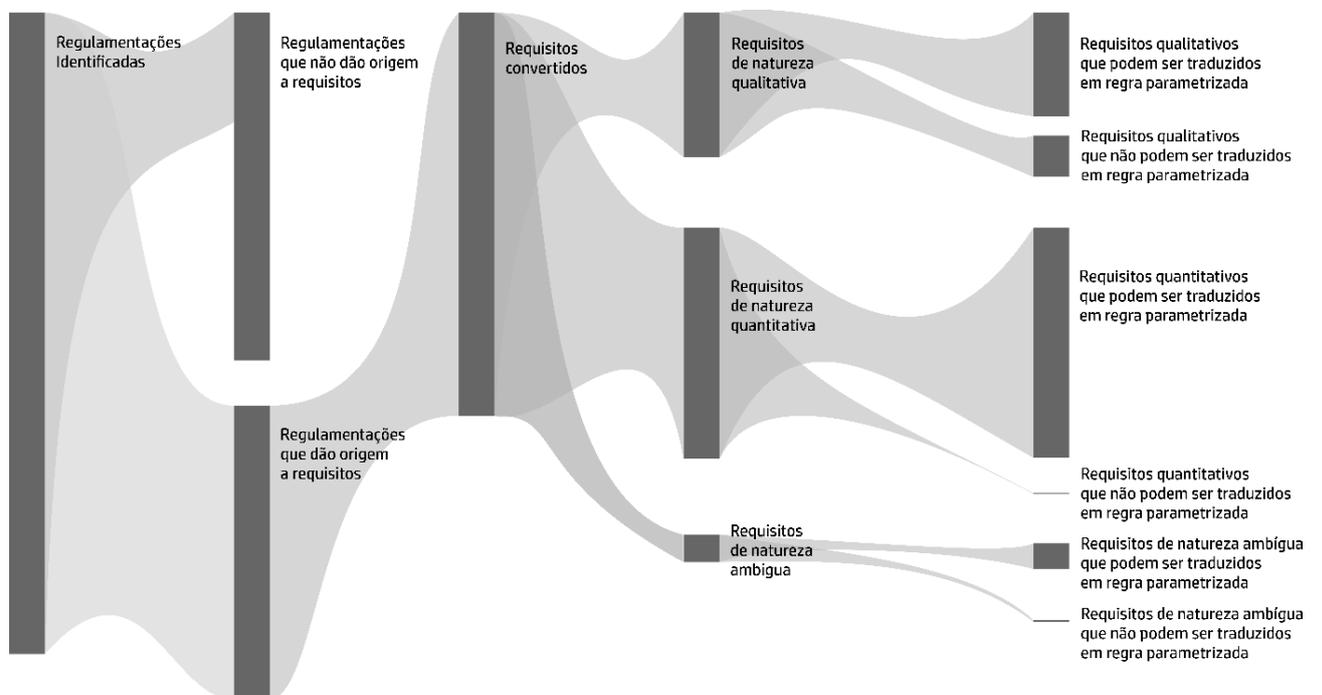
Dessa forma, das 1078 regulamentações, 585 não expressam informações que podem originar um ou mais requisitos para o projeto. A partir das 493 regulamentações remanescentes, foi possível originar 678 requisitos regulamentares distintos.

As mesmas classificações (descritas no início da seção 5.3) utilizadas para análise do conjunto de regulamentações Resolução RDC nº 50, foram também utilizadas na análise do Código de Edificações do Município de Porto Alegre/RS. A seguir, cada um destes itens é descrito:

- a) **Natureza dos requisitos:** cada um dos requisitos regulamentares identificados foi avaliado de acordo com o tipo de informação que expressa, de modo a definir se dizem respeito, predominantemente a informações qualitativas, quantitativas ou ambíguas. Dessa forma, dos 678 requisitos identificados, 244 são de natureza predominantemente qualitativa (36,0%), 388 são de natureza predominantemente quantitativa (57,2%) e 46 estão classificados como de natureza ambígua (6,8%).
- b) **Possibilidade de tradução em regra lógica:** em relação à possibilidade de tradução dos requisitos do Código de Edificações para regras lógicas parametrizáveis, constatou-se que, dos 678 requisitos, 604 tem a possibilidade de serem convertidos em regras parametrizadas (89,1%), ao passo que 74 podem não ter esta conversão realizada de forma satisfatória (10,9%). A Figura 23 apresenta visualmente os desdobramentos dos requisitos quanto à natureza e possibilidade de tradução em regra lógica, sendo que a proporção de ocorrência é mantida na altura das colunas.
- c) **Relação natureza x possibilidade de tradução em regra lógica:** dos 244 requisitos qualitativos identificados, 174 podem ser traduzidos em regras lógicas parametrizáveis (71,6%), enquanto 69 não podem ser traduzidos (28,8%). Dos 388 requisitos quantitativos identificados, 387 podem ser traduzidos em regra lógica (99,5%), ao passo que somente 1 não pode ser traduzido (0,3%). Dos 46 requisitos de natureza ambígua, 43 tem a possibilidade de tradução (93,5%), enquanto 3 não podem ser convertidos em regra lógica parametrizável. Estes resultados são apresentados na Figura 24.

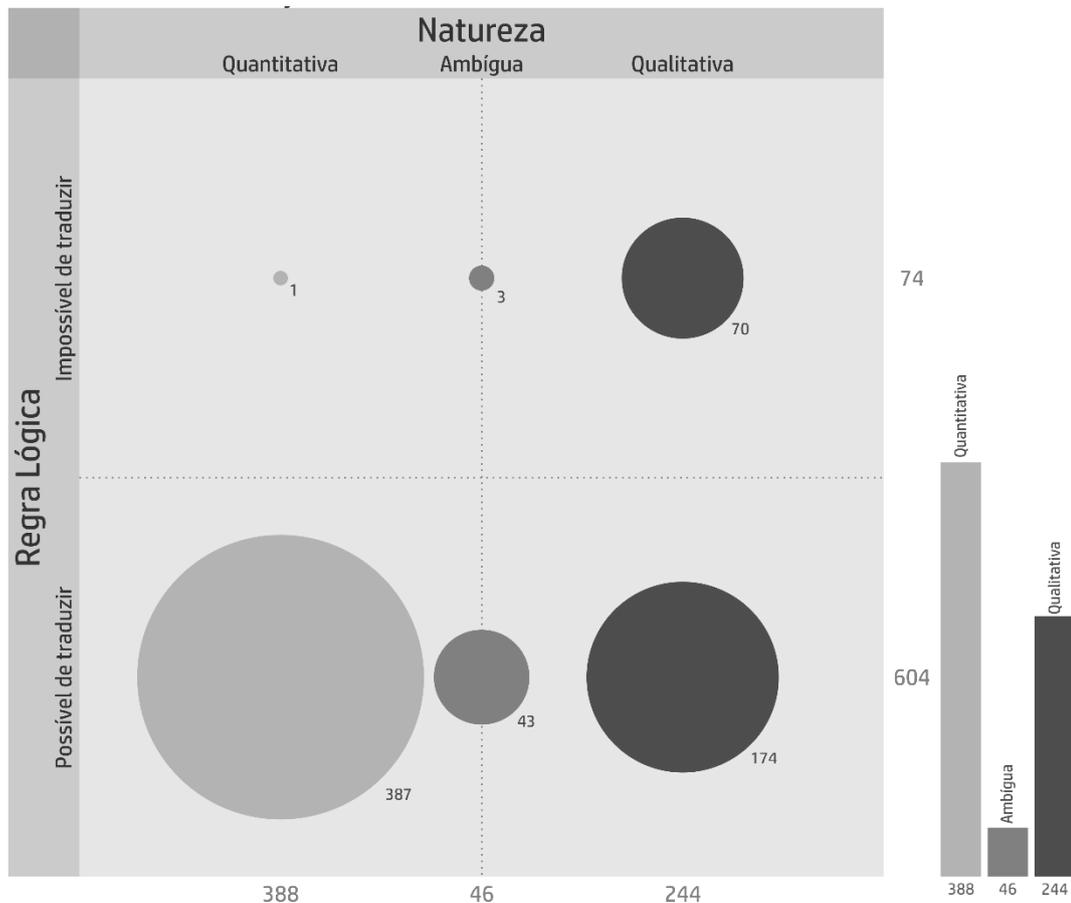
- d) **Elementos IFC associados:** foram identificados 319 requisitos que poderiam ser verificados por meio de propriedades e parâmetros unicamente pertencentes aos objetos *IfcSpace*, enquanto 75 requisitos estão associados a propriedades dos objetos *IfcFlowTerminal* e 51 requisitos aos objetos *IfcWall*.
- e) **Classes de Regras Paramétricas:** os 604 requisitos potencialmente traduzíveis em regras lógicas parametrizáveis foram classificados de acordo com as Classes de Regras Paramétricas, definidas por Solihin e Eastman (2015). Dessa forma, 488 (80,8%) pertencem à Classe 1, 92 (15,2%) pertencem à Classe 2, 23 (3,8%) são classificados como Classe 3 e 1 requisito (0,2%) é definido como Classe 4.

Figura 23 – Código de Edificações: Relação entre os elementos identificados



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 24 – Código de Edificações: Caracterização dos requisitos identificados



(fonte: elaborado pelo autor)

Percebe-se que muitas das regulamentações do Código de Edificações do Município de Porto Alegre não originam requisitos. Isso se deve ao fato de este conjunto de regulamentações ser, acima de tudo, uma legislação municipal. Apesar disso, dos requisitos capturados neste conjunto de regulamentações, pode-se observar que a maior parte é de natureza quantitativa. De modo geral, parâmetros dos objetos IFC do tipo *IfcSpace* mostram-se extremamente importantes para verificação automatizada destes requisitos. Nesse sentido, muitos dos requisitos de natureza qualitativa podem ser traduzidos em regras lógicas parametrizáveis. Com relação à complexidade das regras lógicas, este conjunto de regulamentações apresenta baixa complexidade para desenvolvimento e verificação, devido à predominância de Classes 1 e 2, de acordo com a classificação definida por Solihin e Eastman (2015).

5.3.3 Análise de Resultados da Categorização de Requisitos

A partir da categorização dos requisitos da Resolução RDC nº 50 e do Código de Edificações do Município de Porto Alegre, de acordo com as quatro classificações definidas nesta pesquisa, foi possível compreender a predominância dos requisitos envolvidos, quais as relações entre eles, e as semelhanças e divergências entre estes conjuntos de regulamentações. Na Figura 25 são apresentados estes resultados.

Figura 25 – Comparação entre caracterização dos conjuntos de regulamentações

Critério	Resolução RDC nº 50	Código de Edificações POA
Regulamentações Identificadas	837	1078
Regulamentações que originam Requisitos	654	493
Requisitos Regulamentares Identificados	1273	678
Requisitos Qualitativos	706 (55,5%)	244 (36,0%)
Requisitos Quantitativos	476 (37,4%)	388 (57,2%)
Requisitos Ambíguos	91 (7,1%)	46 (6,8%)
Tradução em Regra Lógica (SIM)	821 (64,50%)	604 (89,1%)

(fonte: elaborado pelo autor)

- a) Requisitos regulamentares identificados:** percebe-se que, apesar do elevado número de regulamentações presente no Código de Edificações, o número de requisitos regulamentares identificados é inferior se comparado ao da Resolução RDC nº 50. Apesar de esta diferença não ter impacto nas avaliações, uma vez que todas as avaliações são proporcionais ao número de requisitos identificados, existe uma análise importante a ser realizada. Isso se deve ao fato de muitas das regulamentações do Código de Edificações dizerem respeito, muitas vezes, a nomenclaturas, denominações, penalizações e demais instrumentos legais para definição destes aspectos. Contudo, isso é esperado deste documento, uma vez que

além de regulamentação, o Código de Edificações é uma lei municipal, e grande parte do conteúdo ali expresso não diz respeito diretamente aos atributos associados ao processo de projeto de uma edificação hospitalar. A Resolução RDC nº 50, ao contrário, é composta em sua maioria por requisitos que estão diretamente associados aos atributos de projeto.

- b) Natureza dos requisitos:** os requisitos dos dois conjuntos de regulamentações avaliadas apresentam características distintas. Os requisitos da Resolução RDC nº 50, em sua maioria, possuem natureza qualitativa, ao passo que a maior parte dos requisitos do Código de Edificações é quantitativa. Isso se deve ao fato de que algumas das regulamentações deste documento são prescritivas e simplistas, como por exemplo a definição de espessuras de paredes, o que é negativo do ponto de vista do desenvolvimento de regulamentações. Isso também evidencia uma tendência de regulamentações específicas para projetos hospitalares e da saúde serem mais subjetivas e abertas a diferentes interpretações, uma vez que os critérios associados a projetos específicos da saúde tendem a um nível de complexidade mais elevado, se comparado à maioria das demais edificações.
- c) Possibilidade de tradução em regra lógica:** ambos os conjuntos de regulamentações apresentaram resultados semelhantes frente a esta classificação – a maior parte dos requisitos possíveis de tradução em regra lógica parametrizável diz respeito a requisitos de natureza quantitativa. Este fato confirma o observado ao longo da revisão bibliográfica e corrobora uma das premissas desta pesquisa, uma vez que, em requisitos predominantemente quantitativos, os elementos de conteúdo e condicionantes podem ser mais facilmente identificados. De forma análoga, os requisitos classificados como ambíguos em ambos os conjuntos de regulamentações apresentam características semelhantes, sendo em sua maioria possíveis de serem traduzidos em regra lógica, similares a requisitos quantitativos.
- d) Elementos IFC associados aos requisitos:** os resultados quanto aos objetos presentes no modelo da edificação, associados aos requisitos convergiram à importância da modelagem do objeto *IfcSpace*. Para ambos os conjuntos de regulamentações, este tipo de objeto apresentou o número de ocorrências mais elevado, frente a todos os demais tipos de objetos. No entanto, existe uma diferença entre os dois conjuntos de regulamentações. É importante destacar que muitos dos requisitos da Resolução RDC nº 50 são verificáveis no modelo por meio da presença ou ausência de determinado objeto (ou conjunto de objetos) em um espaço

específico. A necessidade deste tipo de verificação não foi observada no Código de Edificações, uma vez que os requisitos associados ao objeto espaço dizem respeito somente às propriedades e parâmetros deste. Ainda, no Código de Edificações foram identificadas outras categorias de objetos IFC com elevados índices de ocorrência, como *IfcFlowTerminal* e *IfcWall*, cujos requisitos vinculados estão associados às propriedades e parâmetros destas tipologias de objetos.

- e) **Classes de Regras Paramétricas (SOLIHIN; EASTMAN, 2015):** em ambos os conjuntos de regulamentações, a maior parte dos requisitos potencialmente traduzíveis em regras lógicas e parametrizáveis são classificados como sendo de baixa e moderada complexidade (Classes 1 e 2, respectivamente) – 98% dos requisitos traduzíveis em regras lógicas da Resolução RDC nº 50 e 96% dos requisitos do Código de Edificações. Este resultado é de elevada importância, uma vez que indica que as verificações automatizadas dos requisitos destes conjuntos de regulamentações apresentam baixos índices de complexidade para a sua execução.

5.4 APLICAÇÃO DA VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DOS REQUISITOS

Foi analisado um conjunto de regras, a partir dos dados coletados na etapa anterior do estudo empírico. A relação destas regras encontra-se na seção 4.4.2.2. Com base nessas regras, foram exploradas as bibliotecas nativas do Solibri Model Checker®, de modo a traduzir as regulamentações da Resolução RDC nº 50 em regras parametrizadas, com o apoio dessa ferramenta

5.4.1 Visão Geral do *Software* Solibri Model Checker®

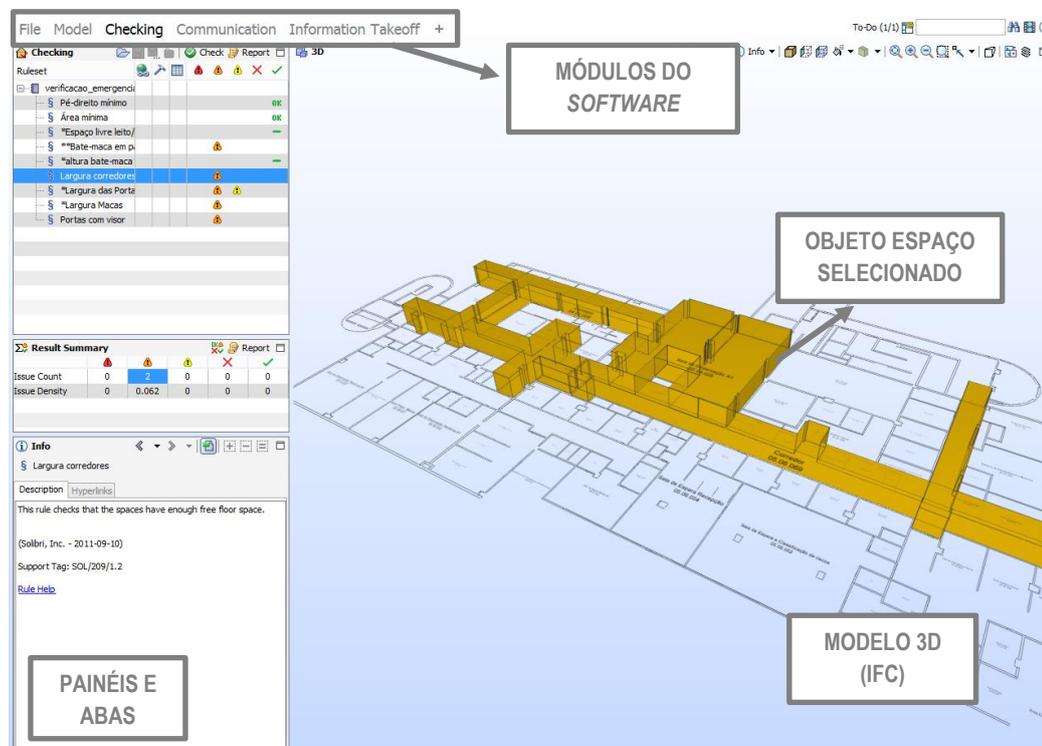
O *software* Solibri Model Checker® possui diferentes módulos. O desenvolvimento das regras é feito em um módulo distinto da interface principal do *software*, denominado *Ruleset Manager*, de modo que a inserção do modelo BIM 3D e os processos de verificação, classificação e comunicação¹⁷ são realizados em módulos separados.

Os principais módulos do *software* correspondem aos seguintes itens: (i) *file* – arquivo; (ii) *model* – modelo; (iii) *checking* – verificação; (iv) *communication* – comunicação; e (v) *information takeoff* – classificação e extração de quantitativos. Estes módulos podem ser observados na parte superior da Figura 26, sendo que o módulo (iii) *checking* – verificação encontra-se aberto. Apesar disso, o *Ruleset*

¹⁷ Os processos de comunicação dizem respeito à geração de relatórios de verificação de conformidades e exportação dos mesmos em diferentes formatos, como .pdf.

Manager, que é a interface de edição de regras do *software*, é acessado por meio do módulo (i) *file* – arquivo.

Figura 26 – Interface do Solibri Model Checker®



(fonte: elaborado pelo autor)

A interface geral padrão dos módulos é a mesma, com exceção ao *Ruleset Manager*. À esquerda encontram-se os campos de informações, como painel de verificação, painel de resultados, aba de informações sobre o objeto selecionado, diagramas hierárquicos das disciplinas importadas no modelo, painel de classificação etc; à direita, é exibido o modelo tridimensional da edificação. A interface específica do *Ruleset Manager* é apresentada no item a seguir.

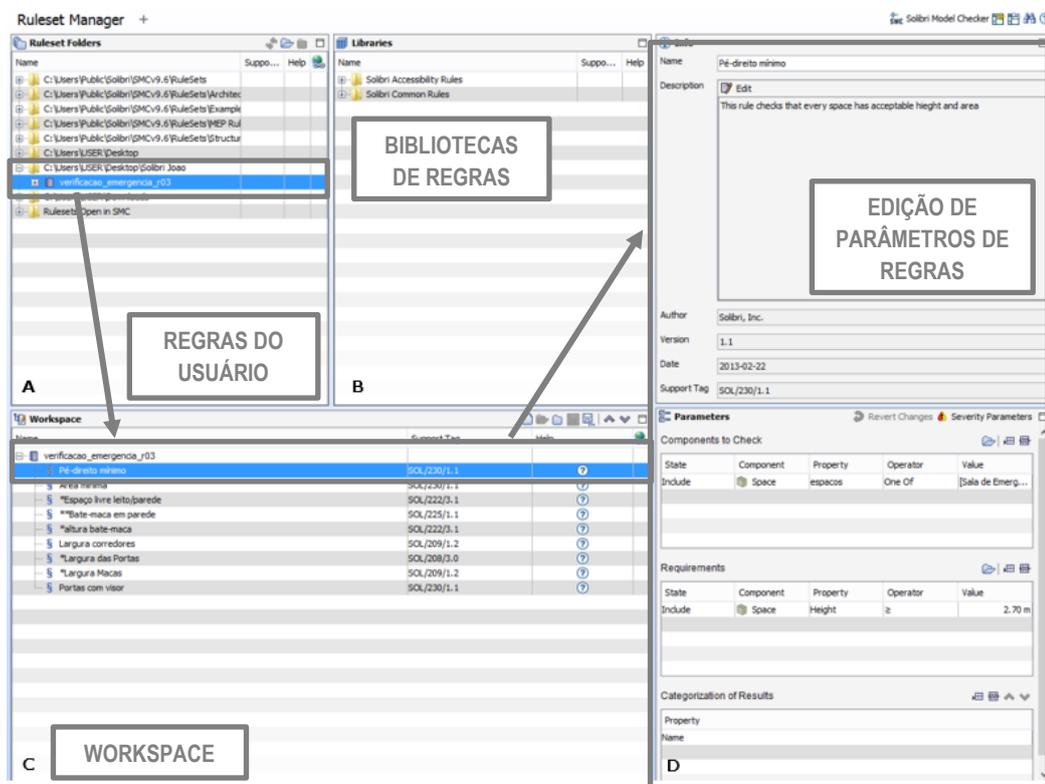
5.4.1.1 Conversão de Regulamentações e Criação de Regras

O processo de tradução de regulamentações em regras no *software* utilizado não é realizado diretamente, pois existe uma biblioteca de regras pré-programadas, a qual pode ser editada pelo usuário com flexibilidade limitada. Ou seja, a criação de regras no Solibri® é feita por meio da modificação de parâmetros de regras já existentes nas bibliotecas nativas do *software*. Esse processo é feito no módulo *Ruleset Manager* (Figura 27), no qual é possível acessar: (i) as pastas em que se encontram conjuntos de regras já editados pelo usuário; e (ii) as bibliotecas nativas da ferramenta; além de ser possível (iii) modelar a informação da regra no espaço chamado *Workspace*; e (iv) editar

os parâmetros das regras em modificação. Na mesma figura, pode ser observada a regra de verificação de altura mínima de espaços aberta na interface.

A partir da inserção de uma regra ou de um conjunto de regras já editado no *Workspace*, é possível modificar parâmetros abertos, bem como inserir informações referentes à regra em questão. Cada uma das regras que existem na biblioteca do *software* possui um conjunto diferente de parâmetros editáveis, bem como uma sequência lógica de verificação distinta. Dessa forma, existiu a necessidade de, muitas vezes, adaptar uma regra originalmente criada para uma finalidade, a fim de verificar uma informação diferente.

Figura 27 – Interface do Ruleset Manager



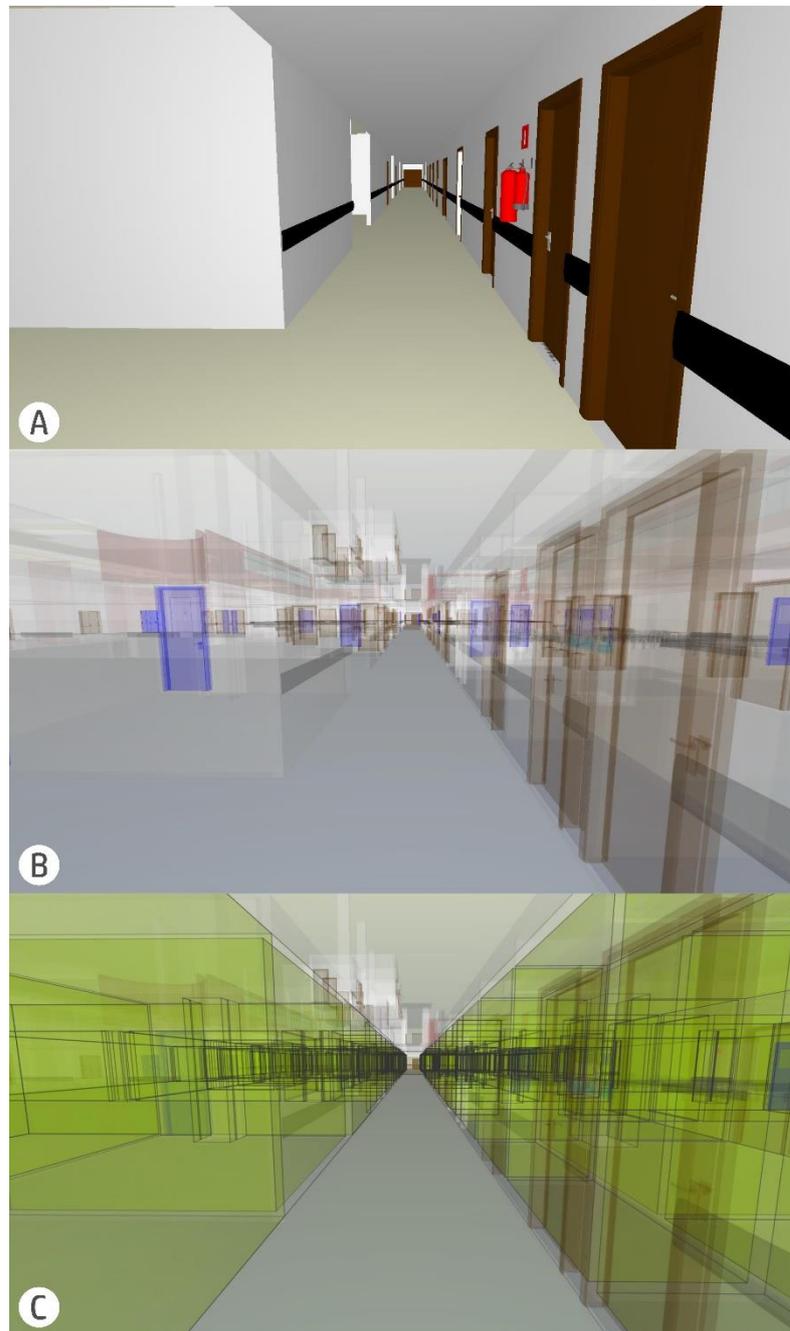
(fonte: elaborado pelo autor)

5.4.1.2 Importação do Modelo e Classificação

O modelo BIM 3D, desenvolvido na ferramenta Autodesk Revit®, foi inserido na interface do Solibri® por meio de processo de exportação e importação em formato *IFC*. A Figura 28 contempla a visualização do modelo em 3 formas distintas: (A) geometria sólida; (B) geometria transparente; e (C) geometria espacial. Em sequência, a partir da inserção de um conjunto de regras parametrizadas, com base nas regulamentações da Resolução RDC nº 50, foram testadas as capacidades do *software* frente às regras nele modeladas. Estas regras correspondem a uma parcela das regulamentações

analisadas. A relação das regras modeladas encontra-se na seção 4.4.2.2. Elas foram escolhidas de acordo com os diferentes tipos de verificação necessários para a determinação da conformidade ou não de diferentes atributos do projeto.

Figura 28 – Modelo BIM 3D visto no Solibri®



(fonte: elaborado pelo autor)

A inserção do conjunto de regras, definido no *Ruleset Manager*, ao módulo *Checking*, permite ao *software* verificar se os atributos do modelo estão em conformidade com os parâmetros e definições das regras, retornando um resultado para a verificação automatizada da regra. Este resultado é emitido

5.4.2 Verificação de Regras com o Solibri®

A seguir, os exemplos mais pertinentes da verificação das regras no Solibri® são descritos. As regras foram, então, avaliadas quanto à sua consistência, sendo que uma parcela foi verificada com sucesso, enquanto algumas se mostraram inconsistentes frente às capacidades do *software*. Com base nisso, foi possível avaliar a adaptabilidade das regras nativas das bibliotecas do *software* às necessidades de modificação para avaliação da conformidade em relação às regulamentações.

5.4.2.1 Largura dos corredores

O processo de verificação da regulamentação 4.3 da Resolução RDC nº 50 foi analisado e é descrito a seguir, na Figura 30. A Figura 31 e Figura 32 ilustram o resultado da verificação desta regulamentação, para a largura de 2,0m. À direita da Figura 31 pode ser observado um espaço tridimensional de circulação do setor da Emergência, demarcado em verde, com o percurso de verificação da regra no piso, em azul escuro, além dos objetos apontados como causadores da não conformidade, em vermelho. Na parte esquerda, encontram-se selecionadas a regra que foi verificada, e uma breve descrição das não conformidades identificadas. Na sequência, na Figura 30 são apresentadas as propriedades referentes à verificação da regulamentação 4.3 da Resolução RDC nº 50:

Figura 30 – Propriedades da verificação da Largura dos Corredores

Regulamentação da Resolução RDC nº 50	Item 4.3
Requisito identificado a partir da regulamentação	Os corredores de circulação de pacientes ambulantes ou em cadeiras de rodas devem possuir largura mínima de 2,00m quando corredor possuir extensão maior ou igual a 11m.
Regra identificada na biblioteca do Solibri®	SOL/209/1.2
Localização no Modelo BIM 3D	Corredores de extensão maior ou igual a 11,0m
Relação ao <i>ifc_type</i>	<i>IfcSpace</i>

(fonte: elaborado pelo autor)

A utilização da regra específica para verificar a largura de corredores no Solibri® mostrou-se inconsistente com a respectiva necessidade expressa pela regulamentação em questão. Isso se deve a quatro razões principais: (i) não foi possível restringir a verificação somente para corredores de extensão igual ou superior a 11,0m; (ii) a rotina de programação da regra evidencia que é verificada a distância informada como sendo a largura do corredor por todo o perímetro do mesmo, ou seja, o resultado da verificação da regra dá indícios de que a largura verificada é equivalente ao dobro daquela inserida; (iii) parece haver uma inconsistência quando existe um espaço adjacente ao corredor não delimitado por parede, como no caso da *Sala de Observação* (indicado na Figura 32), sendo que o *software* não identifica que este espaço não faz parte do corredor principal e amplia a verificação a este espaço adjacente; e (iv) há uma inconsistência aparente em se tratando das aberturas de portas em recuos (indicado como elemento conflituoso na Figura 32), em que as duas portas inseridas no recuo do corredor são indicadas como portas inacessíveis e causadoras da não-conformidade, mesmo para uma largura mínima de verificação equivalente a 1,0m (que representa uma condição menos crítica).

Figura 31 – Verificação automatizada: largura dos corredores para $\ell=2,0\text{m}$



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 32 – Verificação automatizada: largura dos corredores para $\ell=1,0\text{m}$ 

(fonte: elaborado pelo autor)

5.4.2.2 Área e altura dos espaços

A verificação das áreas dos espaços com o suporte do Solibri® foi realizada de acordo com as propriedades definidas na Figura 33.

Figura 33 – Propriedades da verificação da área dos espaços

Regulamentação da Resolução RDC nº 50	Item 2.1
Requisito identificado a partir da regulamentação	(1) As salas de emergência (politraumatismo, parada cardíaca, etc.) devem ter área igual ou superior a 12,0m ² por leito; (2) a área externa para desembarque de ambulâncias deve ter área mínima coberta igual ou superior a 21,0m ²
Regra identificada na biblioteca do Solibri®	SOL/230/1.1
Localização no Modelo BIM 3D	Sala de Urgência Adulto e Área externa para desembarque de ambulâncias
Relação ao <i>ifc_type</i>	<i>IfcSpace</i>

(fonte: elaborado pelo autor)

As propriedades para verificação da altura dos espaços são descritas a seguir, na Figura 34.

Figura 34 – Propriedades da verificação da altura dos espaços

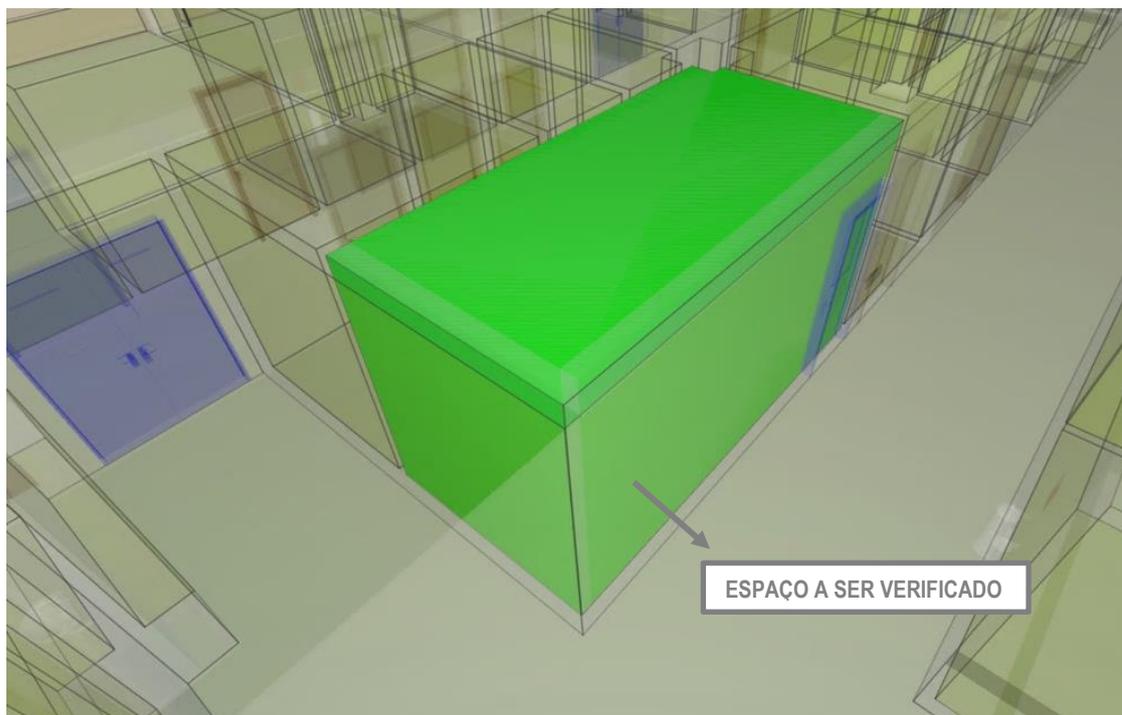
Regulamentação da Resolução RDC nº 50	Item 2.2
Requisito identificado a partir da regulamentação	As salas de emergência (politraumatismo, parada cardíaca, etc) devem ter pé-direito igual ou superior a 2,7m
Regra identificada na biblioteca do Solibri®	SOL/230/1.1
Localização no Modelo BIM 3D	Sala de Urgência Adulto
Relação ao <i>ifc_type</i>	<i>IfcSpace</i>

(fonte: elaborado pelo autor)

As regras que verificam parâmetros relacionados a espaços, conforme apresentado na Figura 33 e na Figura 34, de uma forma geral, apresentam resultados consistentes quando submetidas à avaliação por meio do *software*. Ou seja, ambas as regras verificadas, relacionadas à área mínima e ao pé-direito mínimo, foram elaboradas a partir de uma mesma regra da biblioteca, que permite verificar diferentes propriedades de diferentes tipos de objetos paramétricos, e satisfatoriamente verificadas quanto à conformidade do projeto.

Entretanto, ao longo do processo de desenvolvimento destas regras, foi identificada na biblioteca uma regra específica para verificar a área dos espaços SOL/132/1.3 (Figura 35 – espaço demarcado em verde). Essa regra foi definida de acordo com os mesmos parâmetros da regra anterior (SOL/230/1.1), mas os resultados da verificação mostraram-se inconsistentes, de modo que o espaço, cujos atributos estão em conformidade ao requisito, não era aprovado na verificação. Dessa forma, não foi possível verificar a mesma regulamentação de forma satisfatória com a possível utilização de duas regras distintas. Contudo, com a verificação das regras relacionadas às áreas e alturas dos espaços, representadas pela Figura 33 e Figura 34, pode-se afirmar que as regulamentações associadas a parâmetros dos espaços apresentam resultados consistentes e satisfatórios, de modo que o Solibri Model Checker® é capaz de promover sua verificação automatizada de forma simples, com o uso de regras de fácil edição e aplicação.

Figura 35 – Verificação automatizada: espaços



(fonte: elaborado pelo autor)

5.4.2.3 Características das portas

A verificação das dimensões de portas com o suporte do Solibri® foi realizada de acordo com as propriedades definidas na Figura 36.

Figura 36 – Propriedades da verificação da dimensão das portas

Regulamentação da Resolução RDC nº 50	Item 4.3
Requisito identificado a partir da regulamentação	Todas as portas utilizadas para a passagem de camas/macas e de laboratórios devem ter dimensões mínimas de 1,1m (vão livre) x 2,1m
Regra identificada na biblioteca do Solibri®	SOL/208/3.0
Localização no Modelo BIM 3D	Espera Interna, Sala de Raio X, Sala de Ecografia, Sala de Exame e Terapia de Ultra-Sonografia USG
Relação ao <i>ifc_type</i>	<i>IfcDoor</i>

(fonte: elaborado pelo autor)

Quanto às verificações das dimensões das portas, a ferramenta possui uma regra facilmente adaptável a esta necessidade (SOL/208/3.0). Dessa forma, a verificação forneceu resultados coerentes e de consistência adequada.

Para a verificação de uma característica específica das portas dos quartos de isolamento, a existência de visores, com o suporte do Solibri® foi realizada de acordo com as propriedades definidas na Figura 37.

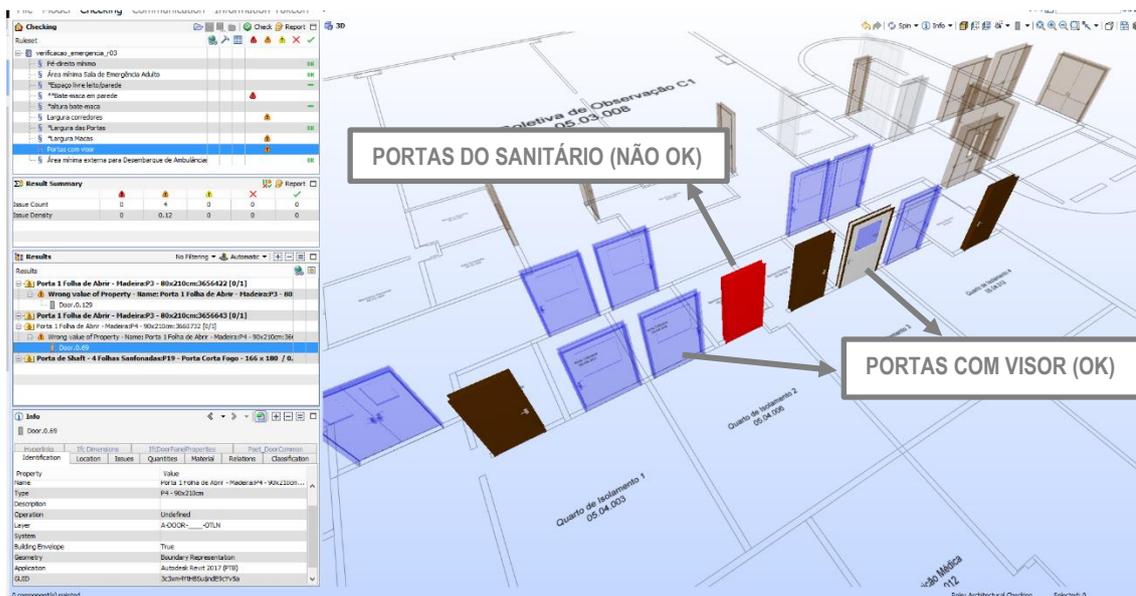
Figura 37 – Propriedades da verificação da existência de visores nas portas

Regulamentação da Resolução RDC nº 50	Item 4.3
Requisito identificado a partir da regulamentação	As portas das salas cirúrgicas, parto, quartos de isolamento e quartos ou enfermarias de pediatria devem possuir visores
Regra identificada na biblioteca do Solibri®	SOL/230/1.1
Localização no Modelo BIM 3D	Quarto de isolamento
Relação ao <i>ifc_type</i>	<i>IfcDoor</i>

(fonte: elaborado pelo autor)

A verificação da existência de visores nas portas referentes às entradas dos quartos de isolamento foi possível de ser realizada de forma parcial. Isso se deve ao fato de que é possível inserir nos parâmetros de verificação que sejam filtradas somente as portas próximas a determinado espaço (no caso, os quartos de isolamento). Esta necessidade emerge devido aos objetos portas fazerem fronteira entre dois espaços distintos (corredores e quartos de isolamento). Entretanto, como nos quartos de isolamento há sanitários individuais, os resultados da verificação mostram-se inconsistentes (Figura 38 – elementos apontados como não conformes demarcados em vermelho) devido à proximidade destas portas ao mesmo espaço. Assim, o *software* verifica as duas portas, e não somente a porta de entrada do quarto de isolamento. As possibilidades de solução seriam: (i) separar as portas no processo de classificação, permitindo que as portas dos sanitários não sejam incluídas do processo de verificação; (ii) caso o *software* permitisse a exclusão de determinados elementos do processo de verificação, poderia ser utilizado um filtro *NOT* nas portas dos sanitários.

Figura 38 – Verificação automatizada: inconsistências devido à classificação das portas



(fonte: elaborado pelo autor)

5.4.2.4 Bate-macas

A verificação automatizada da presença de bate-macas nas paredes dos corredores de circulação, foi realizada de acordo com as propriedades definidas na Figura 39.

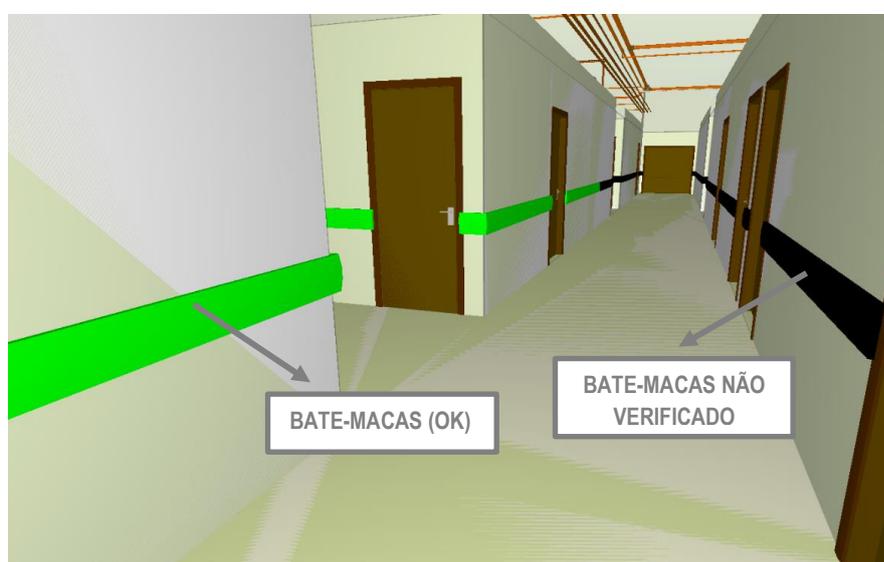
Figura 39 – Propriedades da verificação da existência de bate-macas nos corredores de circulação

Regulamentação da Resolução RDC nº 50	Item 4.3
Requisito identificado a partir da regulamentação	Nos corredores de circulação de pacientes deve haver bate-macas/corrimãos em ao menos uma parede lateral, ao longo de sua extensão
Regra identificada na biblioteca do Solibri®	SOL/225/1.1
Localização no Modelo BIM 3D	Corredores
Relação ao <i>ifc_type</i>	<i>IfcSpace</i> e <i>IfcObject</i>

(fonte: elaborado pelo autor)

Foi possível verificar a existência de um determinado objeto em um espaço específico (presença do bate-macac no espaço corredor). No entanto, a regulamentação em análise não foi satisfatoriamente verificada devido às seguintes razões: (i) não é possível verificar se o objeto existe em uma ou nas duas paredes; e (ii) não é possível verificar se o objeto existe em toda extensão do corredor. Isso é evidenciado na Figura 40, na qual os bate-macac indicados em verde foram verificados, enquanto os demais não foram considerados na verificação devido às características da regra e dos objetos em questão, que verificava a existência de ao menos um objeto, sendo que eles não foram modelados de forma contínua.

Figura 40 – Verificação automatizada: bate-macac



(fonte: elaborado pelo autor)

5.4.2.5 Existência de sistemas complementares

A verificação automatizada da existência de determinados sistemas complementares de instalações prediais em determinados espaços no modelo foi realizada de acordo com as propriedades definidas na Figura 41.

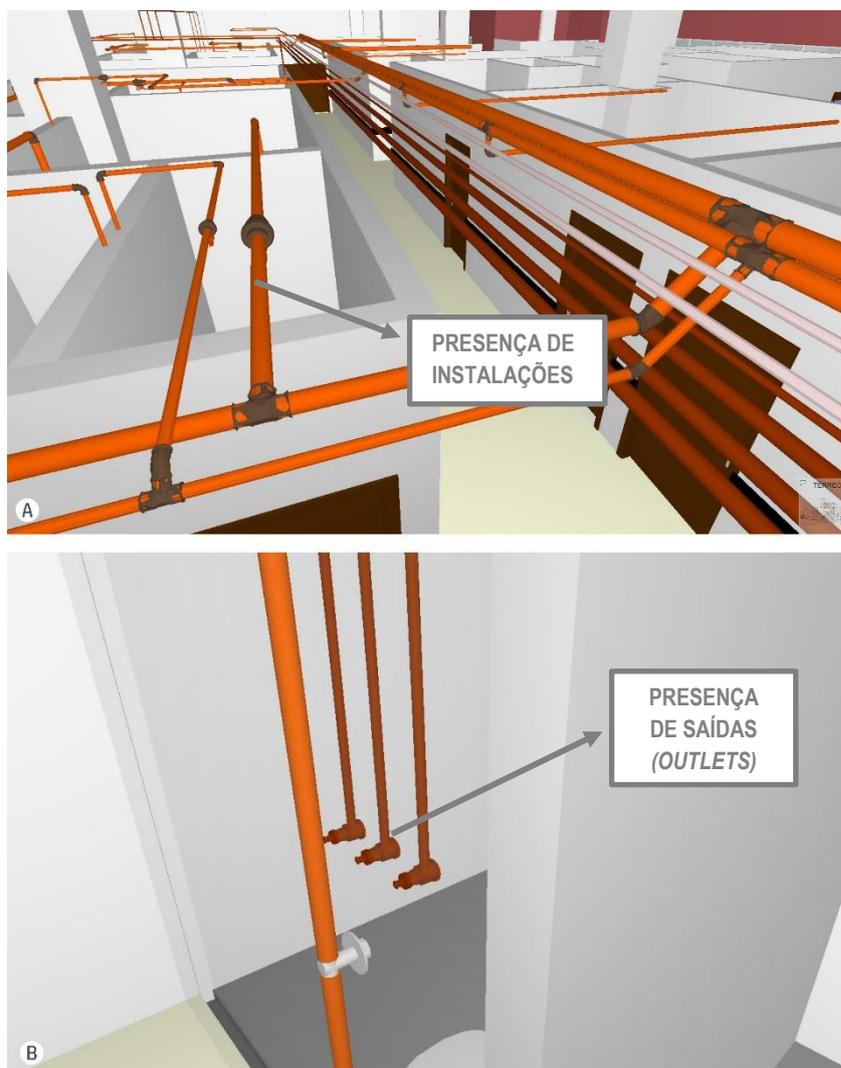
Figura 41 – Propriedades da verificação da existência de sistemas complementares de instalações prediais

Regulamentação da Resolução RDC nº 50	Instalações prediais (IP)
Requisito identificado a partir da regulamentação	1) na sala de procedimentos invasivos do setor da Emergência devem ter os seguintes sistemas: 2 saídas de Oxigênio (O) por leito, uma saída para Óxido Nitroso (ON) a cada dois leitos, e duas saídas de Ar Comprimido Medicinal (ACM) por leito. (2) A sala de Exames de Ultrassonografia (USG) deve ter instalação de água fria.
Regra identificada na biblioteca do Solibri®	SOL/230/1.1
Localização no Modelo BIM 3D	Sala de Procedimentos e Sala Exame e Terapia Ultrassonografia (USG)
Relação ao <i>ifc_type</i>	<i>IfcObject</i> e <i>IfcFlowTerminal</i>

(fonte: elaborado pelo autor)

Este tipo de regra foi possível de ser verificado, tanto com relação à existência de determinada instalação no espaço citado (Figura 42a), bem como a quantidade de saídas exigida por leito (Figura 42b). É importante destacar, contudo, que para que isso seja possível de ser realizado, o modelo BIM 3D deve ser desenvolvido com um LOD e parâmetros adequados. Isso se deve ao fato de esta verificação só ser possível de ser realizada porque foi aplicada à seção do Setor da Emergência desenvolvida com maior nível de desenvolvimento e contendo as instalações necessárias.

Figura 42 – Verificação automatizada: sistemas complementares



(fonte: elaborado pelo autor)

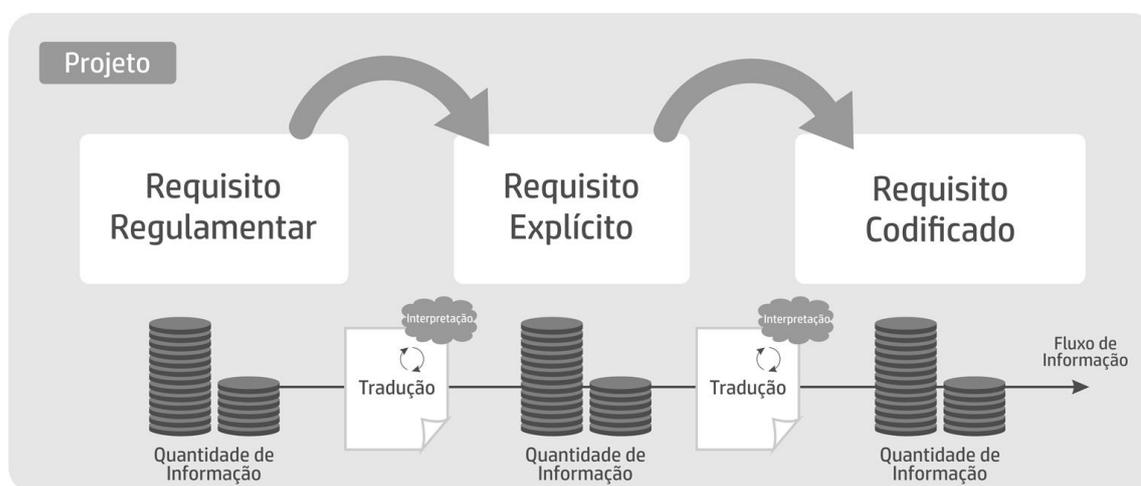
5.5 VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA E A TRANSFORMAÇÃO DA INFORMAÇÃO

Ao longo da aplicação da verificação automatizada com suporte do Solibri®, foi possível observar de forma parcial como a informação pode ser transformada ao longo do processo de verificação. Utilizando a informação proveniente do requisito regulamentar e tornando-o explícito, foi possível definir diferentes elementos da sentença que auxiliaram no desenvolvimento das regras no *software*, com base na edição de parâmetros de regras nativas das bibliotecas do *software*. Uma especial atenção deve ser dada às transferências de informação de uma etapa para outra, uma vez que podem ser perdidos dados e demais elementos das sentenças regulamentares.

A aplicação da verificação automatizada no Solibri®, bem como aspectos da revisão bibliográfica auxiliaram a desenvolver a Figura 43. Esta figura ilustra a transformação da informação observada em

um processo de verificação automatizada de requisitos, em um sistema baseado em BIM e com uma abordagem semântica.

Figura 43 – Fluxo de informação semântica em um sistema de verificação automatizada regulamentar



(fonte: elaborado pelo autor)

Com a utilização de um sistema de verificação automatizada, é evidente a necessidade de explicitação dos requisitos, uma vez que podem ser utilizadas diferentes ferramentas computacionais para suporte à coordenação e gestão dos mesmos. Além disso, em função da ênfase de um processo baseado em BIM estar justamente na informação, a interface entre as etapas pode ocorrer de forma mais transparente, além de ser definida por processos baseados em tradução de informação, o que pode torná-las mais objetivas, caso sejam percebidos avanços a partir do uso da abordagem semântica. Estes processos de tradução têm como objetivo a transformação da informação entre diferentes linguagens, utilizadas por humanos ou computadores.

De forma interna aos processos de tradução, percebe-se que podem ocorrer pequenos estágios de interpretação, realizados naturalmente pelo sistema cognitivo humano. Este fato está relacionado aos processos de leitura, interpretação e reprodução desenvolvido pelos humanos. Pode-se fazer uma analogia à tradução entre idiomas, em que uma sentença é lida, interpretada, e somente após compreendida ela pode ser reescrita em outro idioma por um ser humano. Estas pequenas etapas de interpretação, contudo, ainda permitem que a explicitação de qualquer informação adicional seja devidamente inserida no fluxo de informações semânticas, conforme indicado por Solihin e Eastman (2016).

Com base no observado, é evidente que os processos de interpretação (SOLIHIN; EASTMAN, 2016) podem ser influenciados pelo viés em que se encontram e por quem os conduzem, além de poderem

ser potenciais fontes de perda de informação, uma vez que existe a possibilidade de a informação ser apreendida por um dos envolvidos e não ser explicitada novamente aos demais interessados.

Os processos de interpretação, quando realizados por diferentes envolvidos, em diferentes estágios, podem contribuir para o acréscimo de informações incorretas e inconsistentes. Essa inserção se dá a partir de suposições realizadas pelos indivíduos, de forma inconsciente ou a partir de seus interesses específicos, o que pode fazer com que se verifique no projeto, ao fim do processo, um atributo diferente daquele que a regulamentação originalmente expressa. Em um contexto de estabelecimentos hospitalares, este fato pode ser ainda mais crítico, uma vez que os envolvidos no processo de projeto representam diferentes partes interessadas, e cada um dos indivíduos possui interesses diferentes, de acordo com estas partes que representam. No entanto, os processos de interpretação da informação, de acordo com o que é apontado pela literatura (SOLIHIN; EASTMAN, 2016), podem trazer benefícios às verificações, pois permitem que sejam inseridas informações específicas e pertinentes, que não fariam parte do contexto, a não ser que alguém possa inseri-las.

5.6 DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS

Percebe-se que a natureza dos requisitos (quantitativa, qualitativa ou ambígua) possui impactos relevantes quanto à possibilidade de tradução em regra parametrizada. As dificuldades encontradas em traduzir os requisitos em regras parametrizadas convergem com o que é apontado pela literatura: (i) uma limitação de linguagem computacional ou de *software* (SOLIHIN; EASTMAN, 2016); ou (ii) a forma como a regulamentação é originalmente estruturada e escrita (BEACH et al., 2015). Esses fatores que podem impedir a explicitação do requisito ou a transformação do requisito em regra lógica parametrizável. De modo geral, percebe-se que existe uma tendência de que somente as regulamentações de natureza puramente qualitativas apresentem esta limitação. Dessa forma, em alguns casos, poderia ser explorada a reestruturação destas regulamentações, de modo a expressá-las por meio de dados menos qualitativos, inserindo novos parâmetros às regulamentações.

Além disto, foi possível identificar o papel fundamental da modelagem dos objetos relacionados aos espaços das edificações e o predomínio da baixa complexidade em situações possíveis para a tradução dos requisitos em regras lógicas.

É evidente que os resultados indicam que nem todos os requisitos obtidos a partir de regulamentações podem ser completamente traduzidos para regras lógicas, com o intuito de processamento e verificação automatizados. Isso limita o grau de automatização no processo de verificação de

conformidades e não-conformidades destes projetos. No entanto, com base na avaliação das regulamentações, percebe-se que um cenário não totalmente automatizado pode ser benéfico ao contexto de projetos hospitalares. Isso se deve ao fato de que a conformidade com alguns dos requisitos depende de certo nível de subjetividade (independentemente de reestruturação do requisito), que, por sua vez, depende de interpretação humana para que sejam plenamente considerados nestes projetos. Assim, é evidente que o desejo pela automatização deve estar relacionado à atividades repetitivas, de modo a utilizar a criatividade e inovação humanas para soluções e verificações não-triviais.

A partir da aplicação de requisitos potencialmente traduzíveis em regra parametrizada no Solibri Model Checker®, pode-se perceber que existem limitações importantes na ferramenta. Eastman et al. (2009) afirmam que esta ferramenta destaca-se pela verificação de requisitos de acessibilidade e verificação do programa espacial. De modo geral, foi possível confirmar o exposto pelos referidos autores, com algumas exceções, descritas no item 5.4.

O processo de verificação, contudo, mostrou-se de difícil execução em determinadas situações. Isso se deve ao fato de que, muitas vezes, não é possível determinar se a regra já parametrizada verifica exatamente o que foi determinado pelo usuário. Foi observado o efeito 'caixa-preta' no processo de verificação, já relatado pela literatura (LEE et al., 2016; PREIDEL; BORRMANN, 2016; SOLIHIN; EASTMAN, 2016). Isso se deve ao fato de que foram inseridas informações verificáveis e foi retornado somente um resultado positivo, negativo ou neutro. Nesse sentido, o *software* deveria incorporar um módulo que permitisse ao usuário observar a rotina lógica de programação dentro de cada regra, de modo a tornar possível determinar onde se encontra um problema quando a regra se mostra inconsistente ou não-funcional. Além disso, esse processo permitiria compreender o que exatamente determinada regra seria capaz de verificar. Ao longo do desenvolvimento da verificação, muitas vezes foi necessário forçar o erro (tanto na modificação de parâmetros nas regras do *software*, quanto na modificação de elementos do modelo BIM 3D), com o intuito de observar se a regra verificaria aquilo que lhe foi solicitado.

A aplicação da verificação automatizada no Solibri® permitiu, ainda, identificar como ocorrem alguns dos processos de transformação da informação regulamentar. Este fato possibilitou compreender a importância dos processos de interpretação em um contexto de verificação regulamentar de projetos hospitalares e os associados impactos, positivos e negativos.

A partir da análise destas contribuições individuais bem como do contexto no qual foi realizado o estudo, foi possível compreender a importância da taxonomia dos requisitos envolvidos em verificações regulamentares de projetos hospitalares e os processos de transformação, interpretação e de tradução da informação associados. Estas contribuições serviram como base para o desenvolvimento do artefato da pesquisa. A discussão sobre estes tópicos, bem como sobre o *framework* resultante desta pesquisa, será apresentada no capítulo que segue.

6 FRAMEWORK PARA SUPORTE À VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DE REQUISITOS

Esta seção apresenta o artefato desenvolvido nesta pesquisa. Primeiramente é apresentada uma visão geral do *framework* e o correspondente escopo de utilização. Em seguida, as contribuições teóricas deste *framework* são apontadas. Então, o *framework* é apresentado em mais detalhe, sendo definidos cada um de seus módulos. Então, é realizada uma análise crítica do artefato, de acordo com os critérios de avaliação definidos.

6.1 VISÃO GERAL DO FRAMEWORK

A Figura 44 apresenta esquematicamente a versão final do artefato da pesquisa, o *framework* para suporte à verificação automatizada de requisitos regulamentares. O *framework* está estruturado em quatro grandes módulos: (i) fases; (ii) processamento interno; (iii) elementos taxonômicos; além de (iv) um módulo que relaciona os conceitos abordados com as macro-etapas específicas relacionadas à verificação e aprovação de projetos de edificações hospitalares.

Ao longo do desenvolvimento do estudo empírico, as relações estabelecidas entre os elementos do *framework* foram sendo identificadas e definidas. Dessa forma, as bases fundamentais da construção destas relações dizem respeito às taxonomias observadas ao longo da classificação de regulamentações e às transformações da informação ao longo da conversão de regulamentações em regras lógicas parametrizáveis para fins de verificação, desenvolvidas sob uma abordagem semântica.

O módulo principal, denominado fases, diz respeito aos três grandes tipos de requisitos observados ao longo do processo de transformação da informação de caráter regulamentar em um contexto de verificação automatizada de requisitos: (i) requisito regulamentar; (ii) requisito explícito; e (iii) requisito codificado. O segundo módulo, denominado processamento interno, compreende os processos de transformação da informação envolvidos na tradução da informação semântica entre as diferentes fases do módulo principal. O terceiro módulo, denominado elementos taxonômicos, está relacionado aos outros dois módulos no que diz respeito à definição dos principais componentes taxonômicos associados às três fases. Dessa forma, este terceiro módulo serve como suporte à compreensão dos demais elementos do *framework*. Ainda, um quarto módulo relaciona os demais módulos com a verificação automatizada de requisitos, de modo a identificar importantes relações entre as macro-etapas de verificação e os demais elementos do *framework*.

Com base nos elementos definidos no *framework*, uma vez que a regulamentação ou normativa são identificadas, pode-se obter, a partir do conteúdo das mesmas, o requisito regulamentar. A informação semântica deste requisito regulamentar pode ser traduzida em termos de requisito explícito, com a utilização de uma linguagem lida por humanos e computadores, por meio de atividades de classificação (TP1).

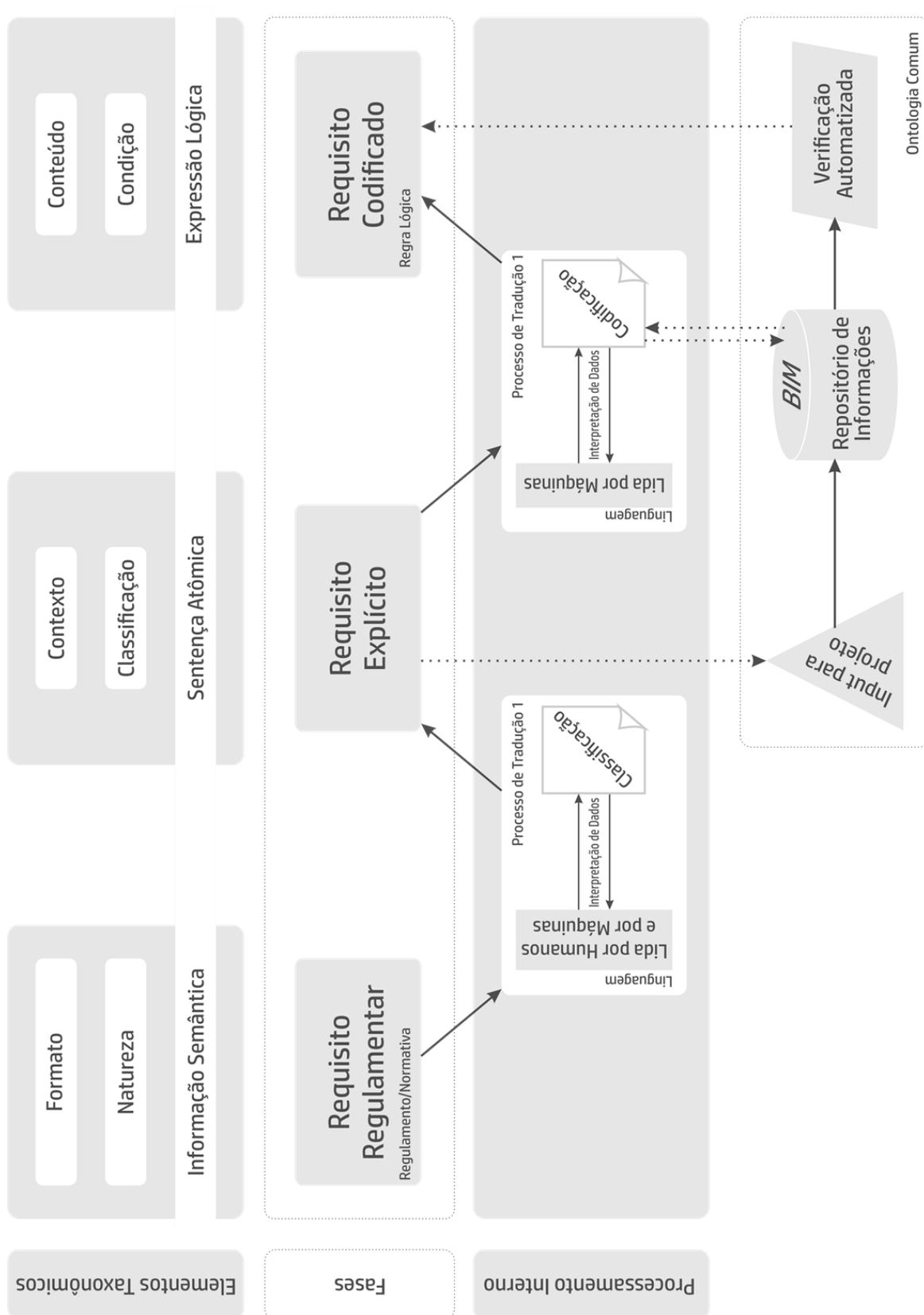
O requisito explícito, que serve como suporte às definições dos atributos de projeto, pode ser transformado em requisito codificado com a utilização de linguagens lidas por computador, por meio de atividades de codificação, associadas ao desenvolvimento de um repositório de informações baseado em BIM. Este requisito codificado, então, pode ser aplicado para fins de verificação automatizada de requisitos, caso uma ontologia comum seja observada entre estes processos (TP2). Neste estágio, é fundamental a utilização de um padrão para a troca de informações, como o IFC.

Para cada um dos elementos do módulo fases, existem elementos taxonômicos relacionados. Dessa forma, os requisitos regulamentares estão relacionados à origem da informação semântica, sendo que o formato e a natureza destes requisitos condicionam a captura desta informação. No elemento seguinte, requisito explícito, a informação semântica pode auxiliar à definição da sentença atômica, no que se relaciona ao contexto e às classificações dos requisitos. Então, a definição da sentença atômica permite o desenvolvimento de uma expressão lógica, relacionada ao requisito codificado por meio de elementos que expressam critérios de condição e de conteúdo para serem verificados.

6.2 ESCOPO DE APLICAÇÃO DO *FRAMEWORK*

O *framework* pode ser utilizado por usuários finais de sistemas automatizados (equipes de projeto, por exemplo), para fins de múltiplas verificações, pois permite que esta abordagem seja replicada ao longo do processo de projeto em uma ferramenta de verificação comercial, além de fornecer suporte à modelagem de requisitos. Este *framework* define um conjunto de atividades estruturadas que podem auxiliar na verificação de requisitos regulamentares ao longo do processo de projeto. Além disso, a utilização do *framework* por instituições regulamentadoras públicas ou privadas permite o desenvolvimento de novos conjuntos de regulamentações, ou a edição e atualização de conjuntos e normativas existentes. As regulamentações então, poderiam ser inicialmente desenvolvidas para fins de verificação automatizada, de acordo com a abordagem de transformação da informação semântica. Ainda, desenvolvedores de *software* ou *plugins* podem utilizar o exposto pelo *framework* para desenvolvimento de novas ferramentas baseadas em BIM. Dessa forma, novas soluções comerciais podem ser desenvolvidas sob a perspectiva da transformação da informação semântica.

Figura 44 – Framework para suporte à verificação automatizada de requisitos regulamentares



(fonte: elaborado pelo autor)

6.3 CONTRIBUIÇÃO TEÓRICA DO *FRAMEWORK*

A principal contribuição teórica desta pesquisa diz respeito às conceptualizações desenvolvidas, aos elementos taxonômicos identificados, às transformações da informação associadas e às relações estabelecidas entre estes itens. Os três principais constructos (requisito regulamentar, requisito explícito, e requisito codificado) foram construídos ou adaptados com base nas observações e *insights* ao longo da construção do artefato, bem como a partir de entendimentos sobre os conceitos explorados na revisão bibliográfica, que também auxiliaram a adaptação de demais conceptualizações existentes. Esta é uma das principais contribuições desta pesquisa, na medida que diz respeito ao desenvolvimento e à adaptação destes constructos ao contexto da verificação automatizada regulamentar de projetos hospitalares. Esta adaptação fez com que outros importantes elementos do *framework* emergissem, relacionados aos processos de transformação da informação e aos elementos taxonômicos associados.

A Figura 45 apresenta os principais constructos representados no *framework*, bem as definições previamente concebidas, para algumas delas, com base na revisão bibliográfica. As novas conceptualizações indicam modificações nas definições prévias, para fins de adaptação dos conceitos abordados ao contexto do *framework*, ou novas definições para situações nas quais não existiam definições anteriores. As novas conceptualizações dizem respeito aos Requisitos Codificados e aos Processos de Tradução, ao passo que as demais contribuições estão associadas a adaptações de conceitos e entendimentos já existentes, relatadas ao longo dos capítulos anteriores, como as definições iniciais para Requisito Regulamentar (KAMARA; ANUMBA; EVBUOMWAN, 2000) e Requisito Explícito (GUTMAN, 1982; KAMARA; ANUMBA; EVBUOMWAN, 2000), ambas discutidas na seção 1.2, Informação Semântica (CHEN; VERNADAT, 2003; FLORIDI, 2005; ZHANG; EL-GOHARY, 2015), apresentada na seção 3.2, Sentença Atômica (LEE et al., 2016; PARK; LEE; LEE, 2016), discutida na seção 3.2 e Ontologia (NAWARI, 2009), na seção 2.4.

Outra contribuição desta pesquisa diz respeito à definição de que a informação semântica na entrada (Requisito Regulamentar) difere da saída (Requisito Explícito) somente em formato e linguagem utilizados para sua representação, devido à transformação da informação. É por esta razão que todas as três grandes fases do *framework* são baseadas na mesma terminologia (requisito).

Nesse sentido, os benefícios da aplicação prática do *framework* também emergem como potenciais contribuições teóricas, pois estão associados a: (i) possibilidade de múltiplas verificações, de acordo com o andamento do processo de projeto e as definições relacionadas, o que demanda a utilização de

práticas baseadas na colaboração; (ii) desenvolvimento ou edição e atualização de conjuntos de regulamentações, pois permite a definição das informações contidas em regulamentações de forma a torná-las mais facilmente verificáveis de forma automatizada; e (iii) o desenvolvimento de novas linguagens ou ferramentas de verificação automatizada comerciais, baseados na utilização do *framework* proposto.

A Figura 46 apresenta, ainda, uma visão geral dos elementos do *framework*, que estão associados: (i) aos módulos e elementos, que foram baseados nos principais constructos propostos, adaptados ou utilizados neste estudo; e (ii) às relações fundamentais e conexões entre eles. O entendimento destas relações é fundamental para a compreensão do *framework* e a consequente utilização do mesmo.

Figura 45 – Definição de constructos representados no *framework*

Constructo	Definição Existente	Proposta de Nova Conceptualização Aplicada ao Contexto da Verificação Automatizada Regulamentar
Requisito Regulamentar	São regulamentos, normas e leis relacionados ao projeto, à obra, ao planejamento, à saúde e à segurança, além de outros requisitos legais que influenciam a aquisição, existência, operação e demolição do empreendimento (KAMARA; ANUMBA; EVBUOMWAN, 2000).	Requisitos Regulamentares representam a origem da informação a ser processada, em um contexto de verificação automatizada regulamentar de projetos.
Requisito Explícito	Os requisitos correspondem às funções, atributos e outras características do produto ou serviço, as quais são requeridas por um cliente (KAMARA; ANUMBA; EVBUOMWAN, 2000), podendo ser concretos ou abstratos (GUTMAN, 1982)	Os Requisitos Explícitos correspondem à informação concreta ou abstrata, visível para armazenamento, organização e utilização nas definições de projeto.
Requisito Codificado	–	Os Requisitos Codificados representam a informação semântica estruturada de forma lógica para fins de codificação e desenvolvimento de regras de verificação.
Processos de Tradução	–	Os processos de tradução da informação são aqueles que transformam a informação semântica por meio de atividades de classificação ou de codificação.
Informação Semântica	A informação semântica “tem como objetivo capturar os significados de um domínio ou tópico específico [...] de forma estruturada” (ZHANG; EL-GOHARY, 2015). “Conjunto de dados estruturados, confiáveis e com significado” (FLORIDI, 2005).	Informação semântica é a um conjunto dados processados, estruturados e dotados de significado.
Sentença Atômica	“Uma sentença declarativa que é somente verdadeira ou falsa e não pode ser simplificada em outras sentenças menores” (LEE et al., 2016). São as unidades mínimas de verificação automatizada e são compostas pela estrutura SVO (sujeito – verbo – objeto) (PARK; LEE; LEE, 2016).	Sentença atômica é a forma mais reduzida para expressar uma sentença sem a perda de informação semântica.
Ontologia	“Um modelo baseado em conhecimento que representa um domínio, utilizado para compreender um objeto neste domínio e as relações entre eles” (NAWARI, 2009).	A Ontologia é um meio comum entre os objetos de um modelo, as informações a eles vinculadas e as interfaces de utilização, visualização e transformação da informação.

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 46 – Relações e conexões entre os elementos do *framework*

Módulo do Framework	Elemento do Framework	Relações fundamentais e conexões entre os elementos
Fases	Requisito Regulamentar	Requisito Regulamentar é a origem da Informação Semântica , sendo definida com base no Formato e Natureza das regulamentações
	Requisito Explícito	Requisito Explícito é obtido a partir do Processo de Tradução 1 (TP1) do Requisito Regulamentar
	Requisito Codificado	Requisito Codificado é obtido a partir do Processo de Tradução 2 (TP2) do Requisito Explícito
Processamento Interno	Processo de Tradução 1 (TP1)	O TP1 é responsável por transformar a Informação Semântica , por meio de processos de classificação
	Processo de Tradução 2 (TP2)	O TP2 é responsável por transformar a Informação Semântica , por meio de processos de codificação
Elementos Taxonômicos	Formato	Formato é entendido como o meio de apresentação da regulamentação, associado à compreensão do Requisito Regulamentar
	Natureza	Definir a Natureza é compreender como a Informação Semântica é taxonomicamente incorporada à regulamentação. Sua determinação relaciona-se aos TP1 e TP2
	Informação Semântica	Informação semântica é a um conjunto dados processados, estruturados e dotados de significado.
	Contexto	A compreensão do Contexto de cada regulamentação, permite a manutenção da incorporação da Informação Semântica ao Requisito Explícito de forma consistente
	Classificação de Requisitos	Requisitos Explícitos devem ser Classificados em categorias e estruturas hierárquicas
	Sentença Atômica	A Sentença Atômica é obtida a partir da Informação Semântica e pode originar a Expressão Lógica
	Conteúdo	Conteúdo é a parte da Sentença Atômica relacionada ao seu significado
	Condição	Condição é a definição dos critérios que o Conteúdo de uma Sentença Atômica deve satisfazer para fins de conformidade
	Expressão Lógica	A Expressão Lógica parte da Sentença atômica , e é formada fundamentalmente por Conteúdo e Condição , podendo dar origem ao Requisito Codificado
	Ontologia Comum	A Ontologia é um meio comum entre os objetos de um modelo, definidos a partir do Requisito Explícito , e as informações vinculadas ao Requisito Codificado

(fonte: elaborado pelo autor)

6.4 DESCRIÇÃO DETALHADA DO *FRAMEWORK*

6.4.1 Framework: Fases

A parte mais importante deste *framework* está associada à compreensão sobre a natureza dos requisitos regulamentares e como eles podem ser modelados e transformados a partir das normativas, códigos e conjuntos de regulamentações. A informação é originada a partir das regulamentações e demais documentos normativos (**fase A – Requisito Regulamentar**); então, ela pode ser explicitada, tornando-se um requisito visível para armazenamento, organização e utilização no projeto (**fase B – Requisito Explícito**); finalmente, os dados podem ser agrupados e verificados de forma lógica, por meio do uso de regras lógicas e parametrizáveis e *software* ou ferramentas de suporte, o que representa a **fase C – Requisito Codificado**.

6.4.2 *Framework*: Processamento Interno de Dados

A informação semântica em cada uma das fases exploradas no item anterior se mantém constante, sendo que a forma de apresentação pode variar, de acordo com as características de cada uma delas. Dessa forma, o processamento interno de dados neste *framework* permite observar como a informação semântica é transformada sem a perda ou modificação de dados. Com base nesta análise, é possível compreender como a informação semântica é transportada ao longo das fases principais e como ocorre sua transformação e tradução. Dois grandes estágios de tradução foram identificados e eles representam a transferência de informação dos requisitos de uma fase para a outra. O primeiro processo de tradução é definido entre a fase A (Requisito Regulamentar) e a fase B (Requisito Explícito), e é denominado **TP1**. O segundo processo de tradução é identificado entre a fase B (Requisito Explícito) e fase C (Requisito Codificado), denominado **TP2**. Eles são apresentados com base na linguagem observada em cada uma das fases, bem como nas principais atividades associadas à interpretação de dados e ao processo de transformação da informação. Na Figura 47 é exemplificada uma regulamentação da Resolução RDC nº 50 (item original 4.6.6) de acordo com cada um dos formatos observados.

Figura 47 – Fases principais do *framework*: exemplo da Resolução RDC nº 50

1. Requisito Regulamentar

4.6.6 Posto de enfermagem e serviços do centro cirúrgico:

Deve existir 1 sala a cada 12 leitos de recuperação pós-anestésica, com área mínima igual a 6,0m² contendo as instalações de água fria, ar comprimido, sistema elétrico de emergência.

2. Requisito Explícito

2.1 Deve existir 1 posto de enfermagem e serviços a cada 12 leitos de recuperação pós-anestésico centro cirúrgico;

2.2 A área mínima do posto de enfermagem e serviços no centro cirúrgico é igual a 6,0 m²

2.3 O posto de enfermagem deve conter as instalações de água fria, ar comprimido, sistema elétrico de emergência.

3. Requisito Codificado

```

3.1 SpaceCount (PostoEnfermagem)
{IF (Object (LeitoRecuperacao) AND Space (PostoEnfermagem) are found,
    THEN return {IF (SpaceCount (PostoEnfermagem) >=
        (ObjectCount (LeitoRecuperacao) / 12)
            THEN return TRUE
            END IF}
        END IF}

3.2 SpaceArea (PostoEnfermagem)
{IF Space (PostoEnfermagem) is found,
    THEN return {IF (SpaceArea (PostoEnfermagem) >= 6)
        THEN return TRUE
        END IF}
        END IF}

3.3 Space (PostoEnfermagem)
{IF (Space (PostoEnfermagem) AND Object (AguaFria) AND
    Object (ArComprimido) AND Object (EletricaEmergencia) are found,
    THEN return {IF ((Object (AguaFria) AND
        Object (ArComprimido) AND Object (EletricaEmergencia))
        are contained in (Space (PostoEnfermagem)
            THEN return TRUE
            END IF}
            END IF}

```

(fonte: elaborado pelo autor)

6.4.2.1 Processo de Tradução 1 (TP1)

O processo que traduz informações da fase de requisitos regulamentares em requisitos explícitos é predominantemente composto por atividades de classificação. O ato de classificar dados permite a definição de uma hierarquia de requisitos, como a hierarquia proposta por Kiviniemi (2005). Esta classificação permite, ainda, tornar os requisitos visíveis, organizados, armazenáveis e possíveis de serem rastreados. A linguagem observada durante este processo é tanto lida por humanos quanto por computadores. A Figura 47 exemplifica este processo, ao passo que permite observar como um requisito regulamentar apresenta informações de naturezas e categorias diversas. Dessa forma, o TP1 permite a organização e separação dos diferentes requisitos que podem existir em uma regulamentação, tornando-os visíveis e armazenáveis.

6.4.2.2 Processo de Tradução 2 (TP2)

A tradução de requisitos explícitos em requisitos codificados exige esforços relacionados à transformação de informações escritas e lidas por humanos em dados que devem ser escritos e lidos por computador. Sob a perspectiva do processamento interno de dados, a interpretação da informação somente pode ser feita por computador, e todas as principais atividades envolvidas estão relacionadas à codificação de dados. Quando os requisitos são apresentados em formato codificado, é esperado que eles possam ser visualizados e traduzidos em regras lógicas potencialmente parametrizáveis, que podem ser aplicadas, posteriormente, a sistemas de verificação automatizada de regras. A Figura 47 demonstra este processo de tradução, ao passo que utiliza uma forma lógica extremamente simplificada para transformar os requisitos explícitos em requisitos codificados. Em cada um destes requisitos é possível identificar elementos que expressam condições (atribuídos pelo elemento *IF*) e elementos que expressam o conteúdo a ser verificado.

6.4.3 *Framework*: Módulo de Interação entre Fases e Processamento Interno

Existe uma importante interação entre as principais fases do *framework* e o processamento interno de dados, representado pelo quarto módulo do *framework*. Esta interação diz respeito às relações do *framework* com macro etapas da verificação da conformidade e aprovação de projetos de edificações hospitalares. Os requisitos explícitos servem como *input* de informações para suporte aos processos de tomada de decisão ao longo do processo de projeto destes empreendimentos. Para fins de verificação automatizada, os projetos são construídos de acordo com a uma abordagem baseada em BIM, que permite a criação de um repositório de informações estruturadas, com a utilização de algum padrão de classificação da informação, como o IFC. Os dados armazenados em um modelo BIM estão fortemente relacionados aos processos de codificação e tradução da informação. Devido a isso, emerge a necessidade de ontologias e classificações no modelo convergentes. Dessa forma, esse módulo assegura que o processo de verificação automatizada de regras depende dos requisitos codificados e de ontologias comuns estabelecidas entre a informação semântica dos requisitos, o modelo 3D e as interfaces de verificação automatizada.

6.4.4 *Framework*: Elementos Taxonômicos

Além das fases principais e do processamento interno de dados, existem importantes elementos taxonômicos relacionados à estrutura principal deste *framework*. Estes elementos auxiliam a compreender as importantes classificações relacionadas a cada fase, bem como os principais

componentes associados a elas, e como eles se relacionam entre si. A seguir, cada um destes elementos é discutido:

6.4.4.1 Informação Semântica

Informações estruturadas, com significado no contexto ao qual são aplicadas, são observados como uma saída da fase A, na qual devem ser extraídas as informações fundamentais associadas aos requisitos regulamentares, tornando-as disponíveis para a fase seguinte. Esta taxonomia está associada aos elementos: (i) formato; e (ii) natureza.

Formato

Representa como as regulamentações são apresentadas aos usuários e como esta decisão pode afetar a compreensão dos conteúdos associados a elas (por exemplo: gráficos, elementos textuais, tabelas, esquemas, croquis, exemplos de projetos, imagens etc.).

Natureza

Compreender como a informação é implicitamente definida e inserida nos requisitos é entendido como definir a sua natureza. Neste *framework*, presume-se que a natureza pode ser qualitativa, quantitativa ou ambígua. Determinar a natureza dos requisitos regulamentares pode auxiliar a compreender como as regulamentações foram desenvolvidas, e está relacionado aos processos de transformação destas em regras lógicas.

6.4.4.2 Sentença Atômica

Neste *framework*, a sentença atômica origina os elementos mais importantes das expressões lógicas (na fase C), que são as estruturas de condição e de conteúdo. Um exemplo de sentença atômica, a partir do Requisito 1.3 (seção 5.3.1.1), “o posto de enfermagem ou prescrição médica deve conter instalação de água fria”. Como este constructo é uma saída da fase B, existem elementos importantes relacionados a ele que devem ser considerados: (i) classificação; e (ii) contexto.

Classificação de Requisitos Regulamentares

O processo de classificação está relacionado à distribuição e organização de requisitos em categorias, de acordo com uma estrutura hierárquica pré-definida, conforme sugerido por Kiviniemi (2005). Muitas vezes as regulamentações contêm requisitos distintos em categorias misturadas, como pode ser observado no primeiro item da Figura 47.

Contexto

Cada regulamentação é desenvolvida, e, posteriormente definida com base em um contexto específico. A compreensão deste elemento é importante porque ele permite que o processo de interpretação da informação não seja distorcido, fazendo com que os requisitos explícitos sejam consistentes, ou seja, sejam identificados, armazenados e utilizados de acordo com o contexto de aplicação de cada um. No caso desta pesquisa, um conjunto de regulamentações analisadas pertence ao contexto hospitalar e outra ao contexto normativo municipal.

6.4.4.3 Expressão Lógica

As expressões lógicas são construídas com base nas sentenças atômicas e correspondem aos requisitos codificados de forma funcional, devendo ser observadas como a taxonomia de saída da fase C. Para este processo, é desejável (mas não fundamental) um nível de formalização baseada em linguagem de programação. Tal processo, para fins de aplicação da verificação automatizada, nesta pesquisa, foi realizado sem tal formalização. Para estruturar tais expressões, existem elementos que devem ser considerados: (i) conteúdo; e (ii) condição.

Conteúdo

O conteúdo é o elemento da sentença formalizada que está relacionado ao significado da mesma. Usualmente esta parte da sentença é composta pelo sujeito e/ou pelo objeto da estrutura da sentença atômica (por exemplo, informações associadas aos objetos, propriedades e localizações).

Condição

Está associada ao conteúdo, e é usualmente relacionada ao verbo da estrutura da sentença atômica. A condição define os critérios que o conteúdo deve satisfazer (por exemplo, ausência/presença, maior/menor que, contém/não contém). Juntos, condição e conteúdo, formam a base da expressão lógica.

6.5 ANÁLISE CRÍTICA DO *FRAMEWORK*

A seguir, são descritas as principais informações obtidas junto às entrevistas realizadas, que contribuíram para a avaliação do *framework*, de acordo com os critérios de utilidade e aplicabilidade. Além das entrevistas, foram considerados no processo de avaliação do artefato *insights* do pesquisador ao longo do seu desenvolvimento e demais observações e entrevistas realizadas ao longo do estudo empírico. É importante destacar que como este *framework* foi um resultado emergente desta pesquisa, ele não foi devidamente aplicado a uma situação real, de modo que não foi possível o desenvolvimento de uma avaliação completa dentro das limitações de prazo da presente pesquisa. Ainda, as avaliações descritas a seguir tem como objetivo analisar a descrição de cada um dos critérios de acordo com as percepções gerais dos entrevistados.

6.5.1 Avaliação do Artefato: Constructo Utilidade

O constructo utilidade foi observado sob a perspectiva de identificar as principais contribuições do *framework* para suporte à melhoria do processo de verificação de regulamentações em projetos hospitalares, de acordo com os diferentes usuários-alvo. O constructo utilidade foi desdobrado em:

- a) **Explicitação da informação tridimensional e semântica:** a transformação da informação, evidenciada pelas fases do *framework* pode permitir tornar a informação explícita. Alguns dos entrevistados identificaram que poderiam ser melhor associados aspectos mais amplos da gestão de requisitos, por meio da proposição de sugestão de hierarquização na fase B, observando o comportamento das regulamentações já traduzidos quando submetidos a uma organização hierárquica, conforme sugerido por Kiviniemi (2005). A informação, de origem geométrica-tridimensional e semântica, proveniente do modelo virtual da edificação, torna-se crítica neste estágio, uma vez que esta precisa ser explícita, corretamente classificada, organizada e consistente. Por exemplo, a correta declaração do uso do *IfcSpace* é fundamental para uma verificação adequada.
- b) **Consistência ao longo do processo de modelagem e de verificação:** por meio da utilização do *framework* os dados podem se tornar mais consistentes se comparado à um processo tradicional, que é mais subjetivo e propenso a inconsistências. No entanto, isso não foi possível de ser plenamente avaliado nesta pesquisa. As etapas de modelagem e de verificação automatizada, realizadas ao longo do estudo empírico,

que serviram como fundamentação para o desenvolvimento do *framework*, indicaram que este deve se mostrar consistente para situações semelhantes.

- c) Precisão da verificação automatizada:** a precisão da verificação automatizada das regulamentações está diretamente relacionada à consistência das informações envolvidas, mas depende também dos fins disponíveis para a execução da verificação propriamente dita. Os entrevistados notaram que o *framework* apresentado sugere a definição de uma série de atividades objetivas e estruturadas. Isso permite que a verificação forneça resultados mais precisos, casos sejam utilizadas técnicas apropriadas, além de corretamente definidos sentença atômica e expressão lógica, por meio dos critérios de condição e de conteúdo. Contudo, é necessário melhor fazer uso de tolerâncias nas regulamentações, uma vez que em determinadas situações podem ser admitidos resultados dentro de um intervalo limitado de soluções. Ainda, foi sugerido explorar melhor o módulo relacionado à verificação, fazendo uso de diferentes ferramentas comerciais, com o intuito de observar se o comportamento do *framework* é constante.
- d) Abrangência da utilização do *framework* para requisitos de diferentes naturezas:** o *framework*, por ter sido construído com base em evidências de diferentes naturezas (requisitos qualitativos, quantitativos e ambíguos) deve apresentar abrangência de utilização adequada. Contudo, isso não foi possível de ser plenamente verificado devido à não aplicação do *framework* em caso real.
- e) Rastreabilidade da informação:** pelo fato de o *framework* explicitar e processar os dados que fazem parte das regulamentações, os entrevistados apontaram que as informações podem ser mais facilmente rastreáveis. A formalização da informação proveniente da aplicação do *framework* tende a aumentar a rastreabilidade dos dados.

6.5.2 Avaliação do Artefato: Constructo Aplicabilidade

O constructo aplicabilidade está relacionado à compreensão das regulamentações; criação ou edição de regras lógicas parametrizáveis e execução da verificação automatizada. Assim, este constructo foi desdobrado em:

- a) Facilidade de utilização do *framework* por diferentes usuários:** o *framework*, apresentado e explicado de acordo com a sua versão corrente, foi compreendido por grande parte dos entrevistados. Apesar de compreensão e utilização serem processos

distintos, este fato indica certa propensão à facilidade de utilização. O mesmo pode ser aplicado por um amplo conjunto de usuários, como projetistas de edificações, responsáveis pelas verificações regulamentares e instituições desenvolvedoras de regulamentações. Contudo, este critério de avaliação somente poderia ser completamente verificado por meio da aplicação do *framework* a uma situação real.

- b) **Tradução de informações regulamentares em regras lógicas:** os entrevistados apontaram que a tradução da informação acontece em situações tradicionais, porém não se trata de um processo formalizado e estruturado, conforme o que é sugerido pelo *framework*.
- c) **Transparência da informação no processo:** os entrevistados apontaram que a transparência envolvida em processos de verificação regulamentar tende a ser aumentada com a utilização do *framework*. Isso se deve à aplicação de uma série de atividades estruturadas que demandam a constante explicitação da informação envolvida. Processos mais transparentes geralmente estão associados a uma solução de maior utilidade, uma vez que permite maior rastreabilidade e precisão das informações envolvidas.

7 CONCLUSÕES

7.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A pesquisa teve como motivação a oportunidade de abordar um problema de natureza prática, relacionado à verificação de requisitos regulamentares em projetos hospitalares. Ao longo do desenvolvimento da pesquisa, percebeu-se que os esforços relacionados a este problema também estariam relacionados à teoria e às disciplinas relacionadas ao assunto. Dessa forma, a abordagem de pesquisa utilizada foi a DSR.

Este trabalho teve como objetivo principal a proposição de um *framework* (Figura 44) para suporte à verificação automatizada de requisitos regulamentares em projetos hospitalares por meio da utilização de uma abordagem semântica. O *framework* proposto emergiu ao longo do processo de pesquisa, e foi desenvolvido a partir das informações coletadas ao longo do desenvolvimento do estudo empírico em parceria com um projeto de expansão de um hospital, bem como dos processos de categorização de dois conjuntos de regulamentações, pertinentes a projetos hospitalares, e da aplicação prática da verificação automatizada de regras.

O estudo empírico permitiu observar como ocorreu o processo de aprovação de projeto de uma edificação hospitalar junto a uma instituição regulamentadora, e os consequentes impactos da situação de não conformidade das especificações de projeto às etapas de produção da edificação e de operação do ambiente construído. Ao longo deste estudo, a classificação de requisitos adotada permitiu compreender importantes aspectos relacionados a eles e como estas características podem impactar as transformações de informação para fins de verificação automatizada. Ainda, a aplicação da verificação automatizada para um conjunto de 14 requisitos regulamentares (Figura 14) com o suporte de *software*, demonstrou que as limitações observadas não dizem respeito somente à estrutura das regulamentações, mas também às próprias limitações das ferramentas utilizadas, o que corrobora algumas das limitações já identificadas pela literatura (LEE et al., 2016; PREIDEL; BORRMANN, 2016; SOLIHIN; EASTMAN, 2016). De modo geral, a condução deste estudo empírico permitiu compreender os fluxos de informação envolvidos em verificações regulamentares de projetos hospitalares, os processos de interpretação e de tradução associados, além das limitações atuais para estes desenvolvimentos.

A importância do *framework* proposto está relacionada à possível eliminação dos problemas relacionados às atividades envolvidas em processos de verificação tradicionais, que tendem a ser

informais e propensas ao erro. Dessa forma, a necessidade de formalização das informações demonstrou ter um impacto positivo na viabilidade da utilização da verificação automatizada para requisitos regulamentares. De modo geral, o desenvolvimento deste *framework* auxiliou a definir algumas importantes taxonomias relacionadas às suas fases. A compreensão destes elementos parece ser de grande relevância, uma vez que eles possuem impactos diretos na aplicação de sistemas de verificação automatizada. A definição dos constructos associados ao *framework* permitiu definir as principais relações observadas ao longo das transformações da informação em situações de verificação regulamentar. Ainda, neste *framework* foram exploradas as relações entre a verificação automatizada, BIM e dados regulamentares, uma vez que BIM fornece meios para uma ontologia comum, e pode servir como um repositório de informações consistentes, tanto para geometrias, propriedades, parâmetros e regras.

A estruturação do *framework* se apoiou em três constructos principais: requisito regulamentar; requisito explícito e requisito codificado. A transformação da informação entre cada uma destas fases está associada a um processamento de dados para fins de transformação da informação. Os processos de tradução, por sua vez, são baseados em atividades de categorização e de codificação da informação, além de uma parcela de interpretação de dados (inerente ao processo em si). Esta abordagem permite identificar os requisitos regulamentares, tornando-os requisitos codificados, expressos por meio de sentenças lógicas. As principais contribuições teóricas deste estudo, portanto, estão relacionadas às taxonomias e às transformações da informação em cada uma destas três fases, bem como às relações entre os constructos a elas associados.

É importante destacar que este *framework* apresenta três tipos de produtos da *design science research*, de acordo com o exposto por March e Smith (1995), o que é indicado na Figura 48. Cada um destes produtos diz respeito a uma contribuição desta pesquisa.

O primeiro objetivo específico deste trabalho consistiu em “mapear a categorizar regulamentações pertinentes a projetos de empreendimentos hospitalares”. A proposta para atingir este objetivo foi desenvolver uma análise em profundidade de dois conjuntos de regulamentações pertinentes a projetos hospitalares: Resolução RDC nº 50 e Código de Edificações do Município de Porto Alegre/RS. O processo de categorização adotado para os dois conjuntos de regulamentações foi o mesmo, e consistiu em identificar todos os requisitos destas regulamentações, e classificá-los quanto: (i) natureza quantitativa, qualitativa ou ambígua; (ii) possibilidade de tradução em regras lógicas potencialmente parametrizáveis; (iii) qual seria o objeto no modelo virtual da edificação que estaria mais relacionado ao requisito em questão; e (iv) os requisitos possíveis de serem traduzidos em regras lógicas

parametrizadas foram classificadas de acordo com as *Classes de Regras Paramétricas* (SOLIHIN; EASTMAN, 2015). Este processo permitiu compreender a origem dos requisitos e como a informação contida nas regulamentações pode impactar a possibilidade de obtenção de um requisito codificado, por meio de transformação da informação.

Figura 48 – As saídas da DSR e o *framework* desenvolvido

Saídas da DSR (MARCH; SMITH, 1995)	<i>Framework</i>
Solução (modelo conceitual)	<i>Framework</i> para suporte à verificação automatizada de requisitos regulamentares em projetos hospitalares
Constructos	Elementos conceituais representados no <i>framework</i> (Figura 45) e as relações entre os elementos identificadas na Figura 46
Método	(1) Sequência estabelecida entre as fases principais do <i>framework</i> (2) Quarto módulo do <i>framework</i> , relacionado à aplicação da verificação automatizada

(fonte: elaborado pelo autor)

Foi identificado que nem todos os requisitos regulamentares podem ser completamente traduzidos em regras lógicas. No entanto, percebe-se que um cenário não totalmente automatizado pode ser benéfico ao contexto de projetos hospitalares. Isso se deve ao fato de que o atendimento e conformidade de alguns dos requisitos depende de certo nível de subjetividade (independentemente de reestruturação do requisito), que por sua vez, depende de interpretação humana para que sejam plenamente considerados nestes projetos. Assim, é evidente que o desejo pela completa automatização, em um cenário de verificação regulamentar de projetos hospitalares, deve estar relacionado à atividades repetitivas, de modo a utilizar a criatividade e inovação humanas para soluções e verificações não-triviais.

O segundo objetivo específico, “compreender o papel da semântica na tradução de dados para verificação automatizada de requisitos, no que se relaciona com BIM e codificação da informação” está alinhado com os esforços do grupo FIATECH, por meio do desenvolvimento do projeto *AutoCodes*. O mapeamento dos requisitos baseados na transformação da informação semântica pareceu ser uma metodologia interessante para fornecer suporte ao gerenciamento de requisitos. Isso se deve ao fato de que esta abordagem promoveu maior compreensão de aspectos como natureza e conteúdo dos requisitos, além de torna-los, obrigatoriamente, explícitos. A partir disso foi possível atingir o terceiro

objetivo específico, “promover uma reflexão a partir do uso de abordagens semânticas para o desenvolvimento ou aprimoramento de ferramentas de verificação automatizada de regras em modelos de edificações baseados em BIM”, que diz respeito às avaliações decorrentes do desenvolvimento do artefato principal desta pesquisa.

As análises conduzidas relacionadas aos processos de classificação demonstraram a importância da consideração da taxonomia na solução. A tipologia da informação contida nas regulamentações está diretamente relacionada à possibilidade de tradução do requisito regulamentar em requisito codificado. Isso permite inferir que a forma como os códigos normativos e conjuntos de regulamentações são desenvolvidos, e as características e classificações implicitamente definidas na sua origem, comprometem o desenvolvimento geral de sistemas de verificação automatizada, uma vez que os processos de tradução envolvidos dizem respeito somente às informações neles contidas. Este fato reitera o exposto por Beach et al. (2015), referente a uma mudança de paradigmas na forma como as regulamentações deveriam ser escritas, uma vez que a documentação lida e interpretável por humanos deveria ser tratada como uma saída (*output*) dos códigos, originalmente desenvolvidos para fins de verificação automatizada.

Por fim, conclui-se que o desenvolvimento do artefato desta pesquisa, baseado em uma abordagem de transformação da informação semântica, pode contribuir para auxiliar o desenvolvimento de sistemas de verificação automatizada no contexto de projetos hospitalares. Isso é devido à melhor compreensão das atividades envolvidas em processos de verificação regulamentar, e suas consequentes formalizações, além da percepção de que informações estruturadas e com significado são fundamentais para o sucesso destes projetos. Assim, esta pesquisa fornece evidências da importância da abordagem semântica, das taxonomias, transformações de informação e dos fluxos associados, no processo de projeto de edificações, especialmente em situações complexas, como a observada no contexto de projetos hospitalares.

7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nas atividades realizadas, sugerem-se as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- a) Aplicar o *framework* a uma situação real, considerando também as demais regulamentações associadas a projetos no contexto hospitalar, verificando a possibilidade de utilização de regulamentações internacionais.
- b) Após a aplicação em caso real, avaliar e refinar o *framework* quanto à eventuais necessidades de modificação.
- c) Explorar a utilização do *framework* para outros contextos, diferentes do qual ele foi inicialmente desenvolvido (projetos hospitalares), com o intuito de observar o seu comportamento e melhor avaliar o constructo utilidade, por meio do critério de abrangência de utilização.
- d) Avaliar a existência de mais relações entre os elementos taxonômicos do *framework*, com o objetivo de identificar novas relações e situações de interdependência.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução – RDC nº 50**, 2002.

ARAYICI, Y. et al. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. **Automation in Construction**, v. 20, n. 2, p. 189–195, 2011.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Decreto Nº 23.430 - Regulamento que dispõe sobre a promoção, proteção e recuperação da Saúde Pública**, 1974.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9050:2015 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**, 2015.

AZHAR, S. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. **Leadership and Management in Engineering**, v. 11, n. 3, p. 241–252, uzt. 2011.

AZIZ, Z.; TEZEL, A. Lean and BIM – A Synergistic Relationship. **Construction Excellence**, v. 2016, n. 1, p. 40, 2016.

BALDAUF, J. P. et al. Gestão de requisitos com apoio de tecnologias BIM em empreendimentos hospitalares. **Anais [do] 9o Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção e 6o Encontro Latino Americano de Gestão e Economia da Construção: novos modelos e abordagens para gestão das construções em países Ibero-americanos (SIBRAGEC ELAGEC 2015)**, p. 536–544, 2015.

BARRETT, P.; HUDSON, J.; STANLEY, C. Good practice in briefing: the limits of rationality. **Automation in Construction**, v. 8, n. 6, p. 633–642, abz. 1999.

BEACH, T. H. et al. A rule-based semantic approach for automated regulatory compliance in the construction sector. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 12, p. 5219–5231, 2015.

BHATT, M.; HOIS, J.; KUTZ, O. Ontological modelling of form and function for architectural design. **Applied Ontology**, v. 7, n. 3, p. 233–267, 2012.

BIMFORUM. **Level of Development Specification**, 2016.

CHELLAPPA, J. R. **BIM + healthcare: utilization of BIM in the design of a primary healthcare project**. [s.l.] University of Hawai'i, 2009.

CHELLAPPA, J. R.; PARK, H. H.-J. BIM + healthcare: on the view of a primary healthcare renovation project. **CAAD's New Frontiers: Proceedings of the 15th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia**, n. December, p. 293–302, 2010.

CHEN, C. et al. Benefits of Implementing Building Information Modeling for Healthcare Facility Commissioning. 2011.

CHEN, D.; VERNADAT, F. B. Enterprise Interoperability: A Standardisation View. In: KOSANKE, K. et al. (Arg.). **Enterprise Inter- and Intra-Organizational Integration**. Boston, MA: Springer US, 2003. v. 108p. 273–282.

DIMYADI, J.; PAUWELS, P.; AMOR, R. Modelling and accessing regulatory knowledge for computer-assisted compliance audit. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 21, n. July, p. 317–336, 2016.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2008.

EASTMAN, C. et al. Automatic rule-based checking of building designs. **Automation in Construction**, v. 18, n. 8, p. 1011–1033, 2009.

EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2nd. arg. [s.l.] Wiley, 2011.

EDER, S. et al. Estudo das práticas de gerenciamento de projetos voltadas para desenvolvimento de produtos inovadores. **Produto & Produção**, v. 13, n. 1, 2012.

ENACHE-POMMER, E. et al. **A Unified Process Approach to Healthcare Project Delivery: Synergies between Greening Strategies, Lean Principles, and BIM**. Construction Research Congress 2010. **Anais...**Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 4 mai. 2010Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41109%28373%29138>>

FENG, P. P.; TOMMELEIN, I. D. **Causes of Rework in California Hospital Design and Permitting: Augmenting an Existing Taxonomy**. (Y. Cuperus, E. H. Hirota, Arg.)17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais...**Taipei: 2009Disponível em: <<http://www.iglc.net/papers/details/633>>

FIATECH. **AutoCodes project: phase 1, proof-of-concept final report**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.fiatech.org/images/stories/techprojects/project_deliverables/Updated_project_deliverables/AutoCodesPOCFINALREPORT.pdf>.

FIATECH. **AutoCodes Phase II Report**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.fiatech.org/images/stories/projects/FiatechAutoCodesPh2-Report-Sept2015.pdf>>.

FLORIDI, L. Is Semantic Information Meaningful Data? **Philosophy and Phenomenological Research**, v. 70, n. 2, p. 351–370, martx. 2005.

GARBER, R. **BIM Design: Realising the Creative Potential of Building Information Modelling**. Chichester, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, Inc., 2014.

GUTMAN, J. A Means-End Chain Model Based on Consumer Categorization Processes. **Journal of Marketing**, v. 46, n. 2, p. 60–72, 1982.

HARDIN, B.; MCCOOL, D. **Bim and construction management: proven tools, methods, and workflows, second edition**. Second ed. Indianapolis, IN: John Wiley and Sons, 2015.

HJELSETH, E. Classification of BIM-based Model checking concepts. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 21, n. October, p. 354–370, 2016.

HOLMSTRÖM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A.-P. Bridging Practice and Theory : A Design Science Approach. **Decision Science**, v. 40, n. 1, p. 65–87, 2009.

JALLOW, A. K. et al. An empirical study of the complexity of requirements management in construction projects. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 21, n. 5, p. 505–531, 2014.

JIANG, L.; LEICHT, R. M. Supporting automated Constructability checking for formwork construction: An ontology. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 21, n. October, p. 456–478, 2016.

KAMARA, J. M.; ANUMBA, C. J. ClientPro: a prototype software for client requirements processing in construction. **Advances in Engineering Software**, v. 32, p. 141–158, 2001.

KAMARA, J. M.; ANUMBA, C. J.; EVBUOMWAN, N. F. O. Establishing and processing client requirements: a key aspect of concurrent engineering in construction. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 7, n. 1, p. 15–28, 2000.

KASANEN, E.; LUKKA, K.; SIITONEN, A. The Constructive Approach in Management Accounting Research. **Journal of Management Accounting Research**, v. 5, p. 243–264, 1993.

KEMMER, S. et al. **A lean way of design and production for healthcare construction projects**. HaCIRIC International Conference 2011. **Anais...Manchester**, UK: 2011Disponível em: <<http://eprints.hud.ac.uk/25917/>>

KENSEK, K.; NOBLE, D. **Building information modeling: BIM in current and future practice**. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2014.

KIVINIEMI, A. **Requirements Management Interface to Building Product Models**. [s.l.] Stanford University, 2005.

KIVINIEMI, A.; FISCHER, M. Requirements Management Interface to Building Product Models. p. 1–12, 2004.

KOLLBERG, B.; DAHLGAARD, J. J.; BREHMER, P. P.-O. Measuring lean initiatives in health care services: issues and findings. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 56, n. 1, p. 7–24, 2006.

KOSKELA, L. An Exploration towards a Production Theory and its Application to Construction. **VTT Building Technology**, p. 298, 2000.

KOSKELA, L.; HOWELL, G. **The theory of project management: Explanation to novel methods**. Proceedings IGLC. **Anais...**2002

LAAKSO, M.; KIVINIEMI, A. The IFC standard - A review of history, development, and standardization. **Electronic Journal of Information Technology in Construction**, v. 17, n. May, p. 134–161, 2012.

LEE, G.; SACKS, R.; EASTMAN, C. M. Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. **Automation in Construction**, v. 15, n. 6, p. 758–776, 2006.

LEE, H. et al. Translating building legislation into a computer-executable format for evaluating building permit requirements. **Automation in Construction**, v. 71, p. 49–61, 2016.

LEE, J.-K.; EASTMAN, C. M.; LEE, Y. C. Implementation of a BIM Domain-specific Language for the Building Environment Rule and Analysis. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, v. 79, n. 3–4, p. 507–522, 21 abz. 2014.

LEINONEN, J.; HUOVILA, P. Requirements management in life-cycle design. **VTT: Building Technology**, 2000.

LUKKA, K. The Constructive Research Approach. **Case study research in logistics**, v. Series B, p. 83–101, 2003.

MACIT İLAL, S.; GÜNAYDIN, H. M. Computer representation of building codes for automated compliance checking. **Automation in Construction**, v. 82, n. June, p. 43–58, 2017.

MAINARDI NETO, A. I. DE B.; SANTOS, E. T. **VERIFICAÇÃO DE REGRAS EM MODELOS BIM: UM ESTUDO DE CASO SOBRE PROJETO DE ARQUITETURA DE ESTAÇÕES METROVIÁRIAS**. Anais do VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção - Edificações, Infra-estrutura e Cidade: Do BIM ao CIM. **Anais...**São Paulo: Editora Edgard Blücher, aza. 2015Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/20578>>

MANNING, R.; MESSNER, J. I. Case studies in BIM implementation for programming of healthcare facilities. **Electronic Journal of Information Technology in Construction**, v. 13, n. August 2007, p. 446–457, 2008.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, p. 251–266, 1995.

MARCHANT, D. The design brief: Requirements and compliance. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 21, n. November, p. 337–353, 2016.

MERSCHBROCK, C.; MUNKVOLD, B. E. Effective digital collaboration in the construction industry - A case study of BIM deployment in a hospital construction project. **Computers in Industry**, v. 73, p. 1–7, 2015.

MIETTINEN, R.; PAAVOLA, S. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. **Automation in Construction**, 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **PORTARIA Nº 2048**, 2002.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **NR 32 - SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO EM SERVIÇOS DE SAÚDE**, 2011.

MINISTÉRIO PÚBLICO ESTADUAL; CONSELHO ESTADUAL DOS DIREITOS DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA. **Cartilha de Acessibilidade Arquitetônica e Urbanística - Município legal é município acessível**, 2010.

MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE. **Lei Complementar 284/92 – 5a Ed. do Código de Edificações de Porto Alegre – CORAG** Porto Alegre, Brasil, 2001.

NATIONAL OFFICE OF BUILDING TECHNOLOGY AND ADMINISTRATION. **Standardized Computable Rules - Standards Norway**, 2009.

NAWARI, N. The Challenge of Computerizing Building Codes in a BIM Environment. **Computing in Civil Engineering**, v. 1, p. 285–292, 2012a.

NAWARI, N. SmartCodes and BIM. **Structures Congress 2013**, p. 928–937, 2013.

NAWARI, N. O. **BIM-Model Checking in Building Design**. Structures Congress 2012. **Anais...Reston**, VA: American Society of Civil Engineers, 29 març. 2012bDisponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784412367.084>>

NAWARI, O. **Intelligent Design Codes**. Structures 2009: Don't Mess with Structural Engineers. **Anais...2009**

PARK, S.; LEE, Y. C.; LEE, J. K. Definition of a domain-specific language for Korean building act sentences as an explicit computable form. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 21, n. September, p. 422–433, 2016.

PARSANEZHAD, P.; TARANDI, V.; LUND, R. Formalized requirements management in the briefing and design phase, a pivotal review of literature. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 21, n. May, p. 272–291, 2016.

PAUWELS, P. et al. A semantic rule checking environment for building performance checking. **Automation in Construction**, v. 20, n. 5, p. 506–518, 2011.

PAUWELS, P. et al. A performance benchmark over semantic rule checking approaches in construction industry. **Advanced Engineering Informatics**, v. 33, p. 68–88, 2017.

PAUWELS, P.; ZHANG, S. Semantic Rule-checking for Regulation Compliance Checking: An Overview of Strategies and Approaches. **Proceedings of the 32nd CIB W78 Conference**, n. 2009, p. 619–628, 2015.

PAUWELS, P.; ZHANG, S.; LEE, Y. C. Semantic web technologies in AEC industry: A literature overview. **Automation in Construction**, v. 73, p. 145–165, 2017.

PETER, J. P.; OLSON, J. C. **Consumer behavior and marketing strategy**. 6. arg. [s.l.] Chicago: Irwin, 2001. v. 4

PIKAS, E. et al. **Overview of building information modelling in healthcare projects**. HaCIRIC International Conference. **Anais...**Manchester, UK: 2011Disponível em: <<http://eprints.hud.ac.uk/25915/>>

PREIDEL, C.; BORRMANN, A. Automated Code Compliance Checking Based on a Visual Language and Building Information Modeling. **Proceedings of the 32nd International Symposium of Automation and Robotics in Construction, 15-18 June**, p. 256–263, 2015.

PREIDEL, C.; BORRMANN, A. Towards code compliance checking on the basis of a visual programming language. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 21, n. July, p. 402–421, 2016.

REDDY, K. P.; OWNERS, B. **BIM for building owners and developers: making a business case for using BIM on projects**. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2012.

SACKS, R. et al. Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 9, p. 968980, 2010.

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

SENGONZI, R.; DEMIAN, P.; EMMITT, S. Optimising healthcare facility value through better briefing and optioneering. **9th International Postgraduate Research Conference (IPGRC), Research Institute for the Built and Human Environment (BuHu)**, p. 352–365, 2009.

SMITH, D. K.; TARDIFF, M. **Building Information Modeling**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2009.

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. Classification of rules for automated BIM rule checking development. **Automation in Construction**, 2015.

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. M. A knowledge representation approach in BIM rule requirement analysis using the conceptual graph. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 21, n. March, p. 370–401, 2016.

STEEL, J.; DROGEMULLER, R.; TOTH, B. Model interoperability in building information modelling. **Software and Systems Modeling**, v. 11, n. 1, p. 99–109, 2012.

TAN, X.; HAMMAD, A.; FAZIO, P. Automated Code Compliance Checking for Building Envelope Design. 2010.

THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Document G202™ – 2013 Project Building Information Modeling Protocol Form**, 2013.

TOMMELEIN, I. D.; GHOLAMI, S. Root Causes of Clashes in Building Information Models. **Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.**, v. 1, n. 510, p. 10, 2012.

TORMA, S. **Semantic Linking of Building Information Models**. 2013 IEEE Seventh International Conference on Semantic Computing. **Anais...IEEE**, ira. 2013Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6693555/>>

TZORTZOPOULOS, P.; CHAN, P.; COOPER, R. **Requirements management in the design of primary healthcare facilities**. SIBRAGEC. **Anais...2005**

VAN AKEN, J. E. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of management studies**, v. 41, n. 2, p. 219–246, 2004.

VOORDIJK, H. Construction management and economics: the epistemology of a multidisciplinary design science. **Construction management and economics**, v. 27, n. 8, p. 713–720, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **General Guidelines for Methodologies on Research and Evaluation of Traditional Medicine World Health Organization World Health Organization (WHO)**, 2000. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/hq/2000/WHO_EDM_TRM_2000.1.pdf>

YANG, Q. Z.; ZHANG, Y. Semantic interoperability in building design: Methods and tools. **CAD Computer Aided Design**, v. 38, n. 10, p. 1099–1112, 2006.

YIN, R. **Case study research: Design and methods**. Beverly HillsCA: Sage publishing, , 1994.

YURCHYSHYNA, A.; ZARLI, A. An ontology-based approach for formalisation and semantic organisation of conformance requirements in construction. **Automation in Construction**, v. 18, n. 8, p. 1084–1098, 2009.

ZHANG, J.; EL-GOHARY, N. M. Automated Information Transformation for Automated Regulatory Compliance Checking in Construction. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 29, n. 4, 2015.

ZHONG, B. T. et al. Ontology-based semantic modeling of regulation constraint for automated construction quality compliance checking. **Automation in Construction**, v. 28, p. 58–70, abr. 2012.