

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Dissertação



**Aplicação de Modelo Conceitual de Retrocomissionamento no Retrofit de
Edifícios Públicos**

Estefânia Duarte Fagundes

Pelotas, dezembro de 2022

Estefânia Duarte Fagundes

**Aplicação de Modelo Conceitual de Retrocomissionamento no Retrofit de
Edifícios Públicos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Linha de Pesquisa: Conforto e Sustentabilidade do Ambiente Construído

Orientador: Prof. Dr. Fábio Kellermann Schramm

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha

Pelotas, dezembro de 2022

F156a Fagundes, Estefânia Duarte

Aplicação de modelo conceitual de retrocomissionamento no retrofit de edifícios públicos / Estefânia Duarte Fagundes; Fábio Kellermann Schramm, orientador; Eduardo Grala da Cunha, coorientador. — Pelotas, 2022.

108 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. Retrocomissionamento. 2. Eficiência energética. 3. Simulação termoenergética. 4. Edificações públicas. I. Schramm, Fábio Kellermann, orient. II. Cunha, Eduardo Grala da, coorient. III. Título.

CDD : 725Z

Elaborada por Michele Lavadouro da Silva CRB: 10/2502

Estefânia Duarte Fagundes

**Aplicação de Modelo Conceitual de Retrocomissionamento no Retrofit de
Edifícios Públicos**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 28 de abril de 2022

Banca examinadora:

Prof. Dr. Fábio Kellermann Schramm (Orientador)
Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Dr. Aldomar Pedrini
Doutor em Arquitetura pela University of Queensland, Austrália

Prof. Dra. Celina Maria Britto Correa
Doutora em Arquitetura pela Universidade Politécnica de Madrid, Espanha

Prof. Dra. Isabel Tourinho Salamoni
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Resumo

FAGUNDES, Estefânia Duarte. **Aplicação de Modelo Conceitual de Retrocomissionamento no Retrofit de Edifícios Públicos**. 2022. 108f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

A fim de atuar na redução da energia elétrica consumida pelas edificações públicas, no Brasil, foi instituída a Instrução Normativa n.º 02/2014, que define regras para a conservação de energia nos projetos e respectivas edificações públicas federais que receberam *retrofit*. Posto isso, vislumbra-se um potencial de contribuição do processo de retrocomissionamento, pois este é um processo de controle de qualidade que garante que o projeto, a instalação e a operação dos equipamentos e dos sistemas atendam aos requisitos do proprietário. Em adição, incorpora-se a simulação computacional, ferramenta que auxilia a análise da edificação quanto à sua eficiência energética. Contudo, estudos anteriores apontam que tanto para o desenvolvimento do processo de retrocomissionamento quanto para a simulação, são necessários os dados da edificação que, no caso de edificações existentes pode, muitas vezes, representar um grande desafio, dada a sua indisponibilidade, o que pode dificultar o emprego do processo de retrocomissionamento no *retrofit* dessas edificações. Desta forma, este trabalho teve como objetivo, estabelecer condições para a operacionalização do retrocomissionamento no *retrofit* de edifícios públicos. Para tanto, foi realizada uma revisão de literatura sobre os processos de retrocomissionamento e de *retrofit* e sobre simulação computacional de edificações. A seguir, foram realizados dois estudos de caso. O primeiro estudo, que teve como objetivo de analisar o processo de modelagem e simulação termoenergética de uma edificação pública existente, buscou identificar as principais dificuldades para o seu desenvolvimento. No segundo estudo, buscou-se identificar dados gerados e como são armazenados ao longo do ciclo de vida de edificações Públicas, tendo como base entrevistas com servidores de uma instituição federal de ensino superior, pertencentes aos setores de obras e manutenção. Ao final, foi desenvolvido um modelo para inserção do retrocomissionamento com simulação termoenergética no processo de *retrofit* de edificações públicas e foram propostas boas práticas para a gestão de informações, a fim de garantir que os dados das edificações e de seus sistemas sejam armazenados e mantidos atualizados.

Palavras-chave: Retrocomissionamento; Eficiência Energética; Simulação Termoenergética; Edificações Públicas

Abstract

FAGUNDES, Estefânia Duarte. **Application of Retro-commissioning Conceptual Model into Public Buildings' Retrofit.** 2022. 108f. Dissertation (Master in Architecture and Urbanism) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

In order to act in the reduction of electric power consumed by public constructions, in Brazil, it was instituted the Normative Ruling number 02/2014, which defines rules of energy conservation into projects and respective federal public buildings which had *retrofit*. For this reason, it is seen a potential of contribution related to the process of retro-commissioning because this is a process of quality control which ensures that the project, the installation and the operation of machines and systems serve the owner requirements. In addition, the computer simulation is integrated, a tool which helps the building analysis related to its energy performance. However, preview studies show that as for the retro-commissioning development process as for the simulation, it is necessary the building data which, in case of existing buildings, may get difficult the use of retro-commissioning process in *retrofit* from these buildings. This way, the goal of this study is to set conditions for the operationalization of retro-commissioning into the *retrofit* of public buildings. For this purpose, it was done a literature review about the retro-commissioning and retrofit processes and, about the computer simulation of buildings. After that, it was done two case studies. The first study, which the aim is to analyze the modeling process and thermo-energetic simulation of an existing public building, searched to identify the main difficulties to its development. The second study, the goal was to identify generated data and how they are stored during the public building existence, based on interviews with employees of a federal institution of college degree who worked into the construction and maintenance departments. At the end, it was developed a model to the retro-commissioning insertion with thermo-energetic simulation in the retrofit process of public buildings and, it was proposed good practices to the management information, in order to ensure that the building data and their systems may be stored and kept updated.

Key words: Retro-commissioning, Energy Efficiency, Thermo-energetic Simulation, Public Buildings

Lista de Figuras

Figura 1: Ciclo das etapas da pesquisa em Design Science Research.....	51
Figura 2: Delineamento da pesquisa.....	52
Figura 3: Modelo do processo retrocomissionamento em especial com utilização da simulação computacional como ferramenta de apoio, baseado na análise dos guias de retrocomissionamento.....	64
Figura 4: Plantas-baixas da edificação estudada.....	66
Figura 5: Modelo 3D da Edificação Analisada.....	68
Figura 6: Modelo do processo de <i>retrofit</i> baseado na análise dos guias de <i>retrofit</i>	76
Figura 7: Compilação de um modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento no <i>retrofit</i> de edifícios públicos com o uso de simulação termoenergética, tendo como base três modelos de <i>retrofit</i> e de retrocomissionamento.....	84

Lista de Quadros

Quadro 1: Etapas do processo de retrocomissionamento conforme são descritas nas três literaturas de base.....	27
Quadro 2: Dados da Edificação necessários para desenvolver a Simulação Termoenergética através do <i>software</i> EnergyPlus.....	38
Quadro 3: Etapas do processo de <i>retrofit</i> conforme são descritas nas três literaturas de base.....	44
Quadro 4: Perguntas e respostas para a definição da declaração de proposito da entrevista.....	60
Quadro 5: Tipos de equipamentos elétricos e suas respectivas potências existentes nos Laboratórios.....	67
Quadro 6: Consumo de energia da edificação no ano de 2018.....	67
Quadro 7: Detalhamento das Zonas Térmicas.....	69
Quadro 8: Propriedades dos Materiais.....	70
Quadro 9: Horários de ocupação da edificação.....	72
Quadro 10: Inserção dos requisitos da simulação termoenergética ao longo da etapa de planejamento do processo de retrocomissionamento.....	73
Quadro 11: Primeira etapa do modelo preliminar proposto.....	86
Quadro 12: Segunda etapa do modelo preliminar proposto.....	86
Quadro 13: Quinta etapa do modelo preliminar proposto.....	87
Quadro 14: Etapa de pesquisa detalhada de energia.....	88
Quadro 15: Etapa de análise do emprego do retrocomissionamento.....	89

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Apresentação do Tema	13
1.2 Problema de Pesquisa	14
1.3 Questões de Pesquisa	16
1.3.1 Questão Principal	16
1.3.2 Questões Secundárias	16
1.4 Proposições.....	17
1.5 Objetivos	17
1.5.1 Objetivo Geral.....	17
1.5.2 Objetivos Específicos	17
2 A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO APOIO AO RETROCOMISSIONAMENTO DE EDIFÍCIOS	19
2.1 Comissionamento de edifícios.....	19
2.2 Retrocomissionamento de edificações	24
2.2.1 Etapas do processo.....	25
2.3 Simulação computacional.....	30
2.3.1 Simulação termoenergética em edificações	31
2.3.2 Requisitos para a etiquetagem de edificações por simulação	32
2.3.3 Dados da edificação necessários para o desenvolvimento de uma simulação termoenergética	37
2.3.4 O emprego da simulação no retrocomissionamento	39
3 RETROFIT DE EDIFICAÇÕES	42

3.1 Conceitos, Objetivos e Desafios do Retrofit	42
3.2 Modelos do processo de <i>retrofit</i> de edificações e suas etapas	43
3.3 Práticas de <i>retrofit</i> em edificações	45
4 MÉTODO DE PESQUISA.....	50
4.1 Estratégia de Pesquisa.....	50
4.2 Delineamento da pesquisa	51
4.2.1 Revisão de Literatura	53
4.2.2 Fase exploratória.....	54
4.2.2.1 Análise das etapas que constituem o processo de retrocomissionamento, em especial com a utilização da simulação termoenergética.....	54
4.2.2.2 Estudo de Caso 1 – EC1	55
4.2.2.2.1 Seleção do <i>software</i> de simulação	55
4.2.2.2.2 Seleção da edificação e levantamento de dados do edifício	55
4.2.2.3 Compilação de um modelo do processo de retrocomissionamento, a partir de três modelos existentes do processo, em especial, com uso de simulação computacional termoenergética	56
4.2.3 Fase de desenvolvimento.....	56
4.2.3.1 Análise das etapas que constituem o processo de <i>retrofit</i>	56
4.2.3.2 Caracterização do processo de geração, armazenamento e recuperação de informações das edificações públicas	57
4.2.3.3 Compilação de um modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento no <i>retrofit</i> de edifícios públicos com o uso de simulação termoenergética.....	58
4.2.4 Fase de avaliação e proposição	59
4.2.4.1 Avaliação e validação do modelo	59
4.2.4.2 Modelo para inserção do retrocomissionamento com simulação termoenergética no processo de <i>retrofit</i>	61

4.2.4.3 Proposição de boas práticas para a gestão de informações, a fim de possibilitar inserção do retrocomissionamento com simulação termoenergética no processo de <i>retrofit</i>	61
5 DESENVOLVIMENTO	62
5.1 Modelo de retrocomissionamento com apoio da simulação computacional	62
5.2 Estudo de Caso 1	65
5.3 Compilação de um modelo do processo de retrocomissionamento, a partir de três modelos existentes do processo, em especial, com uso de simulação computacional termoenergética	73
5.4 Modelo do processo de <i>retrofit</i> de edificações	74
5.5 Estudo de caso 2 (EC2)	77
5.5.1 Etapa de projeto	78
5.5.2 Etapa de execução.....	79
5.5.3 Etapa de entrega provisória e definitiva do prédio	80
5.5.4 Etapa de uso e operação	80
5.5.5 Etapa de manutenção	81
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	83
6.1 Compilação de um modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento no <i>retrofit</i> de edifícios públicos com o uso de simulação termoenergética.....	83
6.2 Avaliação e validação do modelo	87
6.3 Modelo de Retrocomissionamento no Retrofit de Edificações Públicas com Simulação Termoenergética.....	88
6.4 Considerações sobre a gestão de informações das edificações no contexto estudado	89
6.4.1 Disponibilidade de dados e informações sobre as edificações	89
6.4.2 Gestão de informações sobre as edificações.....	90

7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	91
7.1	Principais Conclusões	91
7.2	Recomendações para trabalhos futuros.....	93
8	REFERÊNCIAS	94
	APÊNDICES.....	100
	ANEXOS	104

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do Tema

O consumo de energia das edificações residenciais e industriais corresponde a 42,9% do total da energia consumida no Brasil (EPE, 2021). Apesar de ainda representar uma grande parcela do consumo global, a preocupação com a sua redução começou, no Brasil, em 2003, quando foi instituído, pela Eletrobras, o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA), com o objetivo promover o uso racional de energia e incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais nas edificações (PROCEL, 2006a).

Onze anos após a sua criação, em novembro de 2014, o Procel Edifica instituiu o Selo Procel Edificações, cujo principal objetivo é determinar as edificações que apresentam as melhores classificações dentro de uma dada escala de eficiência energética, motivando assim aos consumidores a optarem por imóveis mais eficientes (PROCEL, 2006b).

Para a obtenção do Selo Procel, recomenda-se que a construção da edificação seja planejada de forma eficiente desde a etapa de projeto, ocasião em que é possível obter os melhores resultados, porém o selo também pode ser obtido após a edificação construída, através de uma inspeção realizada no prédio analisado (PROCEL, 2006b).

A fim de obter a etiqueta de eficiência energética, os edifícios comerciais, de serviço e públicos passam por um processo de avaliação, no qual são analisados os sistemas de iluminação, condicionamento de ar e envoltória. Após esta análise, a edificação analisada recebe uma etiqueta de eficiência energética, que pode variar de “A”, para os prédios mais eficientes energeticamente, até “E”, para os edifícios menos eficientes (INMETRO; 2010).

No que tange as edificações públicas, a Instrução Normativa n.º 02/2014, do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, dispõe sobre regras para o uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofit* (BRASIL, 2014).

Partindo do fato de que muitas edificações necessitam passar por obras de *retrofit*. Pois são prédios antigos que em alguns casos se encontram em mau estado ou que precisam passar por adaptações para que as atividades desempenhadas sejam otimizadas (BARRIENTOS, 2004).

É importante ressaltar as edificações ao passarem por *retrofit* devem obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia parcial da edificação construída nível “A”, para os sistemas de iluminação e condicionamento de ar, salvo casos em que for comprovada a inviabilidade técnica ou econômica, sendo necessário, nestes casos, atingir a maior classe de eficiência possível (BRASIL, 2014).

Além de buscar uma maior eficiência possível no edifício, isto viabiliza que o governo conheça o desempenho energético das edificações e estabeleça assim índices mínimos de desempenho, para orientar a elaboração de novos programas e projetos que promovam a eficiência energética das edificações brasileiras (ELETROBRAS; INMETRO; CB3E; PROCEL EDIFICA, 2014).

1.2 Problema de Pesquisa

Partindo das exigências da Instrução Normativa n.º 02/2014 para *retrofit* de edifícios públicos, surge a necessidade de definir um processo que garanta que todos os requisitos da normativa sejam analisados e executados.

Sendo assim, no que se refere à definição e à garantia de atendimento dos requisitos necessários para uma obra de *retrofit*, um processo que pode representar uma alternativa é o Comissionamento de Edifícios, pois é um processo que busca atender aos requisitos de projeto do proprietário, documentar as fases do ciclo de vida do empreendimento e capacitar os profissionais de operação e manutenção, com o objetivo evitar falhas, diminuir desperdícios e retrabalhos, melhorar a qualidade, o desempenho e a sustentabilidade da edificação (ISHIDA e Oliveira 2014).

Entretanto, segundo Ishida (2015), a dificuldade da aplicação do comissionamento no Brasil é observada diariamente, pois muitos profissionais da construção civil não sabem o que é o comissionamento. Boragini (2017) acrescenta que muitas pessoas não veem os benefícios deste serviço devido, muitas vezes, à falta de informação. No geral, os clientes buscam os profissionais de comissionamento apenas quando os problemas são grandes, aumentando os custos das soluções.

Para as edificações existentes, nas quais o processo de comissionamento não foi implementado previamente e necessitam passar por *retrofit*, o tipo específico de comissionamento que melhor se adapta é o conhecido como retrocomissionamento (RCx), que, conforme Baechler e Farley (2011), é um processo sistemático para melhorar o desempenho de um edifício existente, que busca identificar melhorias

operacionais das quais aumentarão o conforto dos ocupantes e economizarão energia.

Nesse sentido, encontrar formas para melhorar energeticamente edifícios existentes pode ser uma tarefa complicada, tendo em vista as limitações oriundas da configuração estrutural existente e dos custos elevados na implementação de novos sistemas. Devido a estas circunstâncias, torna-se de extrema importância desenvolver uma profunda investigação para definir quais serão as melhores oportunidades de melhorias a serem implantadas na edificação, para que assim, essa se torne mais eficiente (MACHADO, 2014).

Uma ferramenta que pode contribuir para o processo comissionamento é a simulação computacional pois segundo DOE (2009), esta é uma ferramenta que pode auxiliar a equipe de comissionamento a avaliar várias opções para os projetos, dimensionar equipamentos mecânicos, determinar possíveis economias de energia e prever cargas de aquecimento e resfriamento após o processo de construção, possibilitando assim, comparar os dados medidos com as verificações da operação existente do edifício. Schaedler (2014) acrescenta que, através da simulação termoenergética, torna-se possível modificar materiais e sistemas do modelo computacional do edifício estudado e verificar o consumo energético que estas modificações geraram, possibilitando, com isto, a escolha da melhor opção a ser implementada na edificação existente.

Claridge (2004) relata que uma das possíveis aplicações da simulação no comissionamento são as simulações calibradas para o retrocomissionamento, pois podem auxiliar o diagnóstico de problemas nas edificações e na previsão das possíveis economias que serão alcançadas com a implementação das medidas de comissionamento propostas.

Claridge (2004) após fazer um levantamento sobre o uso de modelos de simulação no comissionamento de edifícios, retrata que, dentre as possíveis aplicações, a simulação é utilizada com mais frequência no retrocomissionamento de edifícios.

A fim de que a simulação possa auxiliar o processo de retrocomissionamento, são necessários alguns dados da edificação para a elaboração da simulação. Brugnera (2018) descreve que para o desenvolvimento de uma simulação termoenergética são necessários dados referentes a geometria da edificação, as propriedades térmicas dos materiais que compõem a envoltório do prédio e os padrões de uso e

operação dos equipamentos e dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar artificiais.

Partindo da necessidade dos dados da edificação para o desenvolvimento da simulação, surge então a dificuldade da utilização dessa ferramenta. Pois conforme The Energy and Resources Institute (2013), o processo de coleta de dados de edifícios existente, muitas vezes, representa um grande desafio, uma vez que a maioria dos dados não está prontamente disponível.

Partindo da dificuldade da obtenção de dados das edificações existentes, o problema de pesquisa desta dissertação define-se em como garantir que os dados das edificações sejam coletados e armazenados, em específico os dados necessários para o desenvolvimento de estudos de *retrofit* de edificações públicas que utilizem o processo de retrocomissionamento, explorando o uso da simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

1.3 Questões de Pesquisa

Tendo como base o problema de pesquisa descrito anteriormente, pode-se estabelecer as seguintes questões de pesquisa, que nortearão este trabalho.

1.3.1 Questão Principal

Levando em consideração os aspectos já discutidos, definiu-se a seguinte questão principal de pesquisa:

“Como orientar o *retrofit* de edifícios públicos, quanto às intervenções necessárias para torná-los termoenergeticamente mais eficientes?”

1.3.2 Questões Secundárias

A questão principal foi desdobrada nas seguintes questões secundárias:

- a) como inserir o retrocomissionamento no processo de *retrofit* de edifícios públicos?
- b) quais as principais dificuldades para o desenvolvimento do retrocomissionamento, utilizando a simulação computacional, no contexto estudado?

c) quais são as práticas que devem ser seguidas, com relação a gestão de informações das edificações, para o apoio da simulação no retrocomissionamento de edificações públicas?

1.4 Proposições

Foram definidas para esta pesquisa as seguintes proposições:

- a) os dados referentes a envoltória, aos equipamentos, aos sistemas de iluminação e condicionamento de ar e o uso e a operação das edificações públicas nem sempre são coletados e armazenados ao longo de toda vida útil da edificação, dificultado em muitos casos, a utilização desses dados para o desenvolvimento da simulação termoenergética, a fim de que essa ferramenta possa auxiliar o processo de retrocomissionamento no *retrofit* de edifícios públicos;
- b) as diferentes etapas que compõem o retrocomissionamento podem ser inseridas ao longo das etapas do processo de retrofit, quer seja no projeto e execução das intervenções, como também na manutenção do desempenho termoenergético do edifício na fase de uso/operação;
- c) o retrocomissionamento, em suas diferentes etapas, tem o potencial de contribuir para a sistematização da explicitação, registro e controle dos requisitos de desempenho dos sistemas prediais envolvidos, nas fases de projeto e execução, bem como o de estabelecer um processo de avaliação contínua do nível de desempenho termoenergético do edifício na etapa de uso e operação;

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo *estabelecer as condições para a operacionalização do retrocomissionamento no retrofit de edifícios públicos.*

1.5.2 Objetivos Específicos

a) avaliar a exequibilidade da inserção das diferentes etapas do retrocomissionamento no processo de *retrofit*, identificando potenciais sinergias entre os processos;

b) identificar as dificuldades para o desenvolvimento do retrocomissionamento, utilizando a simulação computacional, no contexto estudado.

c) propor boas práticas para a gestão da informação das edificações para o apoio da simulação no retrocomissionamento de edificações públicas.

2 A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO APOIO AO RETROCOMISSIONAMENTO DE EDIFÍCIOS

2.1 Comissionamento de edifícios

Dentre os diversos conceitos para o processo de comissionamento, Grondzik (2009) descreve que este processo realiza uma série de ações inter-relacionadas para garantir que um edifício, produzido através dos processos de projeto, construção e ocupação, atenda aos requisitos do proprietário.

Baechler e Farley (2011) retratam que o comissionamento é um processo de controle de qualidade que garante que o projeto, instalação e operação do equipamento atenda aos requisitos do proprietário e acrescenta que quaisquer deficiências associadas devem ser corrigidas.

Já a *Environmental Protection Agency (EPA, 2009)* apresenta o processo de maneira semelhante aos anteriores, porém o caracteriza como um processo que aprimora a entrega de um empreendimento, verificando e documentando a instalação, garantindo que todos os seus sistemas e montagens sejam planejados, projetados, instalados, testados, operados e mantidos para atender aos requisitos do projeto do proprietário.

A *American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers (ASHRAE, 2014)* não relaciona explicitamente o comissionamento ao atendimento dos requisitos do proprietário, mas enfatiza que esse é um processo focado na qualidade, do qual busca melhor a entrega de empreendimentos novos ou existentes.

Ishida (2015) desenvolveu um levantamento com os termos mais utilizados para definir o processo de comissionamento, concluindo que o comissionamento é um processo que busca atender aos requisitos e expectativas do proprietário, necessidades e funcionalidade dos sistemas da edificação, assim como realizar inspeções, verificações, testes e revisões, visando um melhor desempenho, a partir da operação, manutenção, documentação, informação e qualidade da edificação. Segundo Cardoso (2015), o grande diferencial do processo de comissionamento é que este ocorre durante todo o ciclo de vida da edificação, iniciando-se na fase de

pré-projeto e continuando ao longo das fases de projeto, execução, construção até a fase de uso e operação da edificação, potencializando, assim, os seus benefícios. A ASHRAE (2005) descreve que os objetivos fundamentais do comissionamento são:

- a) documentar claramente os requisitos do projeto do proprietário;
- b) fornecer a documentação e as ferramentas para melhorar a qualidade do produto final;
- c) verificar e documentar o desempenho dos sistemas e montagens de acordo com os requisitos do projeto do proprietário;
- d) verificar se a documentação adequada e precisa do sistema e montagem é fornecida ao proprietário;
- e) verificar se o pessoal de operação, manutenção e ocupantes estão devidamente treinados;
- f) proporcionar um processo uniforme e eficaz para a entrega de projetos de construção;
- g) entregar edifícios e projetos de construção que atendam às necessidades do proprietário no momento da conclusão;
- h) utilizar técnicas de amostragem com base na qualidade para detectar problemas sistêmicos;
- i) verificar a coordenação adequada entre sistemas, montagens e todos os contratados, subcontratados, fornecedores e fabricantes de equipamentos e montagens utilizados.

De acordo com Grondzik (2009), quando o comissionamento é inserido desde o princípio da construção de uma edificação, são desenvolvidas atividades ao longo de todas as fases da vida útil do edifício.

Segundo o mesmo autor, durante a fase de pré-projeto é elaborado o registro dos requisitos de projeto do proprietário, que devem ser documentados formalmente captando as necessidades e expectativas para um uso ou instalação descrita pelo proprietário, sendo que este documento deve ser redigido com uma linguagem que possa disseminar as informações para todas as equipes presentes em todas as etapas do ciclo de vida da edificação. Nesta fase também é elaborado o plano de comissionamento cuja funcionalidade é direcionar o escopo e o orçamento do comissionamento, definir quanto os clientes ou os seus representantes devem fazer

parte do processo de comissionamento e estabelecer quais sistemas e elementos destes sistemas serão comissionados (GRONDZIK, 2009).

A Administração de Serviços Gerais dos EUA (GSA) em 2005, também descreveu que ao longo da etapa de pré-projeto devesse definir os requisitos de projeto do proprietário, desenvolver o plano de comissionamento preliminar e estabelecer um orçamento inicial para o comissionamento. Como adição esse guia traz que se deve inicialmente ao processo definir a equipe responsável por executar o comissionamento (GSA, 2005).

Na fase de projeto, são realizadas as atividades de projeto, licitação e é desenvolvido o projeto de forma física. O foco das atividades de comissionamento neste período é geralmente (APEGM, 2002):

- a) definição de requisitos gerais explícitos no contrato, a fim de garantir que as atividades executadas pelo contratado sejam adequadamente planejadas, preparadas e implementadas;
- b) verificação das especificações do contrato pelo consultor, por meio de revisões de projetos, inspeções *in loco* e de equipamentos e testes de sistemas;
- c) desenvolvimento progressivo dos planos de forma detalhada a fim de que todos os aspectos, referentes as instalações, sejam realizados de maneira coordenada, oportuna e eficaz;
- d) testagem de sistemas individual e coletivamente para determinar o nível de desempenho.

Grondzik (2009) acrescenta que ao longo da fase de projeto, deve-se verificar se as decisões de projeto contemplam os requisitos de projeto do proprietário e se as atividades de comissionadas estão adequadamente vinculadas ao executor. Para o seu cumprimento, são desenvolvidos (GRONDZIK, 2009):

- a) a base de projeto: documento cujas atribuições são registrar a linha de pensamento sobre projeto de sistemas que geram os documentos executivos fornecidos ao executor, demonstrar o porquê de as decisões de projeto serem tomadas daquela maneira e fazer conexão de conhecimento entre os requisitos do proprietário e os documentos formais de execução;

- b) o plano de comissionamento: nesta fase o plano de comissionamento inicial elaborado na fase anterior é expandido a fim de direcionar as atividades comissionadas a serem feitas durante a fase de execução;
- c) os documentos de execução: nestes devem estar descritas as responsabilidades e planejamento do executor, reuniões do andamento do comissionamento, testes de sistemas, documentos requisitados ao executor, permissão de acesso, coordenação de testes entre sistemas e treinamento de funcionários quando necessário.

Durante a fase de execução, a equipe de comissionamento trabalha para verificar se os sistemas e montagens operam de maneira a atender aos requisitos do projeto do proprietário. Os dois grandes objetivos da fase de execução são garantir o nível de qualidade desejada e garantir que os requisitos dos contratos sejam atendidos. As atividades de comissionamento da fase de execução são um processo de qualidade bem orquestrado que inclui desenvolver e utilizar listas de verificações dos sistemas e dos equipamentos da edificação, supervisionar e documentar testes de desempenho funcional, realizar reuniões da equipe de comissionamento e relatar o progresso, realizar treinamentos com os proprietários especificando como funcionam os novos sistemas e registrar todos os procedimentos executados ao longo do processo de comissionamento (GSA, 2005).

Grondzik (2009) em conformidade ao que foi descrito, referente a fase de execução, retrata que nesta fase são elaborados testes de verificação de sistemas e equipamentos e acrescenta que devem ser executados também treinamentos com os funcionários das equipes de manutenção e de operação do proprietário; preparação do Manual dos Sistemas cujo propósito é fornecer ao proprietário uma fonte bem estruturada, de fácil compreensão e útil das referências dos materiais envolvidos com os vários sistemas do edifício; atualização do Plano de Comissionamento e atualização do documento que registra os requisitos de projeto do proprietário (GRONDZIK, 2009).

Embora o projeto seja considerado essencialmente completo, algumas tarefas de comissionamento do contrato de comissionamento inicial continuam durante todo o período típico de garantia, fase de operação e manutenção da edificação. As principais tarefas de comissionamento durante esta fase são os testes sazonais, dos quais são realizados para verificar a operação adequada durante, no mínimo,

as condições de inverno e verão; a revisão do fim de garantia, onde o responsável pelo comissionamento deve retornar alguns meses antes do vencimento da garantia para entrevistar a equipe da instalação e revisar a operação dos sistemas; e os documentos com o produto do trabalho de comissionamento realizado, onde são entregues ao contratante o contratado de controle, o registro de problemas finalizado descrevendo todas as deficiências identificadas ao longo de todo o processo e um relatório resumido desenvolvido após a realização dos testes sazonais (PECI, 2000).

Assim como descrito pela PECI em 2000, no guia desenvolvido pela GSA em 2005, é descrito que ao longo da fase de uso e operação deve-se revisar o desempenho dos sistemas modificados longo do comissionamento, anteriormente o fim da garantia e deve-se desenvolver um relatório final completo do comissionamento executado na edificação. Como acréscimo este guia descreve que se deve desenvolver uma revisão final de satisfação com o cliente e com os ocupantes da edificação e por fim recomenda que seja realizado o recomissionamento a cada 3-5 anos após a finalização do comissionamento (GSA, 2005).

Já Grondzik (2009), descreve que na fase operação e manutenção, o proprietário assume a responsabilidade pela utilização do seu edifício. Conforme o autor, esta fase é composta pelas atividades de conclusão dos atrasos na verificação dos sistemas e equipamentos, conclusão de qualquer atraso nos treinamentos, assistência ao proprietário em qualquer situação relacionada às garantias e referenciar dados do uso do edifício para futuras referências do proprietário (GRONDZIK, 2009).

Apesar do comissionamento ser um processo que, de forma ideal, deveria ser implantado desde antes do início da construção da edificação, conforme Baechler e Farley (2011), esse processo pode ser inserido em momentos diferentes do ciclo de vida de um empreendimento, recebendo, com isso, as seguintes denominações:

- a) recomissionamento: refere-se à realização de atividades de comissionamento em um edifício existente que já havia sido comissionado durante a construção ou em algum momento da ocupação inicial;
- b) retrocomissionamento: refere-se ao comissionamento dos empreendimentos existentes que não foram previamente comissionados;

- c) comissionamento contínuo: é o comissionamento de uma edificação existente que já foi comissionada anteriormente.

2.2 Retrocomissionamento de edificações

Como já mencionado anteriormente, o retrocomissionamento é o processo apropriado para edificações existentes, que não foram previamente comissionadas. Visa garantir a funcionalidade dos equipamentos e sistemas como também otimizar o seu funcionamento, a fim de reduzir o desperdício de energia e melhorar a operação do edifício garantindo conforto e produtividade dos seus ocupantes, assim como a economia de custos (HAASL; SHARP, 1999).

Em adição, Portland Energy Conservation (2006) apresenta uma série de ações pertinentes ao processo de retrocomissionamento:

- a) traz as necessidades e os requisitos do projeto do proprietário em primeiro plano para garantir que as operações de construção resultantes atendam às expectativas;
- b) melhora o desempenho geral do edifício, otimizando os recursos de design com eficiência energética e abordando diretamente questões como desempenho do equipamento e integração do sistema;
- c) verifica se os membros da equipe do edifício são bem treinados e possuem a documentação necessária para operar e manter o edifício;
- d) identifica possíveis problemas de qualidade ambiental interna e elimina reclamações dos ocupantes.

Na maioria dos casos, o proprietário opta por implantar o processo de retrocomissionamento nas edificações, quando ocorre uma grande mudança na função ou no contexto da construção, surge um problema sério ou grave com os sistemas que compõem a edificação, ou quando transcorre uma mudança na filosofia do proprietário (por exemplo um desejo de se tornar mais sustentável) (GRONDZIK, 2009).

São vários os benefícios que o processo de retrocomissionamento pode trazer para a edificação. Dentre estes, *Electrical and Mechanical Services Department* (EMSD) (2017) destaca que esse processo possibilita:

- a) fornecer economia de custos energéticos da edificação com pouco ou nenhum investimento em um curto período de retorno;

- b) reduzir o custo de operação e manutenção (O&M);
- c) reduzir a chance de falha no equipamento ou sistema consumidor de energia e prolongar a vida útil do equipamento;
- d) garantir que os equipamentos / sistemas que consomem energia operem no nível mais eficiente;
- e) proporcionar um ambiente interno saudável e confortável para os ocupantes;
- f) aumentar o valor patrimonial do edifício;
- g) desenvolver o conhecimento e as habilidades da equipe de gerenciamento de edifícios para o desenvolvimento da indústria de O&M.

Segundo Building Efficiency Initiative (2013), o retrocomissionamento beneficia todos em um edifício. Os proprietários veem custos operacionais reduzidos com a economia de energia e o melhor desempenho de equipamentos. Os ocupantes do edifício sentem-se confortáveis por mais tempo devido ao controle de temperatura melhor e à melhor qualidade do ar interno e, por conseguinte, o gerente de construção, durante a etapa de uso, enfrenta menos reclamações dos ocupantes. O processo produz uma economia de custo significativa no edifício existente, variando de acordo com o tamanho, idade e localização do edifício.

2.2.1 Etapas do processo

Atualmente, não existe um modelo de consenso que represente o processo de retrocomissionamento. Vários fatores podem afetar a forma com que o retrocomissionamento é executado tais como: as condições das instalações, o escopo e o orçamento do projeto, o tamanho e a complexidade de cada sistema instalado na edificação e a disponibilidade de recursos (PECI, 2007).

Assim, foram identificados na literatura três modelos prescritivos do processo de retrocomissionamento, que foram comparados, buscando identificar semelhanças e diferenças entre os mesmos e, finalmente, estabelecer um modelo-base ou combinação de modelos, para embasar o desenvolvimento deste trabalho.

O primeiro modelo faz parte do *California Commissioning Guide: Existing Buildings*, elaborado pela *California Commissioning Collaborative (CCC)*, da *California Energy Commission (CEC)*, de 2006.

O segundo modelo é do *A Retrocommissioning Guide for Building Owners*, desenvolvido por *Portland Energy Conservation, Inc. (PECI)* em 2007.

O terceiro modelo faz parte do *Technical Guidelines on Retro-commissioning* (TG-RCx), desenvolvido pelo *Electrical and Mechanical Services Department* (EMSD), do Governo de Hong Kong, de 2017.

Nos três documentos, em comum, o modelo do processo de retrocomissionamento é dividido em quatro etapas, quais sejam: (a) planejamento; (b) investigação; (c) implementação; e (d) transição ou comissionamento contínuo.

Ao longo da etapa de planejamento as atividades desenvolvidas são essenciais para o sucesso de qualquer projeto de retrocomissionamento, pois estabelecem os objetivos e as bases para o trabalho da equipe de retrocomissionamento (CEC, 2006). Além disso, auxiliam o proprietário a determinar quais prédios são candidatos ao retrocomissionamento e fornecem orientações para definir um escopo apropriado para o projeto (PECI 2007).

Na etapa de investigação, os principais objetivos são a compreensão de como os sistemas da construção são operados e mantidos, a identificação dos problemas e das oportunidades de melhoria e a seleção das medidas mais econômicas para a implementação dessas melhorias (PECI, 2007). Dependendo do escopo do projeto, a investigação pode levar vários dias a vários meses para ser concluída (CEC, 2006).

Durante a implementação, as melhorias operacionais selecionadas no final da etapa de investigação são executadas e verificadas. Dependendo do tipo de projeto e dos recursos disponíveis pelo proprietário, vários modelos de implementação são possíveis (PECI, 2007).

Por fim, ao longo da etapa de transição ou comissionamento contínuo, são desenvolvidos os relatórios e os documentos nos quais é resumido o projeto. Sendo que, estes relatórios são úteis para manter os resultados alcançados pelo retrocomissionamento, além de fornecer a base para o treinamento da equipe da instalação. Nesta etapa também são determinadas as melhores estratégias para manter as novas melhorias funcionando eficientemente ao longo do tempo (PECI, 2007).

Com o intuito de comparar as etapas que constituem o processo de retrocomissionamento, tendo como base os documentos apresentados, desenvolveu-se o Quadro 1.

Quadro 1: Etapas do processo de retrocomissionamento conforme são descritas nas três literaturas de base (continua)

Etapas do processo de Retrocomissionamento		
<i>California Commissioning Guide: Existing Buildings (California Energy Commission, 2006)</i>	<i>Retrocommissioning Guide for Building Owners (Portland Energy Conservation, Inc., 2007)</i>	<i>Technical Guidelines on Retro-commissioning (Electrical and Mechanical Services Department, 2017)</i>
<i>Etapas de Planejamento</i>		
a) escolher a edificação;	primeira parte da etapa de planejamento	a) coletar as informações operacionais e de projetos da edificação;
b) definir os objetivos do projeto;	a) identificar edificações que possam ser possíveis candidatas ao processo;	b) coletar os requisitos das instalações;
c) selecionar do líder de comissionamento;	b) coletar os dados das edificações e avaliar os possíveis candidatos;	c) realizar uma entrevista com a equipe de operação e manutenção;
d) documentar os requisitos operacionais do proprietário;	c) classificar as edificações quanto ao desempenho energético baseando-se nas prescrições da Agência de Proteção Ambiental dos EUA;	d) realizar uma análise baseando-se no sistema central de controle e monitoramento existente/dados da folha de registro;
e) executar análise inicial;	d) selecionar a edificação;	e) executar a modelagem energética da edificação;
f) desenvolver um plano de retrocomissionamento;	e) definir metas e objetivos do projeto.	f) desenvolver um plano de retrocomissionamento.
g) montar a equipe de retrocomissionamento;	segunda parte da etapa de planejamento	
h) realizar uma reunião inicial do projeto.	a) selecionar do líder de comissionamento;	
	b) confirmar as metas e objetivos do projeto com o líder de comissionamento;	
	c) realizar entrevistas e visitas guiadas às instalações;	
	d) o proprietário e o líder de comissionamento devem analisar as descobertas para confirmar que a construção é um bom candidato para o retrocomissionamento;	
	e) o líder de comissionamento deve enviar um rascunho do plano de retrocomissionamento ao proprietário;	

Quadro 1: Etapas do processo de retrocomissionamento conforme são descritas nas três literaturas de base (continuação)

Etapas do processo de Retrocomissionamento		
<i>California Commissioning Guide: Existing Buildings (California Energy Commission, 2006)</i>	<i>Retrocommissioning Guide for Building Owners (Portland Energy Conservation, Inc., 2007)</i>	<i>Technical Guidelines on Retro-commissioning (Electrical and Mechanical Services Department, 2017)</i>
<i>Etapas de Planejamento</i>		
	f) o proprietário deve revisar o plano de retrocomissionamento;	
	g) o proprietário e o líder de comissionamento, em acordo, devem finalizar o plano de retrocomissionamento;	
	h) o líder de comissionamento desenvolve formalmente o plano de retrocomissionamento.	
<i>Etapas de Investigação</i>		
a) analisar as documentações e instalações;	a) realizar uma reunião inicial de projeto;	a) coletar dados de tendência;
b) desenvolver os monitoramentos e diagnósticos;	b) revisar documentações;	b) analisar os dados de tendência;
c) executar testes funcionais;	c) definir os requisitos operacionais do proprietário;	c) identificar oportunidades para economia de energia;
d) executar reparos simples ao longo da elaboração do projeto;	d) entrevistar a equipe de instalação;	d) estipular o método de medição e as verificações a serem realizadas;
e) elaborar a Lista Mestre de Descobertas;	e) desenvolver os monitoramentos e diagnósticos;	e) selecionar as oportunidades de economia de energia a serem implementadas na edificação.
f) selecionar as melhorias operacionais;	f) executar testes funcionais;	
g) elaborar o plano de implementação.	g) elaborar a lista de descobertas;	
	h) selecionar as melhorias operacionais;	
	i) desenvolver o relatório de investigação.	

Quadro 1: Etapas do processo de retrocomissionamento conforme são descritas nas três literaturas de base (conclusão)

Etapas do processo de Retrocomissionamento		
<i>California Commissioning Guide: Existing Buildings (California Energy Commission, 2006)</i>	<i>Retrocommissioning Guide for Building Owners (Portland Energy Conservation, Inc., 2007)</i>	<i>Technical Guidelines on Retro-commissioning (Electrical and Mechanical Services Department, 2017)</i>
<i>Etapas de Implementação</i>		
a) desenvolver o plano de implementação;	a) desenvolver o plano de implementação;	a) analisar as oportunidades de economia de energia;
b) elaborar o relatório resumo de implementação.	b) estabelecer um cronograma para a implementação;	b) executar, medir e verificar;
	c) realizar verificações e elaborar o relatório de implementação.	c) desenvolver o relatório final de retrocomissionamento;
		d) desenvolver o plano de comissionamento contínuo;
		e) realizar treinamentos para os funcionários de ocupação e manutenção.
<i>Etapas de transição ou Comissionamento Contínuo</i>		
a) desenvolver o relatório final;	a) desenvolver o relatório final e os treinamentos;	a) manter os sistemas da construção funcionando da maneira mais eficiente ao passar dos anos.
b) desenvolver o manual de sistemas;	b) desenvolver as estratégias de persistência;	
c) desenvolver o plano de recomendações e de treinamentos;	c) realizar uma reunião de encerramento.	
d) realizar uma reunião de encerramento.		

Fonte: Autora, 2022.

Ao se comparar os três documentos analisados, é possível afirmar que as etapas que constituem o processo de retrocomissionamento descritos pela CEC (2006) e pela PECEI (2007) guardam semelhanças, uma vez que as fases que constituem cada etapa do processo de retrocomissionamento descritas pelos documentos são coincidentes. Contudo, no guia elaborado pela PECEI (2007) há especificação das fases do processo com maior detalhamento, quando comparado ao guia elaborado pela CEC (2006).

O modelo descrito em EMSD (2017) diferencia-se dos demais no que se refere às fases que constituem as etapas do processo: a maioria destas são denominadas de forma diferente, porém o processo em si mostra semelhança aos demais guias.

A contribuição de EMSD (2017) refere-se à inserção da simulação computacional nas etapas de planejamento e investigação. Na primeira etapa, deve-se desenvolver uma modelagem energética da edificação real, possibilitando assim, avaliar o consumo energético da edificação de forma mais detalhada. Já na segunda etapa citada, deve-se desenvolver uma modelagem com as propostas de melhorias e analisar se as modificações a serem executadas na edificação serão as melhores propostas para torna este edifício mais eficiente energeticamente.

2.3 Simulação computacional

Dentre os principais benefícios do emprego da simulação, encontra-se a possibilidade de analisar o que irá acontecer a edificação caso algum sistema seja modificado, sem ser necessária nenhuma intervenção na edificação existente. Para isso, é desenvolvido um modelo da edificação em um ambiente virtual e as modificações propostas são inseridas neste modelo, para que assim sejam analisadas (FREITAS FILHO, 2008).

Law e Kelton (1991) abordam algumas das possíveis vantagens da simulação que podem explicar a sua utilização:

- a) viabiliza analisar sistemas mais complexos do mundo real que outros recursos não possibilitam;
- b) permite estimar o desempenho de um sistema existente;
- c) possibilita a projeção de sistemas alternativos ao existente, sendo os mesmos comparados através de simulação, tornando possível optar pelo projeto que melhor atenda a um requisito específico;
- d) propicia um melhor controle sobre as condições de experimentação quando comparado ao que seria possível obter ao ser experimentado no sistema real;
- e) permite estudar um sistema por um curto, longo ou alternado período de tempo, analisando assim o funcionamento detalhado de um sistema ao longo do tempo.

Apesar da simulação ser uma ferramenta que traz muitos benefícios aos profissionais que a utilizam, esta não deixa de ter as suas desvantagens. De acordo com Law e Keton (1991), são elas:

- a) a necessidade de desenvolver diversas modelagens, uma para cada conjunto de parâmetros de entrada a serem estudados, para que assim, se torne possível determinar o melhor modelo dentre os analisados;
- b) modelos de simulação costumam ser caros e demorados para serem desenvolvidos;
- c) o modelo elaborado deve ser o mais semelhante possível do sistema real estudado, caso contrário, os resultados da simulação poderão ser incorretos, não fornecendo assim, informações úteis sobre o sistema real.

2.3.1 Simulação termoenergética em edificações

A quantidade de programas de simulação energética em edificação foi aumentando ao longo do tempo. Conforme Wilde (2004), os tipos mais utilizados são:

- a) modelo de estado estático: não leva em consideração aspectos dinâmicos de transferência de calor e é mais indicado para avaliação de situações em que o tempo tem pouco impacto;
- b) modelo dinâmico simples: considera apenas parte da transferência dinâmica de calor. Utiliza, por exemplo, uma temperatura externa média, uma estação de aquecimento estático ou fatores de utilização. Estes modelos são baseados nos resultados das medições ou em modelos computacionais mais avançados;
- c) modelo dinâmico: utiliza totalmente os aspectos dinâmicos da transferência de calor. A maioria emprega técnicas numéricas como o elemento finito e o método das diferenças finitas.

Por meio da simulação termoenergética, torna-se possível quantificar e visualizar variáveis de desempenho térmico e luminoso das edificações como, por exemplo: temperatura, umidade, movimento do ar, isolamento, sombreamento e níveis de iluminação (SANTOS *et al.*, 2017).

Didoné e Pereira (2010) acrescentam que, através da simulação computacional, uma edificação pode ser avaliada por meio de suas características dimensionais, componentes construtivos, sistemas de iluminação e de condicionamento de ar, tendo como base informações sobre o seu padrão de uso e ocupação. Com os

resultados destas avaliações, torna-se possível estimar o consumo de energia, o custo deste consumo e o impacto ambiental causado pelas modificações de projeto antes mesmo de ser executado na edificação.

Atualmente, a ferramenta mais utilizada por arquitetos e engenheiros para projetar e simular edifícios inteiros é o *software* EnergyPlus, devido ao seu alto grau de confiabilidade e complexidade (BARCELLOS, 2016). Esse *software* foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos EUA e foi validado pela ASHRAE em 2014. Além de ser um programa de livre acesso, este permite, através dos resultados da sua simulação, avaliar o desempenho da edificação através da demanda dos sistemas de aquecimento, refrigeração, iluminação, ventilação, entre outros (BRUGNERA, 2018).

2.3.2 Requisitos para a etiquetagem de edificações por simulação

O início do processo de etiquetagem de edificações ocorreu através da Lei nº 10.295 que foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059 em 2001, no qual se determinou os níveis máximos do consumo de energia de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no Brasil, assim como o consumo mínimo de eficiência energética das edificações construídas (PBE EDIFICA, 2020).

No ano de 2005, foram criadas a Secretaria Técnica de Edificações (ST-Edificações) com o objetivo de discutir as questões técnicas envolvidas com a eficiência energética e a Comissão Técnica de Edificações (CT-Edificações) cujo objetivo é discutir e definir o processo de obtenção da ENCE. A partir disso, foram desenvolvidos os Requisitos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (ELETROBRAS; INMETRO; CB3E; PROCEL, 2013).

O RTQ-C foi lançado em 2009 e passou por uma revisão em 2010 mantendo-se sem mais alterações estando em vigor até os dias atuais. A sua finalidade é registrar os requisitos para classificação do nível de eficiência energética das edificações comerciais, de serviços e públicas (PBE EDIFICA, 2020).

No RTQ-C (2010) é prescrito que a etiqueta de eficiência energética de edifícios pode ser obtida através do método prescritivo, que se baseia na análise de simulações de um número limitado de casos por meio de regressão ou através de

simulação, método que é mais indicado para edificações em que o Percentual de Área de Abertura na Fachada total (PAFt) é elevado, os vidros possuem alto desempenho e/ou os elementos de sombreamento são diferenciados por orientação (INMETRO, 2010).

Da mesma forma, Carlo e Lamberts (2010) retratam que o método mais completo para analisar desempenho térmico ou energético das edificações é o de simulação, pois permite:

- a) o estudo das edificações com volumetria, abertura ou proteção solares mais complexas;
- b) a flexibilidade no projeto condicionamento de ar, possibilitando ao projetista propor outras soluções diferentes das existentes;
- c) a avaliação das melhores possibilidades para o condicionamento de ar, levando em consideração estratégias bioclimáticas como ventilação natural ou forçada e inércia térmica para aquecimento ou resfriamento.

Para que uma edificação seja classificada quanto ao seu nível de eficiência energética, é especificado no RTQ-C que se deve avaliar a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar da edificação, sendo possível assim, obter uma etiqueta parcial para um dos três sistemas ou geral para toda a edificação (INMETRO, 2010).

Com isso, de acordo com o RTQ-C (INMETRO, 2010), para avaliar cada sistema são necessárias algumas informações:

- a) envoltória: analisa-se as transmitâncias térmicas da cobertura e das paredes externas, as cores e absorbâncias das superfícies, a iluminação zenital da edificação, a área de projeção do edifício, a área total construída, a área da envoltória, a área de projeção da cobertura, os ângulos vertical e horizontal de sombreamento, o fator solar do vidro, o percentual de abertura na fachada e o volume total da edificação;
- b) sistema de Iluminação: o sistema de iluminação pode ser avaliado através de dois métodos. O primeiro é método da área que é indicado para edifícios com no máximo três atividades principais ou para atividades que ocupem mais de 30% da área do edifício. Este método avalia de forma conjunta todos os ambientes da edificação e estipula-se apenas um valor limite para avaliar o sistema. O segundo é o método das atividades do edifício que é utilizado

para as edificações na quais o primeiro método não é aplicável e avalia separadamente os ambientes do edifício;

- c) sistema de condicionamento de ar: a avaliação desse sistema é feita separadamente para cada ambiente do edifício. Para edificações com somente condicionamento de ar natural, a avaliação deve ser feita através do método de simulação. Para edificações mistas ou com ventilação artificial, pode-se optar pelo método prescritivo ou de simulação e, neste caso, são avaliados a eficiência e o coeficiente de performance (COP) do equipamento.

A partir da classificação parcial dos três sistemas, torna-se possível elaborar a classificação geral da edificação, pois, conforme descrito no RTQ-C, para classificação geral, as avaliações parciais recebem pesos que são distribuídos 30% da envoltória, 30% do sistema de iluminação e 40% do sistema de condicionamento de ar (INMETRO, 2010).

O método de simulação, conforme registrado no RTQ-C (2010), é elaborado através da comparação do desempenho do edifício real com o edifício referência cujas características devem estar de acordo com os requisitos exigidos pelo método prescritivo referente ao nível de eficiência pretendido, com isso, torna-se necessário modelar dois edifícios (INMETRO, 2010).

Ambos os modelos devem ser simulados: usando o mesmo programa de simulação; o mesmo arquivo climático; ter a mesma geometria; a mesma orientação geográfica; o padrão de uso e operação dos sistemas do edifício real para ambos os modelos; o mesmo valor de densidade de carga interna em equipamentos; o mesmo padrão de uso de pessoas com o mesmo valor de calor dissipado; e o mesmo tipo de sistema de condicionamento de ar. Entretanto, para o modelo de referência deve-se utilizar o coeficiente de performance (COP) estabelecido pelo método prescritivo de acordo com o nível de eficiência pretendido e o mesmo *setpoint* de resfriamento e aquecimento (INMETRO, 2010).

Para edifícios naturalmente ventilados ou que possuam áreas de longa permanência não condicionadas, torna-se necessário comprovar por simulação que os ambientes internos destas zonas proporcionam temperaturas dentro da zona de conforto durante um percentual de horas ocupadas. A etiqueta por simulação pode ser empregada para o edifício obedecendo aos critérios do capítulo 6 do RTQ-C (INMETRO, 2010).

Apesar do RTQ-C ainda encontrar-se em vigor, no dia 24 de fevereiro de 2021, o Instituto De Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), aprovou a Instrução Normativa para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (INI-C), instrução esta que busca aperfeiçoar o RTQ-C, especificando os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética (INMETRO, 2021).

A utilização da INI-C será obrigatória a partir de vinte quatro meses contados da data de aprovação da INI-C, para a ENCE de Projeto para edificações comerciais, de serviços e públicas novas e para a ENCE de Edificação Construída para edificações existentes e que não tenham sido submetidas à inspeção de projeto com base no RTQ-C (INMETRO, 2021).

Na INI-C (2021) é prescrito que a etiqueta de eficiência energética de edifícios pode ser obtida através do método simplificado ou do método de simulação. O método simplificado baseia-se em metamodelos desenvolvidos por meio do treinamento de redes neurais artificiais, redes estas que são um método estatístico de inteligência artificial indicado para predição de casos não lineares, como as edificações. Já o método de simulação além de poder ser aplicado para avaliar qualquer edificação, é o método a ser utilizado em edificações que possuem aquecimento artificial, aberturas zenitais, vidro em frente das paredes da fachada, fachadas ventiladas, ambientes de elevada geração de carga interna, dispositivos móveis de sombreamento interno automatizados e vidros com comportamento dinâmico (PROCEL; CB3E, 2021).

Assim como descrito no RTQ-C, na INI-C para que uma edificação seja classificada quanto ao seu nível de eficiência energética deve-se avaliar a envoltória, o sistema de condicionamento de ar e o sistema de iluminação. Já como acréscimo a instrução normativa traz a avaliação do sistema de aquecimento de água das edificações. É importante ressaltar que etiqueta a ser solicitada pode ser parcial, para um dos sistemas ou geral para toda a edificação, sendo que, a avaliação da envoltória é obrigatória em todas as avaliações que visam à etiquetagem (PROCEL; CB3E, 2021).

De acordo com a INI-C (PROCEL; CB3E, 2021), para avaliar cada sistema são necessárias as seguintes informações:

- a) envoltória: o levantamento da densidade de potência de iluminação do edifício, a divisão das zonas térmicas, a determinação dos parâmetros de entrada de absorvância solar da cobertura e das paredes externas e do ângulo de sombreamento, a predição de carga térmica anual por zona e total anual da envoltória, a determinação do tipo de ventilação da edificação (natural ou híbrida) e a determinação do percentual de redução da carga térmica total anual;
- b) sistema de condicionamento de ar: determinar a capacidade do sistema, calcular a eficiência do sistema, determinar o consumo da refrigeração real e de referência e determinar o percentual de redução do consumo de refrigeração;
- c) sistema de iluminação: primeiramente deve-se avaliar a edificação segundo a divisão de usos e escolher um método de avaliação. Podendo ser utilizado o método do edifício completo, do qual atribui um único valor de densidade de potência de iluminação limite representativo da ponderação entre as atividades principais e as atividades secundárias da edificação ou através do método das atividades, do qual estabelece valores de densidade de potência de iluminação para as atividades principais e secundárias separadamente. Após a determinação do modelo a ser utilizado, deve-se também determinar a potência de iluminação limite para a condição de referência, calcular a potência de iluminação total da edificação real, determinar o consumo de iluminação e determinar o percentual de redução do consumo de iluminação;
- d) sistema de aquecimento de água: determinar o volume diário de consumo de água quente, determinar a energia requerida para o atendimento da demanda de água quente, determinar a energia para o aquecimento de água proveniente de sistemas de energia solar térmica ou que recuperam calor, determinar a energia associada às perdas térmicas, determinar o consumo de energia para a demanda de água quente e determinar o percentual de redução do consumo de energia primária.

Em específico pelo método de simulação, método adotado nessa dissertação, assim como descrito no RTQ-C, na INI-C (2021), também deve-se elaborar duas modelagens, uma representando a edificação real, com as características reais da

edificação e a outra representando a edificação referência. Sendo que pela normativa, para a elaboração da modelagem de referência, deve-se utilizar as características listadas nas tabelas do anexo A da INI-C, que variam conforme a tipologia da edificação avaliada (INMETRO, 2021).

Para o desenvolvimento das modelagens, ambas devem possuir: o mesmo programa de simulação; a mesma versão do programa de simulação; o mesmo arquivo climático; a mesma condição de contato com o solo do pavimento inferior; a mesma condição de contato com o exterior do pavimento superior; a mesma orientação com relação ao Norte Geográfico; a mesma geometria, número de pavimento e divisão de zonas térmicas; a mesmas considerações de carga interna em cada zona térmica; a mesma condição de troca de calor para os elementos construtivos; a mesma área total de piso condicionada; o mesmo padrão de uso de pessoas, com o mesmo valor de calor dissipado por pessoa da edificação real; o mesmo padrão de uso e operação dos sistemas da edificação real; o mesmo valor de DCI em equipamentos da edificação real; o mesmo *setpoint* de refrigeração e aquecimento para o sistema de condicionamento de ar adotado; a mesma taxa de renovação de ar para o sistema de condicionamento de ar; e o mesmo valor da taxa de infiltração de ar (INMETRO, 2021).

Por fim, para que seja obtida a ENCE por intermédio do método de simulação, baseando-se na INI-C, deve-se obedecer aos critérios especificados no anexo C da normativa (INMETRO, 2021).

2.3.3 Dados da edificação necessários para o desenvolvimento de uma simulação termoenergética

Partindo do fato de que o *software* EnergyPlus é o mais utilizado por engenheiros e arquitetos para a elaboração de simulações termoenergéticas (BARCELLOS, 2016). Optou-se por analisar quais são os dados das edificações que são necessários para a elaboração da simulação por intermédio deste *software*.

Através de uma revisão de literatura chegou-se em duas referências, Brugnara (2018) e HAX et al. (2022), ambos os autores realizaram simulações termoenergética utilizando o *software* EnergyPlus. Através da descrição dos autores, referentes ao desenvolvimento da simulação, foi possível identificar quais são os dados das edificações que são necessários para a elaboração de uma simulação termoenergética. Dados estes que são descritos no Quadro 2.

Quadro 2: Dados da Edificação necessários para desenvolver a Simulação Termoenergética através do *software* EnergyPlus

Dados necessários para a modelagem 3D
Dimensões dos ambientes e das aberturas da edificação
Altura da edificação e os pés-direitos dos pavimentos
Dados da edificação utilizados no EnergyPlus
Dados referentes a envoltória da edificação
Composição e espessuras de paredes, pisos, cobertura, esquadrias
Condutividade, densidade, calor específico e absorvância térmica dos materiais
Absorvância solar dos materiais
Características dos vidros: transmitância solar, refletividade solar, α exterior, refletividade solar α interior, transmitância solar visível, refletividade solar visível α exterior, refletividade Solar visível α interior, transmitância infravermelho, emissividade infravermelho ϵ exterior, emissividade infravermelho ϵ interior, condutividade e fator solar
Dados sobre o fluxo ar de janelas e portas fechadas
Fator de abertura da janela
Dados referentes a ocupação da edificação
Quantidade de pessoas;
Tempo de utilização de cada ambiente.
Dados referentes aos equipamentos instalados na edificação
Equipamentos instalados e respectivas potências
Dados referentes ao sistema de iluminação
Potência da iluminação por ambiente
Dados referentes ao sistema de ar-condicionado
Sistema de ar-condicionado e nível de eficiência energética
COP (Coeficiente de Performance)
Dados de utilização dos equipamentos e sistemas da edificação
Tempo de uso de equipamentos, iluminação e condicionamento de ar
Consumo de energia da edificação
Consumo elétrico da edificação ao longo de um ano

Fonte: Adaptado de BRUGNERA (2018) e HAX et al. (2022).

Ao comparar os dados das edificações necessários para o desenvolvimento da simulação termoenergética, Quadro 2, aos requisitos avaliados pelo RTQ-C e pela INI-C, descritas na subseção 2.3.2 dessa dissertação, é possível concluir que os dados referentes a envoltória, aos equipamentos instalados, ao sistema iluminação e ao sistema de condicionamento de ar são de extrema importância para a classificação do nível de eficiência energética das edificações.

Já os dados referentes ao uso e a operação do edifício são necessários para o desenvolvimento da simulação, porém, conforme o RTQ-C e a INI-C, não devem

ser modificados ao se desenvolver projetos que busquem melhorar a classificação da edificação quanto ao seu nível de eficiência energética. No entanto, conforme Janda (2009), os padrões de consumo dos usuários podem prejudicar o projeto de efficientização das edificações.

Sorgato (2015) ressalta que a interação dos usuários da edificação pode modificar o consumo de energia de um edifício projetado para ser eficiente energeticamente. Conforme este autor, a utilização de forma inadequada dos equipamentos e dos sistemas da edificação, pode gerar um aumento no consumo de energia, ocasionando em alguns casos um consumo de energia maior do que os de edificações que não foram projetadas para serem eficientes energeticamente.

Com o intuito de avaliar a influência do comportamento dos usuários na eficiência energética em um edifício de ensino público, Hax et al. (2022), desenvolveu um estudo onde foram analisados, por meio de simulação termoenergética, cenários de comportamentos dos usuários. Três padrões de comportamento foram criados: usuário proativo, intermediário e descuidado. A partir do estudo o autor concluiu que por causa das atitudes dos usuários o desempenho energético do edifício pode variar até 84% para refrigeração, 35% para iluminação e 30% para consumo total anual, entre usuários proativos e descuidados. Partindo dessa variação no consumo de energia, que pode ocorrer devido a forma com que os usuários utilizam os equipamentos e os sistemas, é de extrema importância que os projetistas considerem os dados de uso e operação ao desenvolver um projeto para tornar a edificação mais eficiente energeticamente.

2.3.4 O emprego da simulação no retrocomissionamento

A simulação, quando incorporada ao processo de comissionamento, possibilita ao projetista avaliar opções de projeto, dimensionar equipamentos mecânicos e determinar possíveis economias de energia, além de possibilitar a prever cargas de aquecimento e resfriamento que possam ocorrer após a construção edificação. (DOE, 2009).

Contudo, para que as simulações possam ser utilizadas, estas devem ser calibradas até fornecerem representações aceitáveis, do uso real da edificação, possibilitando, com isso, que a simulação demonstre os efeitos das mudanças construtivas e operacionais de uso da energia do edifício, viabilizando assim, que o projetista

defina, durante o processo de comissionamento, quais serão as melhores modificações para obter a eficiência energética pretendida (NIST, 2007).

Em específico para o processo de retrocomissionamento, Marmaras (2014) descreve que compreender como um edifício usa sua energia por meio de um modelo confiável de simulação energética é importante, pois, através dela, torna-se mais fácil ao projetista monitorar, detectar e solucionar problemas de desempenho energético do edifício, tornando assim o processo de retrocomissionamento mais eficaz.

No processo de retrocomissionamento, as edificações são existentes e o histórico de cobranças de serviços públicos geralmente estão disponíveis. A partir destas informações e os dados de utilização de aquecimento, resfriamento, equipamentos, dentre outros, torna-se possível calibrar a simulação, podendo ser utilizada no retrocomissionamento para explorar o impacto de uma ampla gama de mudanças desde operacionais no edifício que podem ser implementadas como parte de um programa de comissionamento até avaliação de medidas completas de modernização da eficiência energética e redução da demanda medida (CLARIDGE, 2004).

A fim de analisar a utilização da simulação termoenergética no processo de retrocomissionamento, NIST, em 2007, desenvolveu um estudo no qual foram analisadas cinco edificações, entre os anos de 1996 a 2000, através de simulações. Foram realizadas três simulações para cada um dos edifícios, uma para o período de pré-comissionamento, uma para o ano após o retrocomissionamento e uma para o ano 2000. Os fatores considerados nas simulações incluíram alterações nas configurações de controle, substituições do operador nos controles e alterações físicas nos sistemas, como válvulas quebradas ou reparadas, sensores, etc. Através do estudo o autor concluiu que as mudanças observadas entre os períodos pós-comissionamento e o ano 2000 foi de apenas 1,1% e sugeriu que deveriam ser executadas 39 mudanças nos controles da edificação. Ainda segundo o autor, a simulação quando aplicada no processo de retrocomissionamento, tem um papel potencialmente benéfico a desempenhar, pois fornece um meio de representar o desempenho esperado do edifício sob diferentes condições de operação. Aplicado corretamente, ele pode identificar erros durante o projeto e também pode ser usado para representar o desempenho esperado durante o comissionamento. Diferenças significativas entre o desempenho previsto e medido podem então ser investigadas

e associadas a deficiências de construção, mau funcionamento dos equipamentos, erros de projeto, entradas de simulação incorretas ou modelos inadequados (NIST, 2007).

DOE em 2009 também realizou um estudo onde oito problemas encontrados ao longo do processo de retrocomissionamento em edificações foram simulados no EnergyPlus em três tipos de edifícios diferentes (hospital, escritório e escola) em cinco climas diferentes (Chicago, Denver, Houston, Phoenix e Los Angeles) para determinar quantitativamente os benefícios das atividades do retrocomissionamento que foram utilizadas para resolver os problemas encontrados. Foi concluído que quando comparado os modelos simulados com os edifícios de base, a mudança na intensidade energética variou de -5,31 Btu/ft² a 76,17 Btu/ft²; a economia de custos de energia variou de -US\$ 0,04/pé² a US\$ 0,89/pé² e o retorno simples associado para as medidas de retrocomissionamento variou de imediato a 32,6 anos para um retrofit de acionamento de frequência variável do ventilador de alimentação. Logo, através da simulação foi possível analisar a mudança na intensidade de energia, a economia no custo de energia e o tempo de retorno do dinheiro gasto com as medidas de retrocomissionamento em cada modelo simulado (DOE, 2009).

3 RETROFIT DE EDIFICAÇÕES

3.1 Conceitos, Objetivos e Desafios do Retrofit

Dentre os diversos conceitos para o retrofit de edifícios, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), descreve que, no âmbito da construção civil, o *retrofit* é definido como: “Uma intervenção que tem como objetivo incorporar melhorias e alterar o estado de utilidade de uma edificação” (CBCS, 2013, p.1).

O *Technology Strategy Board* (TSB, 2014) afirma que o *retrofit* é a introdução de novos materiais, produtos e tecnologias em um edifício existente para reduzir a energia necessária para a ocupação de uma edificação.

De forma análoga aos conceitos anteriores, segundo a norma brasileira de Desempenho - NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), o *retrofit* é definido como um processo que busca remodelar ou atualizar uma edificação ou um sistema, por intermédio da inserção de novas tecnologias e conceitos, mudança de uso, aumento da vida útil e eficiência energética da edificação.

A execução do retrofit busca criar novas oportunidades de reutilização para edificações que não atendem mais as funções para as quais foram projetadas. Logo, para que seja possível realizar as modificações na edificação, podem ocorrer ações de: demolição de partes da construção existente, reforços estruturais, fechamentos internos, substituições de redes hidráulica, elétrica ou telefônica, climatização e intervenções nas fachadas e nos pisos (CORREIA, 2015).

Além da possibilidade de readequação de um prédio a um novo uso, a realização do *retrofit* em edifícios, pode ocasionar também grandes benefícios aos usuários da edificação, como, por exemplo, a possibilidade da redução do consumo de energia e de água, melhorias na qualidade do ambiente interno do edifício e na redução dos impactos negativos do edifício sobre o usuário, como doenças causadas devido ao mau estado do prédio (BCA, 2010).

Apesar do fato do *retrofit* trazer grandes benefícios aos prédios existentes e aos usuários, neste processo ainda é um desafio desenvolver um modelo único para a realização do *retrofit*, uma vez que cada edifício tem um padrão de consumo, ocorrendo variações dependendo da necessidade dos usuários do prédio (PACHECO et al., 2017).

Segundo o *Advanced Energy Retrofit Guides: Office Buildings*, desenvolvido pelo *Pacific Northwest National Laboratory* (PNNL) e pelo *Portland Energy Conservation*,

Inc. em 2011, são descritos cinco obstáculos para a elaboração do processo de retrofit, que são (PNNL; PEGI, 2011): dificuldade em começar o processo; capital limitado e concorrência por recursos; carência de recursos com relação aos gastos adicionáveis e a economia de energia; falhas ao avaliar todos os benefícios obtidos ao longo do projeto e falta de definição de um método específico para o desenvolvimento de um *retrofits* profundos.

Partindo da necessidade de obter um método adequado para a execução do *retrofit* em edificações, pesquisadores e acadêmicos têm trabalhado para enquadrar de forma otimizada as abordagens de retrofit em conformidade com os padrões e códigos de construção (PACHECO et al., 2017).

3.2 Modelos do processo de *retrofit* de edificações e suas etapas

Foi realizado um levantamento e análise comparativa de modelos do processo, identificados a partir da revisão de literatura, a fim de identificar semelhanças e diferenças nas etapas propostas para o processo de *retrofit*.

O primeiro modelo faz parte do *Advanced Energy Retrofit Guides: Office Buildings* elaborado pelo *Pacific Northwest National Laboratory* (PNNL) e pelo *Portland Energy Conservation, Inc.* (PECI), dos Estados Unidos da América, em 2011 (PNNL; PEGI, 2011). O segundo, *Existing Building Retrofit*, foi desenvolvido pela *Building and Construction Authority* (BCA), de Cingapura, em 2010 (BCA, 2010). Já o terceiro, faz parte do Roadmap for Incorporating Energy Efficiency Retrofits in Existing Buildings, desenvolvido pelo *The Energy and Resources Institute* (ERI), da Índia, em 2013 (ERI, 2013).

Com o intuito de comparar as etapas que constituem o processo de *retrofit*, tendo como base os documentos apresentados, desenvolveu-se o Quadro 3.

Quadro 3: Etapas do processo de *retrofit* conforme são descritas nas três literaturas de base.

Etapas do processo de Retrofit		
<i>Advanced Energy Retrofit Guides: Office Buildings (Pacific Northwest National Laboratory; Portland Energy Conservation, Inc., 2011)</i>	<i>Existing Building Retrofit (Building and Construction Authority, 2010)</i>	<i>Roadmap for Incorporating Energy Efficiency Retrofits in Existing Buildings (The Energy and Resources Institute, 2013)</i>
a) desenvolvimento do roteiro de projeto;	a) determinação de uma linha de base;	a) avaliação interna;
b) benchmarking;	b) revisão de manutenção, compra e aquisição de energia;	b) pesquisa detalhada de energia;
c) auditoria energética;	c) estabelecer metas e objetivos;	c) análise técnica;
d) planejamento de projeto e realização de atividades comerciais;	d) reformar ou demolir;	d) análise de custo-benefício;
e) assistência financeira;	e) seleção das iniciativas ideais para as atualizações;	e) implementação;
f) comissionamento de edifícios existentes;	f) estabelecimento de custos e determinação da sequência de intervenções.	f) operação e manutenção.
g) retrofit padrão;		
h) retrofit profundo;		
i) medição e verificação (M&V);		
j) melhoria contínua por meio de operação e manutenção (O&M).		

Fonte: Autora, 2022.

Ao comparar os três documentos analisados, é possível afirmar que apesar das nomenclaturas das etapas que constituem o processo de *retrofit* descritos pelo PNNL e pelo PEGI (2011) e pelo ERI (2013), serem diferentes, os processos de *retrofit* como um todo, são semelhantes. Ambos os guias tem como foco o processo de *retrofit* para tornar a edificação analisada mais eficiente energeticamente. O guia desenvolvido pelo PNNL e pelo PEGI (2011), como contribuição a essa dissertação, descreve o comissionamento como sendo uma etapa que auxilia ao desenvolvimento do processo de *retrofit*. Também como contribuição, nos dois guias é sugerida a utilização da simulação como uma ferramenta que auxilia na análise do impacto de cada modificação proposta na edificação, anteriormente serem executadas as modificações nos sistemas analisados.

Já o modelo descrito pela BCA (2010), apesar de possuir algumas etapas semelhantes aos outros guias, possui o processo mais distinto quando comparado aos demais modelos, pois o foco desse guia é o emprego do processo *retrofit* para tornar a edificação analisada mais sustentável. Para isso, o processo leva em consideração além do consumo de energia, o consumo de água, de liberação de carbono, dentro outros. Este, possui também um processo menos completo quando comparado aos demais guias, pois leva em consideração apenas o projeto de *retrofit*, desconsiderando as verificações de que as modificações estão funcionando de acordo com o projeto e a etapa de uso e operação. Porém, esse guia traz como contribuição, uma etapa da qual descreve, que se deve definir o nível do *retrofit* de acordo com as reformas que serão executadas na edificação e uma lista com as possíveis modificações que podem ser desenvolvidas nas edificações e que geram grandes benefícios tanto ao prédio quanto aos ocupantes. Além, de também indicar o comissionamento como um processo que auxilia na obtenção de melhores resultados no *retrofit* de edificações.

3.3 Práticas de *retrofit* em edificações

O *Retrofit for Purpose: Low Energy Renewal of Non-Domestic Buildings* elaborado pela RIBA Publishing, em 2014 (RIBA, 2014). Descreve 11 estudos de caso, onde são apresentados vários tipos de edifícios. A partir destes estudos RIBA (2014), concluiu que o elemento mais desafiador na compilação dos estudos de caso foi a obtenção de dados de energia e carbono em um formato consistente, de modo que o desempenho possa ser comparado antes e depois do *retrofit* e também em vários edifícios em termos de uso real de energia. Mesmo nos melhores projetos há descontinuidades nas equipes de projeto e construção, o que significa que não há uma pessoa responsável por todos os dados. No início do projeto, os dados pré-*retrofit* podem não ter sido coletados com detalhes suficientes para permitir uma análise completa do desempenho pós-*retrofit*. Durante o projeto, os parâmetros que buscam grandes economias de energia podem ser modificados ao longo do processo de *retrofit* devido ao custo (RIBA, 2014).

Dentre os estudos descritos por RIBA (2014), selecionou-se um para ser retratado nessa dissertação, sendo este selecionado pois busca tornar a edificação mais eficientes energeticamente. O projeto de *retrofit* que será descrito é o desenvolvido no prédio 199 Bishopsgate situado em Londres. Edificação na qual embora fosse

estruturalmente sólida, as mudanças na tecnologia, comunicações e práticas de trabalho desde a sua conclusão fizeram com o prédio não atendesse mais às demandas dos ocupantes atuais e futuros, necessitando assim passar por um *retrofit* (RIBA, 2014).

Foram estipulados como os principais objetivos do *retrofit*: atualizar a qualidade, flexibilidade e *layout* do espaço do escritório; melhorar o *layout* da entrada do prédio e aprimorar a experiência de chegada ao prédio; melhorar o desempenho energético do edifício; implementar uma nova estratégia de construção para atender aos padrões modernos e futuros; trazer o edifício para padrões de escritório de classe mundial, otimizando a atratividade para ocupantes nos setores globais de serviços profissionais, finanças, seguros, tecnologia, mídia e telecomunicações e prolongar a vida útil da estrutura e dos serviços do edifício em 15 anos antes da próxima grande manutenção (RIBA, 2014).

Em específico para o desempenho energético da edificação, a estratégia é compreendida observando como a classificação do Certificado de Desempenho Energético foi alterada de 'E', com uma pontuação de 93, para a classificação alvo 'B', com uma pontuação de 47. Onde a modelagem térmica mostrou que o redesenho de todo o sistema HVAC e a centralização da planta reduziram a pontuação de 93 para 60; o uso de iluminação de baixo consumo e a introdução de controles de iluminação reduziram para 50 e também foram incluídas outras mudanças na especificação do vidro para reduzir a energia solar e algumas pequenas áreas de isolamento (RIBA, 2014).

Com relação a envoltória do edifício, a única mudança foi abaixo dos parapeitos das janelas, onde ficavam as unidades de ventilação, local que recebeu um novo isolamento. A modelagem térmica mostrou que geralmente a redução da transmitância térmica do envelope tem um benefício muito baixo, e o trabalho necessário não seria rentável (RIBA, 2014).

Para a análise do uso e da operação da edificação, como os ocupantes do edifício não são conhecidos e, portanto, não podem ser recrutados antecipadamente para desempenhar um papel na conservação de energia. Foi aplicado um método proativo para simular o comportamento dos inquilinos. O ponto de partida é o Estimador de Energia dos Ocupantes, que por meio de submedição, permite aos ocupantes obterem uma maior compreensão do impacto do seu uso do edifício e como isso se correlaciona com o uso de energia e carbono. Os ocupantes são então

mais propensos a ajustar o seu comportamento de acordo com o que foi estipulado (RIBA, 2014).

No final do processo de *retrofit*, conforme descrito neste estudo de caso, foi aplicado o processo de comissionamento e testes ambientais, a fim de garantir que os sistemas da edificação continuassem funcionando com a eficiência ideal.

Ainda referente a este estudo de caso, RIBA (2014) concluiu que após o processo de *retrofit*, a edificação ficou melhor integrada com seu contexto urbano; reduziu-se aproximadamente pela metade o uso de energia previsto e as emissões previstas em 40%; foram alcançados alguns objetivos de sustentabilidade e foi utilizado um programa de engajamento com os ocupantes, para ajudá-los a economizar energia operacional (RIBA, 2014).

Assim como no documento anteriormente citado, o *Retrofit for the Future: Reducing Energy use in Existing Homes - A Guide to Making Retrofit Work* elaborado pela Technology Strategy Board (TSB), em 2014 (TSB, 2014), também realizou estudos de caso que retratam o emprego do processo de *retrofit* em edificações. Neste documento, são descritas algumas modificações que as residências existentes podem passar para reduzir o consumo de energia, reduzir as emissões de carbono e economizar custos. Este documento tem como base 40 estudos de caso realizados em residências e oferece informações e orientações úteis para qualquer organização que considere um projeto de *retrofit* (TSB, 2014).

Apesar de terem sido analisadas 40 residências, o TSB (2014) descreve com maior detalhamento o processo de *retrofit* aplicado em 4 estudos de caso. Dentre estes, selecionou-se um estudo de caso para ser retratado nessa dissertação. O projeto de *retrofit* que será apresentado é o estudo de caso 2, aplicado em uma casa construída em 1992 em Londres. Composta por dois andares, terraço médio e três quartos. A sua envoltória era composta por paredes de alvenaria não preenchidas, vidros duplos e um telhado inclinado com uma quantidade limitada de isolamento no sótão (TSB, 2014).

Foram estipulados como os principais objetivos do *retrofit*: implantar nas paredes internas um isolamento com espuma rígida na frente e nas paredes externas com espuma fenólica rígida atrás; o preenchimento de lã de vidro nas cavidades das paredes internas; implantação de painéis de isolamento a vácuo de 20 mm no piso do térreo; implantar um poço de ventilação solar com vidro triplo; modificação da cobertura para uma de cânhamo e isolamento de fibra de madeira rígida para o

sótão; implantação de janelas de vidro triplo com painéis de ventilação e equipar a caldeira existente com recuperador de calor dos gases de combustão (TSB, 2014). Inicialmente foram realizadas reuniões com os moradores, onde foram retratadas algumas limitações da casa, como o superaquecimento no verão, o tamanho dos quartos e a necessidade de mais espaço de armazenamento. Em específico para melhorar a qualidade do ar, foi construído um poço de luz com ventilação, no qual quando a claraboia permanece aberta circula o ar; o ar fresco também entra na residência através de painéis de ventilação isolados que são localizados ao lado das novas janelas de vidro triplo, painéis estes que abrem automaticamente quando as condições internas são quente ou úmida e fecham automaticamente quando chove e no banheiro foi colocada uma ventilação mecânica de recuperação de calor (MVHR) (TSB, 2014).

Na envoltória da edificação foram analisadas várias propostas para o isolamento de toda a casa. Realizou-se uma análise das pontes térmicas para cada proposta e se destacou que as pontes térmicas das paredes internas tinham o maior potencial de perda de calor, sendo assim, estas foram isoladas com grânulos de fibra de lã de vidro que foram injetados na cavidade não preenchida das paredes. Já o piso térreo foi isolado com painéis de isolamento a vácuo ultrafinos de alto desempenho com proteção contra furos de chapas de aço finas e cobertura de espuma celular expandida (TSB, 2014).

Ao final do processo de *retrofit* os projetistas se preocuparam que os detalhes fornecidos nos desenhos do projeto não fossem sempre iguais aos que foram implementados na edificação, sendo assim, afim de que os moradores da residência compreendessem o que foi instalado na edificação e como funcionam os novos sistemas, foram realizadas duas vistas onde os técnicos forneciam informações de como funcionavam cada sistema implantado na residência e os moradores foram encorajados a utilizar os sistemas, a fim de que todas as dúvidas fossem esclarecidas juntamente com os responsáveis técnicos (TSB, 2014).

A partir dos 40 estudos de caso, o TSB (2014) concluiu que os projetos que previam um menor uso de energia provavelmente atingiriam um baixo consumo de energia em relação a outros projetos, porém não tão baixo quanto o que foi previsto; o setor de *retrofit* deve buscar compreender quais são as causas da diferença entre o uso de energia previsto e o real e existem algumas preocupações de que as casas adaptadas possam ser muito quentes ou muito frias com relação ao conforto, os

fatores que podem influenciar incluem: o níveis de isolamento; a eficácia da ventilação; a natureza, o tamanho e a usabilidade do sistema de aquecimento e a capacidade dos proprietários de usarem os sistemas e os equipamentos (TSB, 2014).

4 MÉTODO DE PESQUISA

Primeiramente, será descrita a estratégia de pesquisa adotada e, posteriormente, será caracterizado o delineamento de pesquisa, as etapas e as técnicas adotadas para a coleta de dados.

4.1 Estratégia de Pesquisa

Com base nos objetivos do estudo, a estratégia de pesquisa utilizada foi a *Design Science Research* que, conforme Santos (2018), é um método adequado para projetos de pesquisa quando há criação de um artefato que gere melhorias no mundo real presente ou futuro.

É possível definir artefato como tudo que não é natural, adaptado aos objetivos e propósitos humanos (SIMON,1996). Partindo deste fato, Vakkari (1994) relata que a missão da *Design Science Research* é, a partir da pesquisa, elaborar diretrizes pelas quais os acessos às informações possam ser aprimorados.

Lacerda et al. (2013) argumenta que tanto os problemas quanto as soluções podem compartilhar características semelhantes, permitindo, com isso, realizar uma *Design Science Research*, classificada de acordo com as semelhanças entre diversos problemas referentes a um mesmo assunto, sendo possível assim a generalização e o avanço do conhecimento em uma determinada área.

Esta compreensão não é a única, entretanto. Alguns autores relatam que há uma limitação na sua aplicabilidade, não sendo possível a generalização. Wayne (2010), por exemplo, defende que o resultado de uma pesquisa baseada na *Design Science* é, principalmente, uma solução individual ou local, fazendo com que os resultados não possam ser generalizados para outras configurações.

Sendo assim, apesar de alguns autores descreverem que a *Design Science Research* pode ser generalizada de acordo com cada área, deve-se analisar cada pesquisa individualmente, a fim de obter a melhor solução para o problema estudado.

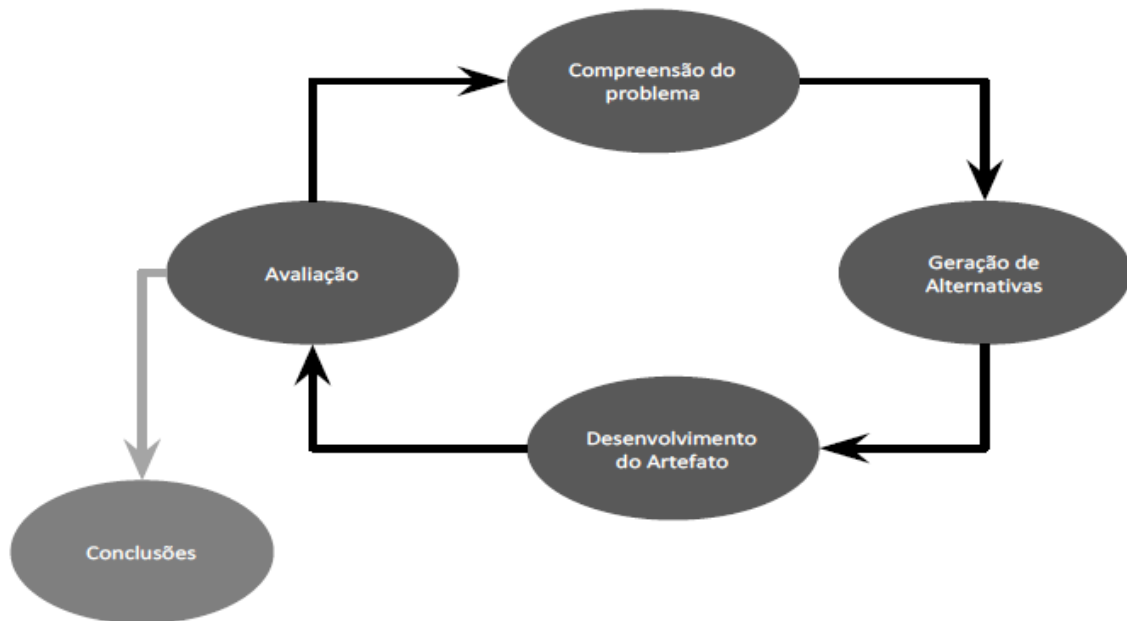
Santos (2018), retrata que o processo de *Design Science Research* é subdividido, basicamente, em cinco etapas, conforme apresentado na Figura 1. A primeira etapa é a de compreensão do problema, podendo esta ser parcial ou total. A compreensão do problema de forma parcial torna-se possível uma vez que o artefato possibilita o

refinamento da definição do problema viabilizando, com isso, um novo ciclo de geração de alternativas e o desenvolvimento do artefato.

A segunda etapa é a de geração de alternativas, etapa na qual o processo é essencialmente criativo e pode ser realizado por um pesquisador ou por um grupo pesquisadores. A terceira é o desenvolvimento do artefato, sendo possível desenvolver nesta etapa um novo conceito, modelo, ferramenta, método, serviço ou sistema (SANTOS. 2018).

A quarta etapa é a avaliação, cujo principal objetivo é comparar como deveria ser o objeto estudado e o que é possível obter como resultado através da aplicação do artefato. E a última é etapa de conclusões, na qual deve-se resumir de forma textual ou visual as lições assimiladas ao longo da pesquisa, além de apontar as contribuições do trabalho (SANTOS. 2018).

Figura 1: Ciclo das etapas da pesquisa em Design Science Research

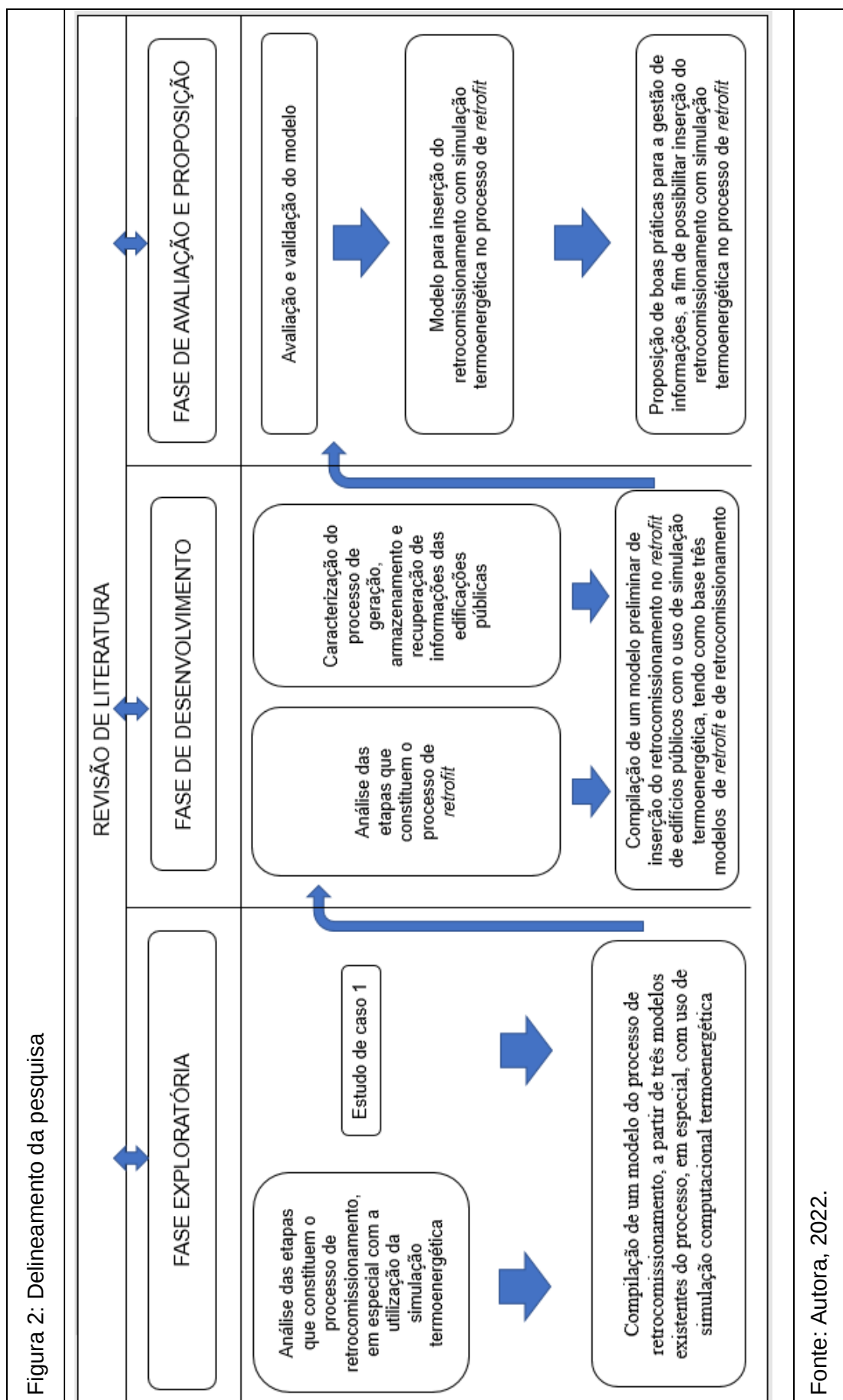


Fonte: SANTOS (2018, p. 81).

4.2 Delineamento da pesquisa

A estrutura desta pesquisa encontra-se subdividida em quatro fases, a saber: (a) revisão de literatura; (b) fase exploratória; (c) fase de desenvolvimento e (d) avaliação e proposição. A seguir, na Figura 2, estão representadas as fases e suas respectivas subfases.

Figura 2: Delineamento da pesquisa



4.2.1 Revisão de Literatura

Esta fase ocorreu ao longo de todo o processo da pesquisa. Inicialmente foi desenvolvida uma revisão de literatura, sobre temas associados a presente pesquisa: retrocomissionamento de edifícios, simulação computacional e retrofit de edifícios.

A fim de compreender o processo de retrocomissionamento, primeiramente, foi elaborada uma busca por referências que descrevessem os conceitos e objetivos do processo de comissionamento, do qual o retrocomissionamento é uma das variantes. Logo após, foi elaborada uma investigação sobre o surgimento do processo de comissionamento em edificações, como também a evolução deste processo ao longo do tempo, auxiliando na compreensão do processo de retrocomissionamento e das etapas que o constituem.

A fim de compreender a simulação computacional, buscou-se estudos nos quais fossem descritos os conceitos de simulação, assim como as principais vantagens e desvantagens relacionadas à utilização desta ferramenta. Por se tratar do estudo da simulação computacional termoenergética em edificações, foram selecionadas referências sobre a utilização dessa ferramenta, na análise de edificações, assim como da origem e da evolução do emprego da simulação em edificações.

Com o intuito de tornar os prédios existentes mais eficientes, torna-se necessário compreender os requisitos para a etiquetagem de edifícios e, mais especificamente, a utilização da simulação computacional nesse processo, desta forma realizou-se a procura de referências sobre o assunto. Também, buscou-se por referências que descrevessem quais são os dados das edificações que são necessários para o desenvolvimento de uma simulação termoenergética e quais destes dados tem um maior impacto com relação a eficiência energética dos edifícios. Logo após, com a finalidade de analisar o emprego da simulação termoenergética no retrocomissionamento, buscou-se por estudos que descrevem a relevância da utilização da simulação computacional como ferramenta no processo de retrocomissionamento.

Por fim, com o intuito de compreender o processo de *retrofit* de edificações, primeiramente, foi elaborada uma busca por referências que descrevessem os conceitos, objetivos e desafios do processo de retrofit em edificações. Também, foi elaborada uma investigação sobre modelos do processo de *retrofit* em edificações e as suas etapas. E logo após, buscou-se por estudos que descrevessem a

aplicação do processo de *retrofit* em edificações, os resultados obtidos após o *retrofit* e as dificuldades do emprego do processo.

4.2.2 Fase exploratória

Esta fase foi subdividida em quatro etapas: (a) análise das etapas que constituem o processo de retrocomissionamento, em especial com a utilização da simulação termoenergética; (b) estudo de caso 1; e (c) compilação de um modelo do processo de retrocomissionamento, a partir de três modelos existentes do processo, em especial, com uso de simulação computacional termoenergética.

4.2.2.1 Análise das etapas que constituem o processo de retrocomissionamento, em especial com a utilização da simulação termoenergética

Inicialmente, foi desenvolvida uma busca por referências relacionadas ao processo de retrocomissionamento, que descrevessem modelos de suas etapas.

Foram identificados por meio da revisão de literatura três guias, que apresentam modelos de retrocomissionamento: (a) *California Commissioning Guide: Existing Buildings* (CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2006); (b) *A Retrocommissioning Guide for Building Owners* (PORTLAND ENERGY CONSERVATION, INC., 2007); e (c) *Technical Guidelines on Retro-commissioning* (ELECTRICAL AND MECHANICAL SERVICES DEPARTMENT, 2017).

Os dois primeiros guias foram selecionados devido à disponibilização do acesso do processo de retrocomissionamento de forma completa, como aplicado nos Estados Unidos, país pioneiro na implementação do comissionamento no setor da construção (CARDOSO, 2015).

Já o terceiro guia foi selecionado por retratar o processo de retrocomissionamento de um país distinto do já citado, ilustrando o processo aplicado na China, além do fato de ser mais atual frente aos dois anteriores e utilizar a simulação computacional como ferramenta de apoio ao processo.

A partir da definição dos guias, realizou-se a comparação das etapas e das fases que compõem o processo de retrocomissionamento em cada documento, a fim de identificar semelhanças e diferenças no processo, conforme já apresentado na subseção 2.2.1 desse trabalho.

Por fim, após a análise comparativa das etapas que constituem o processo de retrocomissionamento, foi definido o modelo de retrocomissionamento com

utilização da simulação computacional como ferramenta de apoio, que serviu de base para a continuidade desta pesquisa.

4.2.2.2 Estudo de Caso 1 – EC1

Com o intuito de compreender quais são as dificuldades encontradas para o desenvolvimento de uma simulação termoenergética, optou-se por realizar um estudo de caso tendo como foco a simulação de uma edificação real.

4.2.2.2.1 Seleção do *software* de simulação

Para a consecução da simulação termoenergética optou-se por utilizar o *software* EnergyPlus, a ferramenta computacional Sketchup 2017 para criar o modelo 3D da edificação analisada, com o auxílio do *plug-in* Euclid (versão 0.9.3), sendo gerado assim arquivos em formato IDF, os quais passam por uma configuração e são finalizados no EnergyPlus (versão 8.7.0). No *software*, foram definidas as propriedades dos materiais utilizados no modelo desenvolvido, com informações acerca da envoltória da edificação como paredes, teto e divisórias.

A ferramenta lida com dados climáticos da localização da edificação para produzir a análise de desempenho. Os dados são fornecidos por um arquivo com formato “.epw” o qual abarca indicadores de latitude, longitude, altitude, temperatura do solo, direção e velocidade dos ventos, temperaturas de bulbo seco e de orvalho, umidade relativa e radiação solar.

Outros dados de entrada do programa são as cargas internas da edificação, dentre as quais: equipamentos, ocupação e iluminação. Determina-se, também, um perfil de horário de uso para todos esses parâmetros de entrada, através do qual o programa baseia-se para calcular o consumo de energia.

4.2.2.2.2 Seleção da edificação e levantamento de dados do edifício

Para a escolha da edificação a ser analisada definiu-se que o prédio teria que ter passado por uma readaptação do seu uso. A edificação em questão pertence a uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES), localizada na região sul do Rio Grande do Sul.

Assim, a edificação escolhida foi um prédio de dois pavimentos, construído entre 1935 e 1938 para sediar uma alfândega e que foi ocupado pela referida IFES no ano de 2010, passando a abrigar uma unidade acadêmica.

Assim, foi necessário buscar dados técnicos sobre a edificação (projetos e contas de energia); dados construtivos (materiais que compõem a cobertura, as paredes,

os pisos e as aberturas); período de ocupação e quantidade de pessoas em cada ambiente, potência de iluminação em cada cômodo e dados de utilização e técnicos sobre os sistemas de ar-condicionado instalados no prédio. A fim de identificar se todos os dados necessários para o desenvolvimento da simulação são possíveis de serem encontrados.

4.2.2.3 Compilação de um modelo do processo de retrocomissionamento, a partir de três modelos existentes do processo, em especial, com uso de simulação computacional termoenergética

Após a proposição de um modelo de retrocomissionamento com simulação computacional, baseado em guias internacionais de retrocomissionamento e a definição dos dados das edificações que são necessários para o emprego da simulação termoenergética. Foi possível avaliar em que fase do processo de retrocomissionamento a simulação poderá ser inserida como ferramenta de apoio. A fim de desenvolver uma proposta de um modelo preliminar de retrocomissionamento com utilização da simulação computacional termoenergética, utilizou-se como base as etapas e as fases do processo de retrocomissionamento com simulação computacional, que foram obtidos por intermédio dos guias de retrocomissionamento analisados e, a estas etapas do processo, foram inseridos os requisitos necessários para o emprego da simulação termoenergética, apresentados no quadro 2.

4.2.3 Fase de desenvolvimento

A fase de desenvolvimento deste trabalho foi subdividida em três etapas: (a) análise das etapas que constituem o processo de *retrofit*; (b) caracterização do processo de geração, armazenamento e recuperação de informações das edificações públicas; e (c) compilação de um modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento no *retrofit* de edifícios públicos com o uso de simulação termoenergética, tendo como base três modelos de *retrofit* e de retrocomissionamento.

4.2.3.1 Análise das etapas que constituem o processo de *retrofit*

Inicialmente, foi desenvolvida uma busca por referências relacionadas ao processo de *retrofit*, que o descrevessem, bem como suas etapas.

Foram identificados por meio da revisão de literatura três documentos, que apresentam modelos do processo de *retrofit* em edificações: (a) *Advanced Energy Retrofit Guides: Office Buildings* (Pacific Northwest National Laboratory; Portland

Energy Conservation, Inc., 2011); (b) *Existing Building Retrofit (Building and Construction Authority, 2010)*; e (c) *Roadmap for Incorporating Energy Efficiency Retrofits in Existing Buildings (The Energy and Resources Institute, 2013)*.

O primeiro documento foi selecionado devido à descrição do processo de *retrofit* de forma completa aplicado em edificações para torná-las mais eficientes energeticamente e por indicar a utilização do comissionamento ao longo do processo de *retrofit*, objetivo desta pesquisa, como aplicado nos Estados Unidos da América.

O segundo documento foi selecionado pois busca, melhorar a eficiência energética das edificações, torná-las mais sustentáveis e pelo fato de que, assim como o primeiro, também indica a utilização do comissionamento ao longo do processo.

O terceiro documento foi escolhido, pois assim como o primeiro, este disponibiliza o processo de *retrofit* de forma completa aplicado em edificações para torná-las mais eficientes energeticamente, como pelo fato de utilizar a simulação computacional ao longo do processo; sendo este aplicado na Índia.

A partir da definição dos documentos de referência, realizou-se uma análise comparativa, a fim de identificar semelhanças e diferenças no processo de *retrofit*, conforme apresentado na subseção 3.2 deste trabalho, caracterizando, desta forma, as etapas que constituem o processo de *retrofit* em cada guia.

Por fim, após a análise comparativa das etapas que constituem o processo de *retrofit*, foi definido um modelo de *retrofit* em edificações, base para este trabalho.

4.2.3.2 Caracterização do processo de geração, armazenamento e recuperação de informações das edificações públicas

Após o desenvolvimento do estudo de caso 1, foi possível identificar que muitos dados da edificação não estavam disponíveis ou foram de difícil obtenção. Esta situação é corroborada por ERI (2013), que afirma que coletar os dados de edifícios existentes, muitas vezes é um grande desafio, pois a maioria dos dados não estão disponíveis.

Assim, optou-se por desenvolver um estudo de caso em uma IES, já descrita no Estudo de Caso 1, buscando assim, identificar quais são e como são armazenados os dados e os documentos ao longo do ciclo de vida de Edificações Públicas.

Para tanto, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com servidores da IES, lotados em setores-chave quanto à geração, arquivamento e recuperação de dados pertinentes às edificações.

O primeiro entrevistado foi o coordenador da Coordenadoria De Obras e Planejamentos Físicos (COPF), responsável pela elaboração de projetos, elaboração e condução de processos de licitação de obras, bem como pelo acompanhamento e fiscalização de obras da IES analisada.

Posteriormente, mais dois servidores da mesma Coordenadoria foram também entrevistados: a chefe do setor de Arquitetura e o Engenheiro de Segurança do Trabalho.

Por fim, foi realizada a entrevista com o Superintendente de Infraestrutura da IES, responsável pela manutenção de equipamentos e sistemas implantados nas edificações pertencentes a IES.

Um questionário foi previamente elaborado, com questões orientadoras acerca dos documentos e dados gerados e armazenados ao longo da construção, uso, operação e manutenção das edificações no âmbito da IES estudada. As questões foram divididas ao longo das cinco etapas do ciclo de vida das edificações: etapa de projeto, etapa de execução, etapa de entrega provisória e definitiva do prédio, etapa de uso e operação e etapa de manutenção. Este questionário está disponível no Apêndice A, desta pesquisa.

Com base nas evidências deste segundo estudo de caso, foi possível definir quais são e como são armazenados os dados e os documentos pertinentes ao longo das etapas do ciclo de vida de uma edificação pública, assim como foi possível identificar em quais situações os dados das edificações e dos sistemas podem ser perdidos ou se tornarem desatualizados.

Desta forma, foram estabelecidas oportunidades de melhoria para o processo, à luz da necessidade de dados das edificações para fins de apoiar o processo de retrocomissionamento com o emprego da simulação termoenergética no retrofit.

4.2.3.3 Compilação de um modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento no *retrofit* de edifícios públicos com o uso de simulação termoenergética

Após o desenvolvimento de um modelo de retrocomissionamento em especial com utilização da simulação computacional e o desenvolvimento de um modelo de

retrofit em edificações, os dois modelos foram analisados e comparados e a partir de ambos, foi desenvolvido um modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento no *retrofit* de edifícios públicos com uso de simulação termoenergética.

4.2.4 Fase de avaliação e proposição

Esta fase foi subdividida em três etapas: (a) avaliação e validação do modelo; (b) modelo para inserção do retrocomissionamento com simulação termoenergética no processo de *retrofit*; e (c) proposição de boas práticas para a gestão de informações, a fim de possibilitar inserção do retrocomissionamento com simulação termoenergética no processo de *retrofit*.

4.2.4.1 Avaliação e validação do modelo

Nesta etapa, o modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento no *retrofit* de edificações públicas com uso de simulação termoenergética foi apresentado e discutido com um grupo de informantes qualificados, por meio de um grupo focal.

O Grupo de foco é um tipo especial de entrevista em grupo que é estruturada para reunir opiniões de forma mais detalhadas e conhecimentos sobre um determinado tópico com participantes selecionados (Bader; Rossi, 2002).

A fim de embasar a entrevista de avaliação e validação do modelo preliminar proposto nesta dissertação, optou-se por utilizar as etapas propostas por Bader e Rossi (2002) como referência.

A primeira etapa realizada para o desenvolvimento do grupo focal, conforme descrito pelo guia, é responder as seis questões para que assim, posteriormente possa ser definida a declaração de proposito da entrevista. Sendo assim, as perguntas e suas respectivas respostas encontram-se no Quadro 4, demonstrado a seguir.

Quadro 4: Perguntas e respostas para a definição da declaração de propósito da entrevista

Perguntas	Respostas
1) Qual é a razão para utilizar o grupo focal?	Optou-se por utilizar o grupo focal pois por intermédio deste é possível elaborar uma entrevista de forma mais estruturada, para que assim os entrevistados possam analisar e opinar sobre o modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento no retrofit de edifícios públicos com o uso de simulação termoenergética, desenvolvido nessa pesquisa.
2) Qual é o problema geral?	A pergunta principal dessa dissertação consiste em: “Como orientar o <i>retrofit</i> de edifícios públicos, quanto às intervenções necessárias para torná-los termoenergicamente mais eficientes?”
3) Quais são os problemas específicos?	As perguntas específicas desta dissertação consistem em: a) Como inserir o retrocomissionamento no processo de <i>retrofit</i> de edifícios públicos? b) Quais as principais contribuições do retrocomissionamento, especialmente utilizando a simulação termoenergética, para o processo de <i>retrofit</i> de edifícios públicos? c) Quais as principais dificuldades para o desenvolvimento do retrocomissionamento, utilizando a simulação computacional, no contexto estudado?
4) Que objetivos você espera alcançar usando um grupo de foco?	Espera-se que através do grupo focal os entrevistados analisem e validem o modelo preliminar proposto nesta pesquisa.
5) A que propósito as informações servirão?	As informações fornecidas pelos entrevistados servirão para validar e concluir o modelo definitivo de inserção do retrocomissionamento com simulação termoenergética no processo de retrofit de edificações.
6) De quem você deseja coletar informações?	Especialistas em eficiência energética das edificações

Fonte: Autora, 2022.

A partir das respostas foi possível definir então a declaração de propósito para entrevista, que se caracteriza como sendo a avaliação e validação, pelos entrevistados, do modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento no retrofit de edifícios públicos com o uso de simulação termoenergética.

Após a definição da declaração de propósito, a próxima etapa realizada foi definir os integrantes do grupo focal. Conforme foi descrito na resposta da questão seis, optou-se por convidar para integrar o grupo focal especialistas em eficiência energética, colaboradores em um Organismo de Inspeção Acreditado junto ao INMETRO, foram convidados então três especialistas, são eles: o coordenador geral, Doutor em Engenharia Civil e dois inspetores, o primeiro Mestre em Arquitetura e Urbanismo e o segundo Doutor em Engenharia Mecânica.

Foram definidos os temas a serem abordados e o grupo focal se deu de forma online onde foram apresentados os tópicos definidos por intermédio de slides.

Primeiramente foi realizada a apresentação do nome definido para a dissertação e posteriormente iniciou-se a apresentação dos tópicos. Primeiramente foi apresentado aos entrevistados as perguntas e a declaração de propósito do grupo focal e posteriormente foram apresentados os conceitos dos três temas analisados na dissertação, retrocomissionamento, simulação termoenergética e retrofit, para que assim, os entrevistados compreendessem os assuntos abordados.

Logo após, foi apresentado os guias de retrocomissionamento e de retrofit que foram analisados e foi apresentado o estudo de caso elaborado em uma edificação pertencente a uma IFES, a fim de obter os dados necessários para o desenvolvimento de uma simulação termoenergética e por fim foi realizada a apresentação do modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento com simulação termoenergética no processo de retrofit de edificações, para que os entrevistados analisassem.

4.2.4.2 Modelo para inserção do retrocomissionamento com simulação termoenergética no processo de *retrofit*

Após a etapa de avaliação e validação do modelo, um modelo final foi elaborado, tendo como base as discussões e o consenso obtido entre os participantes do grupo focal, quanto às etapas e desenvolvimento do processo de retrocomissionamento com simulação termoenergética no processo de retrofit.

4.2.4.3 Proposição de boas práticas para a gestão de informações, a fim de possibilitar inserção do retrocomissionamento com simulação termoenergética no processo de *retrofit*

Foram propostas boas práticas para a gestão de informações no processo de *retrofit* de edificações públicas subdivididas em três tópicos: (a) obtenção e armazenamento de dados, (b) gestão de informações e (c) integração entre setores. Tendo como intuito orientar a geração e armazenamento de dados sobre a edificação, no apoio ao processo de retrocomissionamento com simulação termoenergética.

5 DESENVOLVIMENTO

5.1 Modelo de retrocomissionamento com apoio da simulação computacional

A fim de compreender as etapas que constituem o processo de retrocomissionamento de edificações, foi desenvolvida uma busca por referências relacionadas ao processo de retrocomissionamento, que descrevessem modelos e suas etapas.

Foram identificados por meio de revisão de literatura três guias, que apresentam modelos de retrocomissionamento: (a) *California Commissioning Guide: Existing Buildings* (CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, 2006); (b) *A Retrocommissioning Guide for Building Owners* (PORTLAND ENERGY CONSERVATION, INC., 2007); e (c) *Technical Guidelines on Retro-commissioning* (ELECTRICAL AND MECHANICAL SERVICES DEPARTMENT, 2017).

A partir da definição dos guias, realizou-se uma análise comparativa, a fim de identificar semelhanças e diferenças no processo de retrocomissionamento, conforme apresentado na subseção 2.2.1 deste trabalho, caracterizando, desta forma as etapas que constituem o processo de retrocomissionamento.

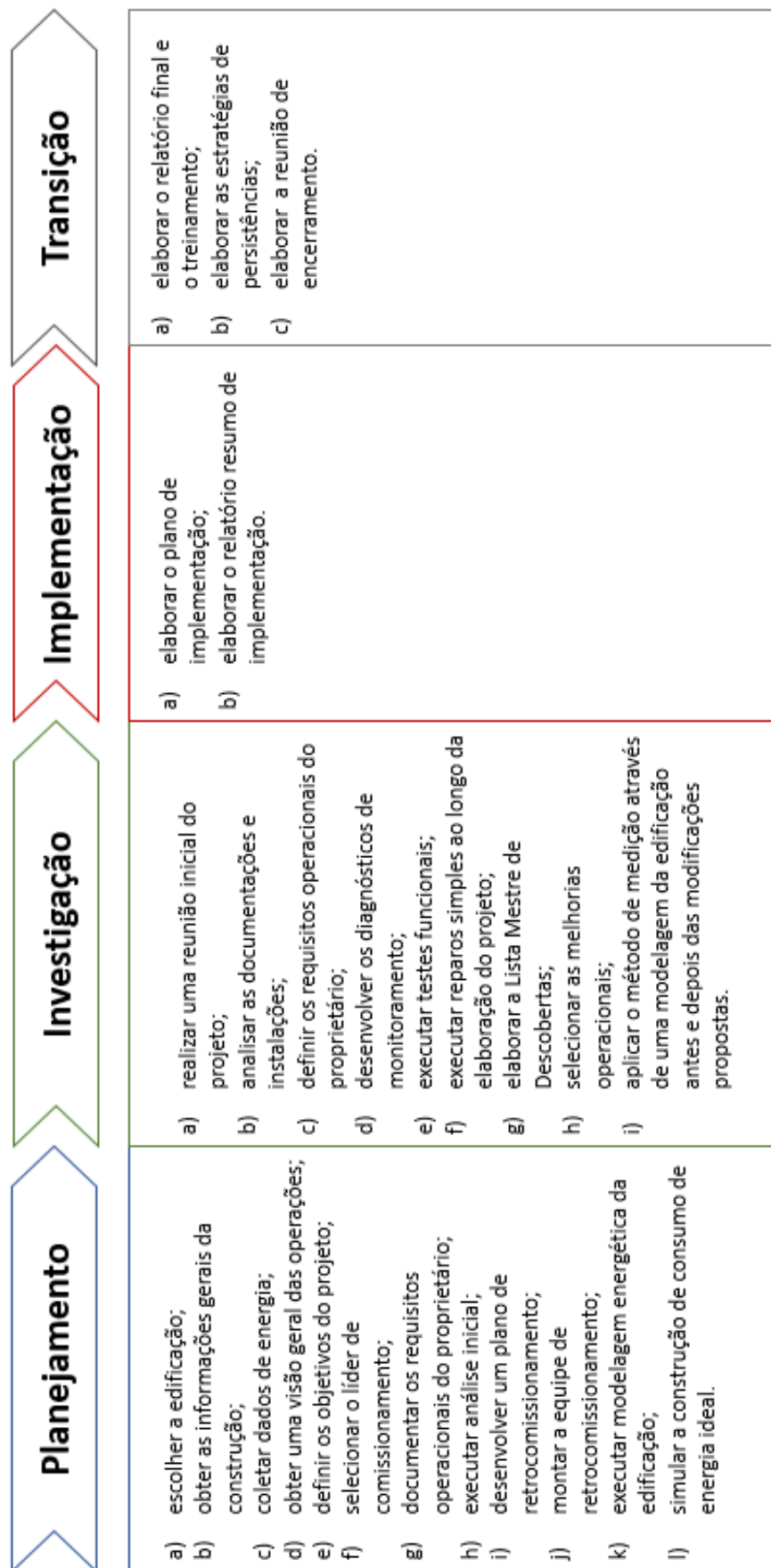
Através da análise comparativa realizada entre os guias é possível afirmar que as etapas que constituem o processo de retrocomissionamento descritos pela CEC (2006) e pela PECEI (2007) são semelhantes, pois as fases que constituem cada etapa do processo de retrocomissionamento descritas pelo primeiro guia encontram-se registradas no segundo, porém o guia elaborado pela PECEI (2007) especifica as fases do processo com um maior número de detalhamento quando comparado ao guia elaborado pela CEC (2006).

Já no modelo descrito pelo EMSD (2017) é possível observar que a maioria das fases que constituem as etapas do processo de retrocomissionamento são denominadas de forma diferente, quando comparado aos guias já citados, porém o processo em si permanece semelhante. A grande contribuição deste guia é a inserção da simulação computacional nas etapas de planejamento e investigação. Sendo assim, optou-se por definir como modelo de retrocomissionamento, um compilado dos modelos descritos nos guias elaborados pela CEC (2006) e pela PECEI (2007).

Com o intuito de inserir a simulação termoenergética no processo, foi adicionada na fase de planejamento a etapa denominada de “execução da modelagem energética da edificação” e na fase de investigação a etapa denominada de “método de medição através de uma modelagem da edificação antes e depois das modificações propostas”. Ambas as etapas descritas no guia elaborado pela EMSD (2017).

Com isso, o modelo de retrocomissionamento com apoio da simulação computacional, definido a partir dos guias analisados, é apresentado na Figura 3.

Figura 3: Modelo do processo retrocomissionamento em especial com utilização da simulação computacional como ferramenta de apoio, baseado na análise dos guias de retrocomissionamento



Fonte: Autora, 2022.

5.2 Estudo de Caso 1

Considerando que um dos objetivos desta pesquisa consiste em “identificar as dificuldades para o desenvolvimento do retrocomissionamento, utilizando a simulação computacional, no contexto estudado”, optou-se por enfatizar, aqui, os aspectos relacionados às demandas de dados e informações necessárias ao desenvolvimento do processo de simulação.

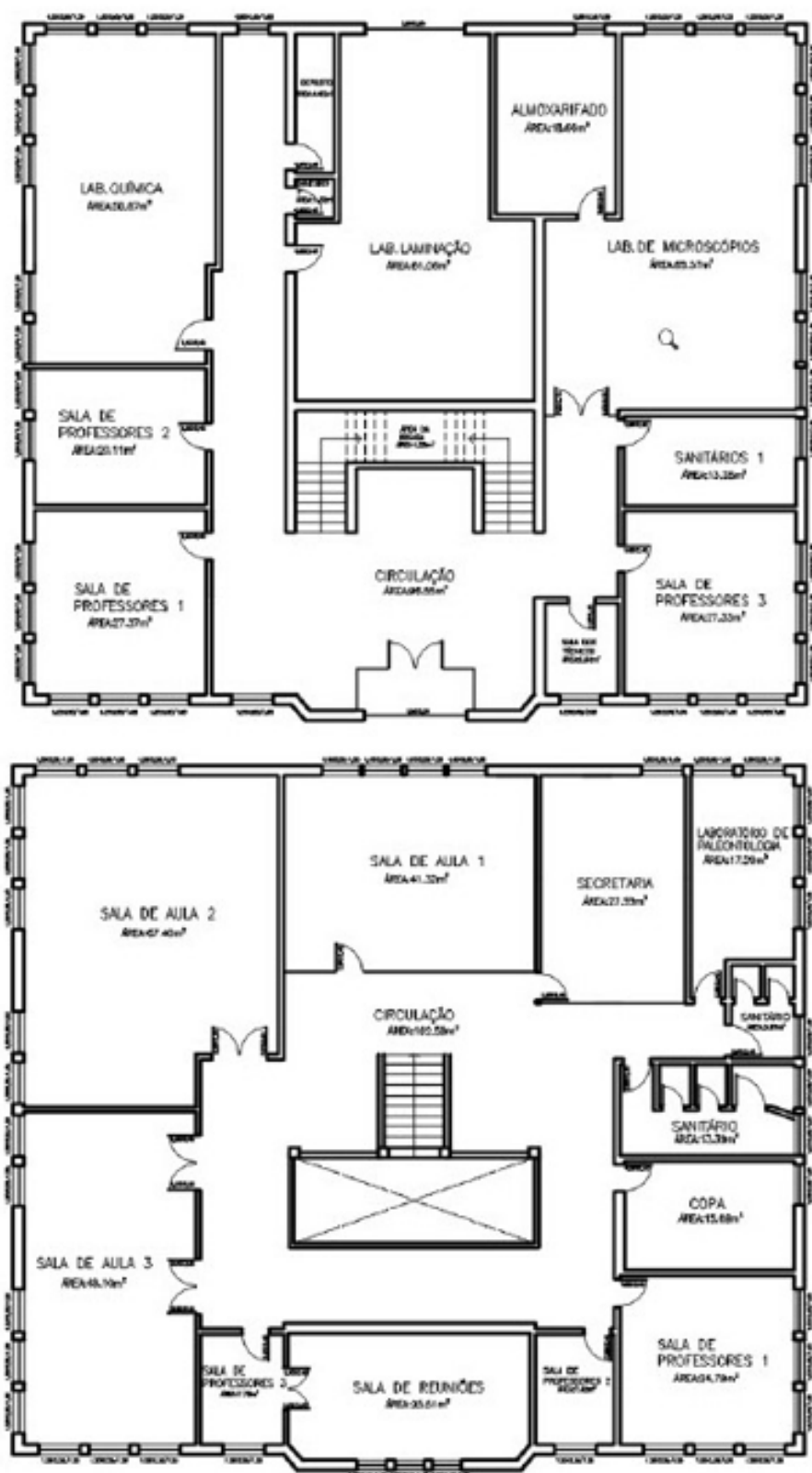
Sendo assim, após a definição de que o prédio estudado seria o prédio da antiga alfândega, que foi ocupado pela referida IFES no ano de 2010, passando a abrigar uma unidade acadêmica. Iniciou-se a busca pelos dados da edificação que são necessários para o desenvolvimento da simulação termoenergética deste prédio.

Primeiramente foram obtidas as plantas baixas do prédio em formato “DWG” possibilitando assim obter as dimensões e a área de cada compartimento do edifício. A edificação escolhida possui dois pavimentos. O pavimento térreo é composto por três salas de professores, dois sanitários, três laboratórios, um almoxarifado, um depósito, uma sala dos técnicos, uma área de escadas e uma área de circulação.

Já o segundo pavimento é composto por três salas de aula, três salas de professores, dois sanitários, uma secretaria, um laboratório, uma sala de reuniões, uma copa e uma área de circulação. A Figura 4, a seguir, apresenta as plantas-baixas da edificação estudada.

Além das plantas, foram levantados todos os equipamentos elétricos e as suas respectivas potências dos laboratórios de química e de laminação, conforme o Quadro 5.

Figura 4: Planta-baixas da edificação estudada



Fonte: Coordenadoria de Obras e Planejamento Físico da UFPel, 2019.

Quadro 5: Tipos de equipamentos elétricos e suas respectivas potências existentes nos Laboratórios

Laboratório 1	
Equipamento	Potência
1 Mufla	3500w
2 Blocos de Digestores	4000w
3 Estufas	3000w
2 Chapas Aquecimento	3000w
1 lavadora Ultrassônica	110w
2 Exaustores	400w
3 Bombas Vácuo	660w
3 Agitadores Mag.	120w
1 Destilador	180w
2 Micro-ondas	3200w
3 Mantas Aquecedoras	750w
Total	18.920w
Laboratório 2	
Equipamento	Potência
1 Moinho de Rocha	3500w
1 Cortador de Rocha	2200w
3 Polidoras de Rocha	4500w
Total	10.200w

Fonte: Coordenadoria de Obras e Planejamento Físico da UFPel, 2019.

Após a obtenção das plantas da edificação e do levantamento dos equipamentos elétricos nos laboratórios, foram obtidas as contas de energia. A fim de tornar possível a análise do consumo do prédio ao longo do período de um ano, considerando que o estudo foi desenvolvido em meados de 2019, optou-se por utilizar as contas do consumo de energia do ano anterior, 2018, conforme demonstrado no Quadro 6.

Quadro 6: Consumo de energia da edificação no ano de 2018

Consumo de energia da edificação em 2018	
Mês	Consumo (kWh)
Janeiro	1.186
Fevereiro	938
Março	1.381
Abril	1.080
Maio	1.410
Junho	1.188
Julho	1.440
Agosto	1.416
Setembro	1.452
Outubro	1.164
Novembro	1.072
Dezembro	1.175
Total	14.902

Fonte: Adaptado das contas de energia, 2018.

Obter dados construtivos da edificação demandou um maior esforço, uma vez que o setor responsável por obras e planejamento físico da Instituição de Ensino

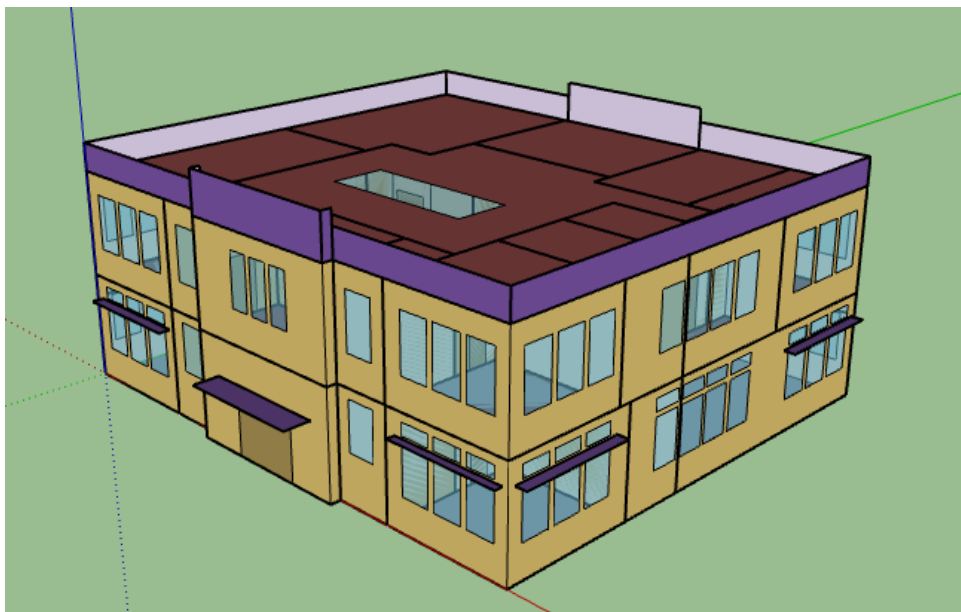
Superior (IES) informou que nos projetos elaborados não há exigência de registro da especificação de materiais que compõem a estrutura de paredes, pisos e cobertura.

Assim, os dados foram obtidos a partir de uma outra pesquisa sobre a mesma edificação, realizada por um grupo de pesquisa da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFPEL, o Núcleo de Estudos de Arquitetura Brasileira (NEAB).

A partir do contato com esse grupo foi possível a obtenção de informações sobre a edificação, como plantas baixas; os cortes; planta de cobertura; relação dos componentes construtivos da edificação; e materiais componentes de paredes, pisos e tetos. Esses dados estão disponíveis no Anexo A, desta pesquisa.

Após a obtenção das dimensões da edificação, foi elaborada a modelagem em 3D da edificação¹. A edificação foi dividida em 22 zonas térmicas. A Figura 5 apresenta uma imagem do modelo desenvolvido da edificação, enquanto no Quadro 7 são apresentados os dados que foram possíveis de se obter referente a cada zona térmica.

Figura 5: Modelo 3D da Edificação Analisada



Fonte: Autora, 2019.

¹ O modelo 3D da edificação foi elaborado pela mestranda do PROGRAU Náiali Vergara Martins.

Quadro 7: Detalhamento das Zonas Térmicas

Zonas	Área (m ²)	Condicionada (S/N)	Volume (m ³)	Área de parede (m ²)	Área de janela (m ²)	Equipamentos (W/m ²)
Térreo						
Wc1	15,22	N	66,82	67,42	3	-
Wc2	7,87	N	34,55	62,6	0	-
Técnicos	7,54	N	33,1	44,36	2,4	-
Sala Prof. 1	31,43	N	137,98	78,43	18	-
Sala Prof. 2	22,42	N	98,42	75,91	6	-
Sala Prof. 3	31,39	S	137,8	78,35	18	-
Lab. Química	56,99	N	250,19	112,3	24,4	331,99
Lab. Microscópios	76,5	N	335,84	135,59	27,45	-
Lab. Laminação	66,63	N	292,51	155,66	0	153,08
Circulação	232,97	N	1100	451,37	19,91	-
Almoxarifado	20,83	N	91,44	78,69	1,35	-
1º Andar						
Wc	21,71	N	94,44	84,76	8,22	-
Secretaria	30,06	N	130,76	93,3	2,74	-
Sala Prof. 1	28,42	N	123,63	74,54	16,35	-
Sala Prof. 2	7,54	S	32,8	43,62	2,7	-
Sala Prof. 3	7,9	N	34,37	41,74	2,7	-
Sala de Reunião	26,03	N	113,23	86,65	5,61	-
Lab. Paleontologia	20,82	N	90,57	74,01	13,72	-
Copa	18,19	N	79,13	71,52	2,7	-
Sala Aula 1	44,7	N	194,45	105,2	9,88	-
Sala Aula 2	74,31	N	323,25	128,93	21,92	-
Sala Aula 3	44,7	N	194,45	105,2	9,92	-

Fonte: Autora, 2019.

A partir da conclusão do modelo 3D, buscou-se os dados da edificação que devem ser obtidos a fim de serem inseridos no EnergyPlus, como espessuras e os tipos de materiais que compõem paredes, pisos, cobertura, portas e janelas.

As paredes externas e internas, conforme a Figura 8 do Anexo A, são de alvenaria de tijolos e revestimento de argamassa. Apesar de especificados os componentes das paredes, suas respectivas espessuras não são descritas. Através das plantas foi possível definir que as paredes externas possuem 30cm de espessura e as paredes internas possuem 15cm de espessura.

O piso da edificação varia de acordo com o compartimento, porém em grande parte do edifício o piso é cerâmico. Assim como nas paredes, no piso apesar de especificados os componentes, suas respectivas espessuras não são descritas.

A cobertura de acordo com os cortes e a planta de cobertura, Anexo A, é de telhas de fibrocimento, porém na visita *in loco*, foi relatado que a cobertura existente era formada por telhas cerâmicas.

As portas existentes na edificação não são especificadas em projeto, porém no prédio foi possível observar que as portas externas da edificação são constituídas de madeira maciça e as portas internas são compostas por duas camadas de compensado e uma camada de ar entre elas, sendo considerado para a camada de ar uma resistência térmica igual a 0,16 m²K/W.

Os dados acerca das propriedades físicas dos materiais utilizados nesta pesquisa são apresentados na Quadro 8, obtidos na Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações NBR 15.220-2 (ABNT, 2003) e da tese de doutorado de Kelen Dornelles (2008), que aborda a absorvância solar de superfícies opacas.

Quadro 8: Propriedades dos Materiais

Material	Condutividade K (W/m.k)	Densidade ρ (Kg/m ³)	Calor Específico C (J/Kg.K)	Emissividade Térmica ϵ	Absortância Solar α	Absortância Visível
Cerâmica parede externa	1,05	1900	920	0,9	-	-
Reboco parede externa	1,15	1900	1000	0,9	0,4	0,4
Cerâmica parede interna	1,05	1900	920	0,9	-	-
Reboco parede interna	1,15	1900	1000	0,9	0,4	0,4
Piso cerâmico	1,05	1900	920	0,9	0,7	0,7
Contrapiso concreto	1,75	2400	1000	-	-	-
Laje de concreto	1,75	2400	1000	-	-	-
Telha cerâmica	1	2000	920	0,9	0,7	0,7
Madeira maciça	0,29	1000	1340	0,9	0,2	0,2
Compensado	0,12	300	1340	0,9	0,2	0,2

Fonte: Autora, 2019.

Os dados referentes aos vidros das janelas do edifício não foram possíveis de serem definidos, nos projetos não foram determinados os tipos de vidro e em *in loco* os usuários da edificação também não souberam definir qual o tipo de vidro utilizado nas janelas. Outros dados construtivos que não poderão ser definidos, foram o fluxo de ar de janelas e portas, quando fechadas e o fator de abertura das janelas.

Após a definição dos dados construtivos da edificação, foram definidos o arquivo climático e os dias típicos de inverno e verão para a zona bioclimática 2, zona da qual faz parte a cidade Pelotas, cidade onde se encontra a edificação analisada. Este arquivo tem como função caracterizar o clima real da zona onde se encontra a edificação. Definiu-se então que seria utilizado o arquivo climático e os dias típicos da cidade de Pelotas desenvolvidos pelo Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LABCEE/UFPEL).

A fim de considerar os ganhos e as perdas de calor pela edificação, foi necessário analisar as cargas internas do edifício, como por exemplo a quantidade e o tempo de permanência de pessoas por zona e a potência de iluminação em cada ambiente. No entanto nem a quantidade de pessoas em cada ambiente nem a potência de iluminação poderão ser definidas com os documentos disponíveis ou *in loco*.

Com relação ao sistema de condicionamento de ar. Na edificação em análise, conforme é descrito no Quadro 7, apenas 2 zonas são condicionadas. Para essas 2 zonas foi possível verificar *in loco* que foram implantados um ar condicionado do tipo split em cada zona, porém não foi possível definir o nível de eficiência energética nem o COP.

Por fim, buscou-se definir os dados referentes aos horários de utilização das zonas térmicas para todos os dias ao longo do ano para a ocupação, a iluminação, os equipamentos e o sistema de condicionamento de ar. Os horários de ocupação se referem aos períodos em que o prédio está em funcionamento, que são do dia 14 de março até o dia 30 de junho, e do dia 1 de agosto até o dia 15 de dezembro, nos horários conforme apresentado no Quadro 9. Já os dados referentes aos horários de utilização das zonas térmicas para a iluminação, os equipamentos e o sistema de condicionamento de ar não foram possíveis de serem definidos.

Quadro 9: Horários de ocupação da edificação

Horário	Até 8:00 (% de uso)	8:00 a 12:00 (% de uso)	Entre 12:00 e 13:30 (% de uso)	Entre 13:30 e 17:30 (% de uso)	Entre 17:30 e 19:00 (% de uso)	Entre 19:00 e 22:00 (% de uso)	Entre 22:00 e 24:00 (% de uso)	Finais de semana e feriados (% de uso)	Meses em que a edificação não está uso pelos alunos (% de uso)
Ocupação	0	60	10	60	10	60	0	0	5

Fonte: Autora, 2019.

Através deste estudo de caso, foi possível determinar quais foram os dados da edificação necessários para o desenvolvimento da simulação termoenergética e avaliar se todos os dados necessários se encontravam disponíveis. Os dados necessários para a simulação e o local em que foram obtidos são: as dimensões dos ambientes e das aberturas, obtidos através da planta baixa; a altura da edificação e o pé direito de cada pavimento, ambos encontrados nos cortes; a composição de paredes, pisos e coberturas, obtidos através das especificações dos elementos construtivos, que são definidas em projeto; a espessura dos materiais que compõem as paredes, pisos e coberturas, que não foi possível definir; a composição de esquadrias, obtidas nas especificações de projeto ou *in loco*; as propriedades físicas dos materiais, obtidos na Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações NBR 15.220-2 (ABNT, 2003) e na tese de doutorado de Kelen Dornelles (2008); os equipamentos instalados e suas respectivas potências, descritos no projeto elétrico; o consumo de energia elétrica da edificação ao longo de um ano, obtida através das contas mensais de energia da edificação; o fluxo de ar de janelas e portas, quando fechadas; o fator de abertura das janelas; a quantidade de pessoas e o tempo de utilização de cada ambiente; a potência de iluminação por ambiente; a eficiência energética e o COP do sistema de condicionamento de ar e o tempo de uso de equipamentos, iluminação e condicionamento de ar, que não foram possíveis de serem definidos.

Após este estudo, concluiu-se que nem todos os dados da edificação, que são necessários para o desenvolvimento da simulação termoenergética, foram possíveis de serem definidos, impossibilitando assim elaboração da simulação do prédio analisado. O que induz na necessidade de um estudo mais pormenorizado no local, o qual não foi o alvo do trabalho realizado.

5.3 Compilação de um modelo do processo de retrocomissionamento, a partir de três modelos existentes do processo, em especial, com uso de simulação computacional termoenergética

Após a definição do Modelo de Retrocomissionamento com Apoio da Simulação Computacional, apresentado na subseção 5.1 deste trabalho, e da identificação dos requisitos para a elaboração da simulação termoenergética, Quadro 2, buscou-se relacionar as fases do processo de retrocomissionamento nas quais os referidos requisitos devem ser inseridos, para a elaboração da simulação termoenergética.

Assim, a partir do modelo de retrocomissionamento, já apresentado na Figura 3, e, especificamente de suas etapas, foram relacionados os requisitos necessários para o desenvolvimento da simulação termoenergética (Quadro 2).

A partir disto, verificou-se que todos os requisitos para a simulação devem estar disponíveis para seu desenvolvimento, ou seja, devem ser obtidos ainda na Fase de Planejamento, do processo de Retrocomissionamento, uma vez que esta fase precede a Fase de Investigação, conforme pode ser visto no Quadro 10, a seguir. É importante ressaltar, que as demais etapas do Modelo mantiveram-se inalteradas.

Quadro 10: Inserção dos requisitos da simulação termoenergética ao longo da etapa de planejamento do processo de retrocomissionamento (continua)

FASE DE PLANEJAMENTO	
Atividade	Dados para a simulação
Escolher a edificação	-
Obter as informações gerais da construção	Dimensões de todos os ambientes da edificação e das aberturas
	Altura da edificação e os pés direito de todos os pavimentos do prédio
	Tipos de materiais que compõem as paredes, os pisos, a cobertura, as portas e as janelas da edificação e suas respectivas espessuras
	Dados sobre o desempenho térmico dos materiais e dos vidros que compõem a edificação
	Quantidade de pessoas em cada ambiente
Coletar dados de energia	Tipo de equipamento e sua respectiva potência
	Potência de iluminação em cada ambiente
	Consumo de energia elétrica da edificação ao longo de um ano

Quadro 10: Inserção dos requisitos da simulação termoeenergética ao longo da etapa de planejamento do processo de retrocomissionamento (conclusão)

FASE DE PLANEJAMENTO	
Atividade	Dados para a simulação
Obter uma visão geral das operações	Dados sobre o fluxo de ar quando as janelas e portas estão fechadas
	Intervalo de temperatura do qual as janelas ficam abertas
	Fator de abertura das janelas
	Tipo de ar-condicionado e o seu nível de eficiência energética
	COP de todos os ares-condicionados
	Tempo de uso dos equipamentos, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar
	Tempo de utilização de cada ambiente
Definir os objetivos do projeto	-
Selecionar o líder de comissionamento	-
Documentar os requisitos operacionais do proprietário	-
Executar análise inicial	-
Desenvolver um plano de retrocomissionamento	-
Montar a equipe de retrocomissionamento	-
Desenvolver uma modelagem energética da edificação;	-
Simular a construção de consumo de energia ideal	-

Fonte: Autora, 2021.

5.4 Modelo do processo de *retrofit* de edificações

Foram identificados, por meio de revisão de literatura, três guias, que apresentam modelos de *retrofit*: (a) *Advanced Energy Retrofit Guides: Office Buildings* (PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY; PORTLAND ENERGY CONSERVATION, INC., 2011); (b) *Existing Building Retrofit* (BUILDING AND CONSTRUCTION AUTHORITY, 2010); e (c) *Roadmap for Incorporating Energy Efficiency Retrofits in Existing Buildings* (THE ENERGY AND RESOURCES INSTITUTE, 2013).

Após a definição dos guias, foram definidas as etapas de *retrofit* que são descritas em cada guia, conforme apresentado no Quadro 3. Procedeu-se então a

comparação entre estas etapas, a fim de identificar semelhanças e diferenças no processo de *retrofit*, conforme apresentado na subseção 3.2 deste trabalho.

Desta forma, foi possível afirmar que apesar de diferirem em termos de designações dadas as etapas e fases que constituem o processo de *retrofit*, todos os processos de *retrofit* guardam semelhança.

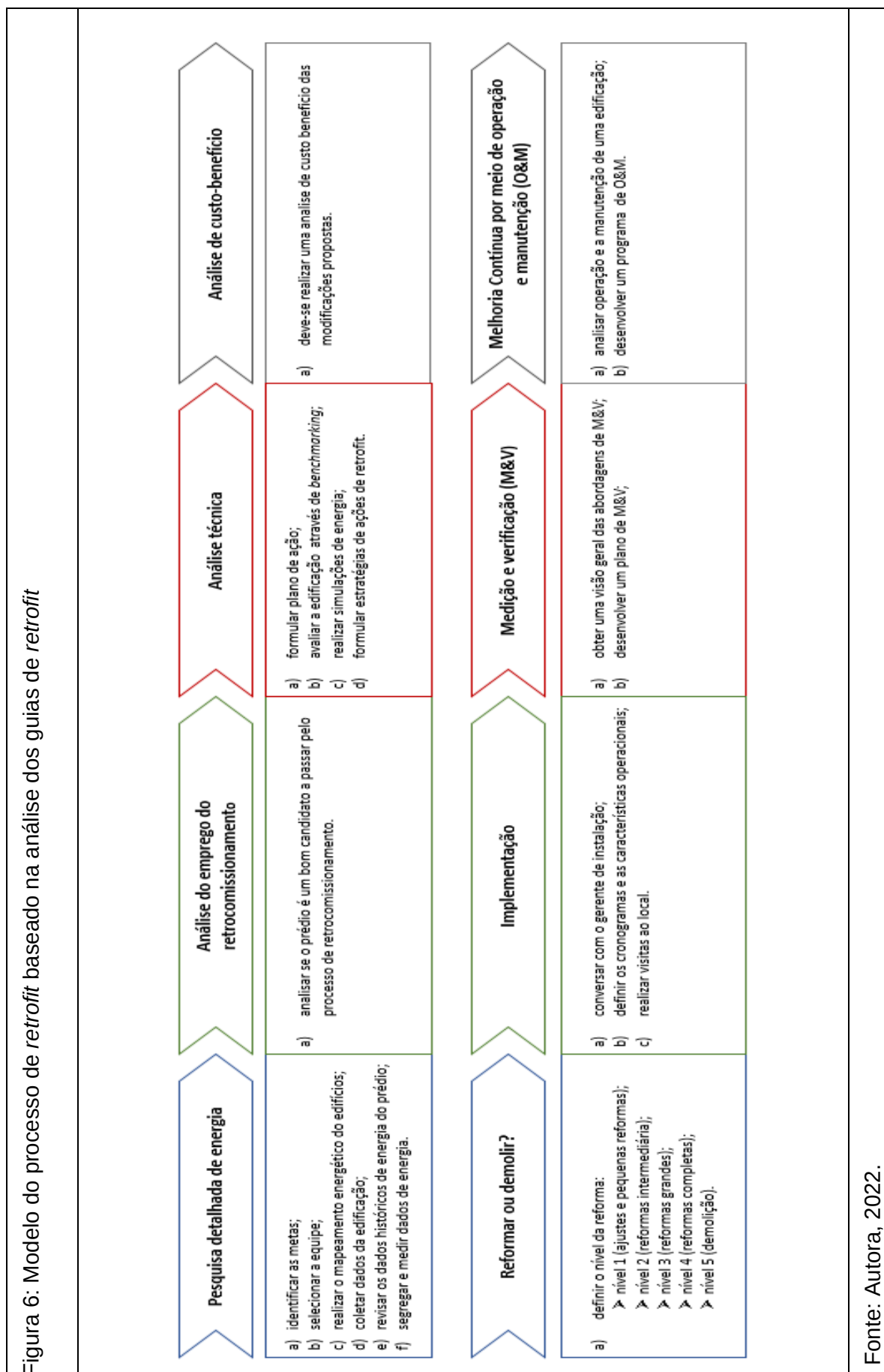
O guia desenvolvido por PNNL e PECL em 2011 descreve o comissionamento como uma etapa auxiliar ao desenvolvimento do processo de *retrofit*. Além disto, propõe a utilização da simulação como uma ferramenta que auxilia na análise do impacto de cada modificação proposta.

Já o modelo descrito por BCA em 2010, apesar das similaridades com os demais guias, é caracterizado pelo menor detalhamento, pois leva em consideração o projeto de retrofit, desconsiderando a necessidade de verificações quanto ao pleno funcionamento das modificações propostas na etapa de uso e operação.

Entretanto, sua maior contribuição diz respeito a necessidade de se definir o nível do *retrofit*, de acordo com as reformas que serão executadas na edificação, além de apresentar uma lista com as possíveis modificações a serem desenvolvidas nas edificações e que geram grandes benefícios, tanto ao prédio quanto aos ocupantes. Esse guia também indica o comissionamento como um processo que auxilia na obtenção de melhores resultados no *retrofit* de edificações.

Partindo do fato de que cada modelo apresenta contribuições importantes para essa dissertação, optou-se por desenvolver um modelo do processo de *retrofit* baseado nos mesmos. Esse modelo de *retrofit* se subdivide em oito etapas, conforme a Figura 6.

Figura 6: Modelo do processo de *retrofit* baseado na análise dos guias de *retrofit*



É importante ressaltar que a primeira, terceira, quarta e sexta etapas do modelo proposto são propostas tendo como base o *Roadmap for Incorporating Energy Efficiency Retrofits in Existing Buildings* (THE ENERGY AND RESOURCES INSTITUTE, 2013). Já a segunda, sétima e oitava etapas são propostas tendo como base os *Advanced Energy Retrofit Guides: Office Buildings* (PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY; PORTLAND ENERGY CONSERVATION, INC., 2011), enquanto a quinta etapa tem origem em *Existing Building Retrofit* (BUILDING AND CONSTRUCTION AUTHORITY, 2010).

É importante destacar que, como o *Roadmap for Incorporating Energy Efficiency Retrofits in Existing Buildings* (THE ENERGY AND RESOURCES INSTITUTE, 2013) e os *Advanced Energy Retrofit Guides: Office Buildings* (PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY; PORTLAND ENERGY CONSERVATION, INC., 2011) terem como objetivo principal tornar as edificações mais eficientes energeticamente, foram os guias nos quais o modelo aqui proposto apresenta mais pontos em comum.

5.5 Estudo de caso 2 (EC2)

No EC1 foi desenvolvida uma simulação termoenergética de uma edificação pública. Neste estudo, um dos aspectos marcantes, foi a dificuldade enfrentada na obtenção dos dados da edificação, necessários à consecução do estudo de simulação.

Desta forma, tendo como ponto de partida as dificuldades encontradas, optou-se por desenvolver um estudo de caso em uma IFES, buscando identificar quais são e como são armazenados os dados e os documentos ao longo do ciclo de vida das edificações Públicas.

Para tanto, conforme descrito no Capítulo 4.2.3.2, foram conduzidas entrevistas com quatro servidores da referida IFES, sendo que três desses eram lotados no setor responsável pela execução de obras e planejamento físico, enquanto o quarto era lotado no setor responsável pela infraestrutura (manutenção) na referida IFES. Os resultados das entrevistas são apresentados a seguir, e dizem respeito a geração, arquivamento, recuperação e atualização de documentos relativos aos prédios da IFES, ao longo de cada etapa do ciclo de vida da edificação (projeto, execução, entrega provisória e definitiva, uso e operação e manutenção).

5.5.1 Etapa de projeto

Conforme descrito pelos entrevistados, o servidor coordenador de obras e planejamento físico e sua chefe de arquitetura, ao longo da etapa de projeto, são normalmente solicitados os projetos elétrico, hidráulico, estrutural, de climatização e plano de prevenção e proteção contra incêndio (PPCI).

Sempre que se dá início a uma nova obra avalia-se quais são os projetos necessários. Um dos fatores que influencia o rol de projetos solicitados diz respeito ao tamanho e complexidade da edificação. Outro fator é o tipo da edificação, pois dependendo do edifício pode não ser necessário solicitar algum projeto, como por exemplo o projeto de climatização em um almoxarifado.

A fim de elencar os documentos exigidos, os entrevistados afirmaram que os documentos solicitados são os mesmos obrigatórios em um processo de licitação de obra pública, presentes em um *checklist*, disponível no Anexo B deste trabalho. Em função da dificuldade enfrentada no EC1, questionou-se quanto ao nível de detalhamento dos projetos. Segundo os respondentes, atualmente, busca-se detalhar ao máximo, em planta, todos os componentes implantados na edificação, enquanto que no caderno de encargos são especificados a técnica construtiva e o material a serem utilizados.

Acerca da consideração da eficiência energética nos projetos desenvolvidos, os entrevistados afirmaram que esses aspectos são parcialmente considerados. O tipo de cobertura, a orientação solar, o tipo de proteção de esquadrias são aspectos considerados normalmente, porém a tomada de decisão não é apoiada por meio de cálculos ou simulações, mas apenas pelo conhecimento técnico dos envolvidos. Em muitos casos não se opta pela alternativa mais adequada, devido a restrições orçamentárias.

Conforme os resultados do EC1, quatro variáveis são muito importantes para o desenvolvimento da simulação: quantidade de ocupantes em cada ambiente, sistema de iluminação, equipamentos elétricos e o sistema do condicionamento de ar.

Nesse sentido, segundo os entrevistados, a quantidade de ocupantes em cada ambiente da edificação é definida, em projetos novos, durante o desenvolvimento do plano de necessidades. No caso de edificações existentes, apenas é descrita a quantidade de pessoas em cada ambiente, nos casos em que houver modificação de área.

Com relação ao sistema de iluminação, a equipe de arquitetura define a posição e especificação das luminárias em cada ambiente, levando em consideração a iluminação natural e as necessidades para o ambiente de trabalho. Entretanto, são os engenheiros eletricitas os responsáveis pelo projeto de iluminação e, desta forma, pela definição da potência a ser instalada.

Já os equipamentos elétricos em cada ambiente são especificados no projeto arquitetônico, enquanto no projeto elétrico são especificadas suas respectivas potências.

Por fim, no que diz respeito ao sistema de condicionamento de ar, a definição do tipo de aparelho não considera a eficiência energética, mas sim o conforto térmico oferecido aos ocupantes.

Quanto ao emprego da simulação termoenergética na avaliação de projetos desenvolvidos na IFES, os entrevistados declararam que esta ferramenta não é utilizada, a não ser quando pesquisadores da IFES desenvolvem estudos de caso dos prédios da instituição.

Ainda, questionou-se se a IN 02/2014 tem sido atendida, por ocasião de obras de retrofit na instituição. Segundo os entrevistados, esta IN não tem sido atendida. Embora haja preocupação com a escolha de certos materiais que contribuam para uma melhor eficiência energética, a avaliação do nível de eficiência energética das edificações não é realizada.

Com relação a projetos de retrofit, os entrevistados declararam que neste tipo de projeto, a instituição desenvolve um programa de necessidades que servirá de base para a contratação por licitação.

5.5.2 Etapa de execução

Para tratar desta etapa, além do coordenador de obras e planejamento físico e sua chefe de arquitetura, participou o engenheiro de segurança do trabalho.

Conforme descrito pelos entrevistados, ao longo desta etapa, são realizadas fiscalizações em obra para verificar se as especificações de projeto estão sendo respeitadas. Estas fiscalizações são realizadas do início ao fim da obra, pois em cada vistoria é verificado se o que foi implantado ou modificado até o momento da vistoria está de acordo com todos os requisitos de projeto e as especificações do caderno de encargos.

Para os casos em que seja necessário modificar algum requisito do projeto, a fiscalização solicita um aditivo ou uma mudança de projeto para a administração central, para aprovação ou rejeição.

Todas as modificações ficam registradas e, ao final da obra, a empresa contratada faz a entrega do projeto *as built*, além dos manuais de todos os equipamentos instalados que, posteriormente, são enviados ao setor de infraestrutura, que faz o acompanhamento da etapa de uso e promove, quando necessária, a manutenção dos mesmos.

5.5.3 Etapa de entrega provisória e definitiva do prédio

Nessa etapa, os entrevistados foram os mesmos servidores que participaram da etapa anterior.

A entrega provisória é decorrente do término da obra. Caso a empresa tenha atendido a todos os requisitos de projeto, ao orçamento e cronograma, é o próprio fiscal da obra o responsável pelo recebimento provisório.

Nessa etapa deve-se entregar o projeto *as built*, os documentos relacionados aos equipamentos eletrônicos (notas fiscais, termos de garantia e manuais). Após o recebimento provisório pelo fiscal, são designados técnicos que serão responsáveis pelo recebimento definitivo. Para tanto, esses técnicos procedem uma vistoria detalhada, conversando com os usuários da edificação, a fim de identificar eventuais problemas. Este acompanhamento é realizado por noventa dias e, no caso de pleno funcionamento, realiza-se o recebimento definitivo do prédio.

Todos os documentos referentes à obra são arquivados junto ao processo de projeto e execução da edificação. Em processos mais antigos, esses documentos eram arquivados de forma impressa, porém, atualmente, o são em formato digital, utilizando o Sistema Eletrônico de Informações (SEI), disponível a qualquer servidor ou cidadão.

Com o intuito de manter todos os sistemas implantados na edificação funcionando corretamente, atualmente, para novos processos de licitação, é solicitado que a empresa construtora forneça o Manual de Uso e Operação e Manutenção da edificação.

5.5.4 Etapa de uso e operação

Os entrevistados nessa etapa foram o coordenador de obras e planejamento físico e o superintendente de infraestrutura.

Essa etapa tem início com a entrega provisória. Durante noventa dias a partir da entrega, os técnicos dos dois setores analisam o funcionamento e orientam os usuários quanto ao correto uso da edificação.

Sendo assim, durante esse período, os usuários são orientados como devem utilizar os equipamentos, os sistemas da edificação e todos os ambientes do prédio. Após esse período, o acompanhamento é realizado pela direção da unidade, responsável pelo prédio, que, em caso de problemas, solicita atendimento do setor de infraestrutura.

Sobre o processo de entrega da edificação aos ocupantes, questionou-se sobre a realização de treinamento dos mesmos. Segundo os entrevistados, não existe treinamento formalizado, que instrua os usuários da edificação na operação dos sistemas prediais, apenas informações verbais são transmitidas a esses, pelos técnicos da IFES.

Com relação ao tratamento dados aos dados de uso e operação da edificação, em especial aqueles necessários para a modelagem da edificação – quantidade pessoas por ambiente, horários e a temperatura em que os usuários abrem e fecham as janelas e horários de funcionamento de equipamentos (entre os quais o sistema de condicionamento de ar), os entrevistados afirmaram que não há acompanhamento desses dados, ao longo da etapa de uso e operação da edificação.

Com relação ao registro histórico do consumo de energia, as contas de energia são acompanhadas pelo respectivo fiscal de contrato, permanecendo armazenadas e disponíveis para consulta no Sistema Eletrônico de Informações.

5.5.5 Etapa de manutenção

O entrevistado nessa etapa foi superintendente de infraestrutura, setor responsável pela manutenção das edificações.

O entrevistado foi questionado sobre o registro de eventuais alterações realizadas nos prédios da instituição. Segundo o respondente, todas as alterações de espaço, passam pelo setor de obras e planejamento físico, que é responsável por atualizar os projetos das edificações, mantendo-os, assim, atualizados e condizentes com a situação real da edificação.

Nos processos de reforma de prédios, os projetos com as modificações são elaborados pelo setor de infraestrutura e enviados para o setor de planejamento

físico, para que as modificações sejam inseridas nos projetos existentes. Porém, no caso de intervenções, com modificação ou inserção de novos equipamentos elétricos, incluindo equipamentos de condicionamento de ar, não há comunicação ao setor de planejamento, e, desta forma, não há registro atualizados dessas intervenções.

Finalmente, acerca da utilização dos projetos arquivados como base para a tomada de decisão para o processo de manutenção, o entrevistado afirmou que, durante a elaboração dos projetos de manutenção, há consulta aos projetos, a partir de solicitação realizada pelo setor para o setor de planejamento físico.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Compilação de um modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento no *retrofit* de edifícios públicos com o uso de simulação termoenergética

Após a compilação de um modelo do processo de retrocomissionamento, a partir de três modelos existentes do processo, em especial, com uso de simulação computacional termoenergética (subseção 5.3) e do desenvolvimento do Modelo de *Retrofit* em Edificações (subseção 5.4), foi realizado o cotejamento dos dois modelos, com vistas à proposição de um Modelo de Retrocomissionamento para o Retrofit de Edifícios com Simulação Termoenergética.

Em comum, os dois modelos têm etapas semelhantes, iniciando pela obtenção de dados da edificação e do consumo de energia e pela definição de metas e objetivos de projeto. Além disto, os dois modelos prescrevem a utilização da simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

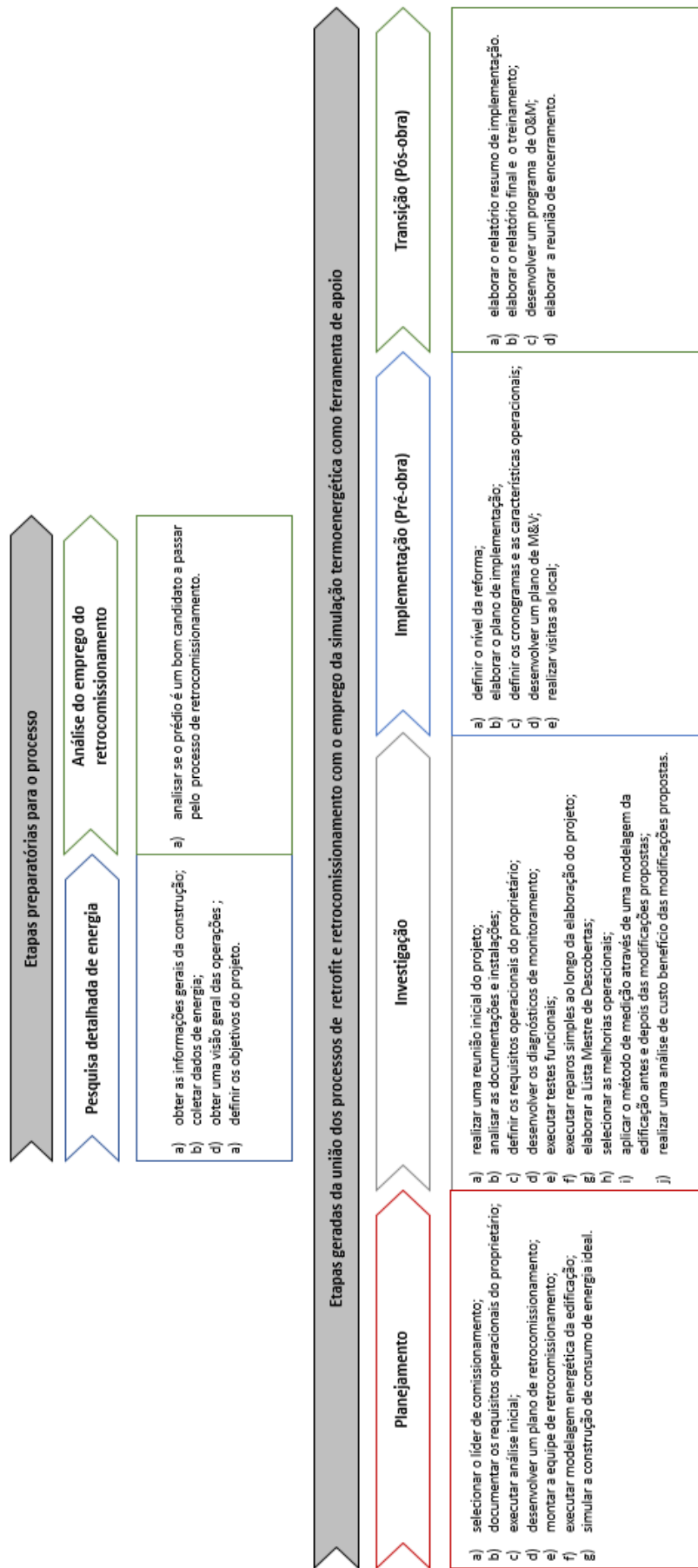
Assim, propôs-se um modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento no *retrofit* de edifícios públicos com uso de simulação termoenergética, apresentado na Figura 7.

Esse modelo preliminar é composto por oito etapas: pesquisa detalhada de energia, análise do emprego do retrocomissionamento, planejamento, investigação, implementação e transição.

As duas primeiras etapas foram preparatórias para o processo, sendo obtidos dados da edificação e de seus sistemas e avaliado se o prédio sob análise é um bom candidato ao processo de retrocomissionamento.

As demais etapas são resultado da conjugação das atividades pertinentes aos processos de *retrofit* e retrocomissionamento com o emprego da simulação.

Figura 7: Compilação de um modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento no *retrofit* de edifícios públicos com o uso de simulação termoenérgica, tendo como base três modelos de *retrofit* e de retrocomissionamento



Fonte: Autora, 2022.

A fim de explicitar como o modelo foi formulado, as etapas que compõem o processo, serão analisadas separadamente. A primeira etapa, demonstrada no Quadro 11, é composta por quatro fases, que foram retiradas da etapa de planejamento do modelo de retrocomissionamento em especial com utilização da simulação computacional (subcapítulo 5.3). Sendo importante ressaltar, que as subfases desta etapa são os dados necessários para o desenvolvimento de uma simulação termoenergética.

A segunda etapa, demonstrada no Quadro 12, foi retirada da etapa de análise do emprego do retrocomissionamento, encontrada no modelo de *retrofit* em edificações (subcapítulo 5.4). A terceira etapa, é constituída pelas demais fases da etapa de planejamento do modelo de retrocomissionamento (subseção 5.3), que não fizeram parte da primeira etapa deste modelo preliminar.

A quarta etapa, é composta pelas atividades da etapa de investigação do modelo de retrocomissionamento (subseção 5.3), com adição da análise custo-benefício das modificações propostas, descrita no modelo de *retrofit* em edificações (subseção 5.4).

A quinta etapa, Quadro 13, é composta por cinco fases, sendo que cada fase possui suas respectivas subfases. A primeira, a terceira, a quarta e a quinta fase e suas respectivas subfases fazem parte do modelo de *retrofit* (subseção 5.4). Já a segunda fase e suas respectivas subfases fazem parte da etapa de implementação, descrita no modelo de retrocomissionamento (seção 5.3).

Por fim, a última etapa, é composta por quatro fases. A primeira, a segunda e a quarta fase fazem parte do modelo de retrocomissionamento (subseção 5.3), enquanto a terceira fase faz parte da etapa de melhoria contínua por meio de operação e manutenção (O&M), encontrada no modelo de *retrofit* (subseção 5.4).

Quadro 11: Primeira etapa do modelo preliminar proposto

Pesquisa detalhada de energia	
Fases	Subfases
Obter as informações gerais da construção	Definir as dimensões de todos os ambientes da edificação e das aberturas
	Identificar a altura da edificação e os pés-direitos de todos os pavimentos do prédio
	Identificar os tipos de materiais que compõem as paredes, os pisos, a cobertura, as portas e as janelas da edificação e suas respectivas espessuras
	Obter dados sobre o desempenho térmico dos materiais e dos vidros que compõem a edificação
	Definir a quantidade de pessoas que utiliza cada ambiente
Coletar dados de energia	Identificar os tipos de equipamentos e as suas respectivas potências
	Definir a potência de iluminação que existe em cada ambiente
	Obter os dados do consumo de energia elétrica da edificação ao longo de um ano
Obter uma visão geral das operações	Obter os dados sobre o fluxo de ar quando janelas e portas estão fechadas
	Definir o intervalo de temperatura do qual as janelas ficam abertas
	Definir o fator de abertura das janelas existentes
	Identificar o tipo de ar-condicionado e o seu nível de eficiência energética
	Identificar o COP de todos os ares-condicionados
	Definir o tempo de uso dos equipamentos, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar
	Definir o tempo de utilização de cada ambiente
Definir os objetivos do projeto	-

Fonte: Autora, 2022.

Quadro 12: Segunda etapa do modelo preliminar proposto

Análise do emprego do retrocomissionamento	
Fases	Subfases
Analisar se o prédio é um bom candidato a passar pelo processo de retrocomissionamento	Identificar se a edificação tem um uso alto e injustificado de energia
	Analisar se os equipamentos da edificação ou sistemas de controle possuem um baixo desempenho (alta taxa de falha)
	Verificar se a equipe interna é experiente e se está disponível
	Verificar se a documentação da edificação está atualizada

Fonte: Autora, 2022.

Quadro 13: Quinta etapa do modelo preliminar proposto

Implementação	
Fases	Subfases
Definir o nível da reforma	Nível 1 - Ajustes e pequenas reformas
	Nível 2 - Reformas intermediária
	Nível 3 - Reformas grandes
	Nível 4 - Reformas completas
	Nível 5 - Demolição
Elaborar o plano de implementação	Optar pelo tipo Turn-Key
	Optar pelo tipo do qual a equipe interna é supervisionada pelo líder de comissionamento
	Optar pelo tipo que o proprietário lidera o processo
Definir os cronogramas e as características operacionais	-
Desenvolver um plano de M&V	Descrever o projeto
	Definir a economia e o custos do projeto
	Definir os cronogramas
	Informar aos interessados todas as decisões tomadas
	Planejar uma abordagem para M&V
Realizar visitas ao local	-

Fonte: Autora, 2022.

6.2 Avaliação e validação do modelo

Ao longo do grupo focal, mais especificamente, após ser apresentado o Modelo Preliminar de Retrocomissionamento no Retrofit de Edificações Públicas com Simulação Termoenergética, os participantes passaram a expor suas avaliações sobre o modelo. Ao todo, duas sugestões foram apresentadas.

A primeira sugestão apresentada foi relativa à primeira etapa do modelo, quanto à obtenção dos dados do sistema de condicionamento de ar. Nesse sentido, a sugestão foi a de substituição das subfases, nas quais se deve identificar o tipo de ar-condicionado, o respectivo nível de eficiência energética e o COP de todos os aparelhos, por uma subfase única de identificação dos dados de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar.

Já a segunda sugestão, disse respeito ao acréscimo de uma subfase na etapa de análise do emprego do retrocomissionamento, na qual se deve avaliar a existência de restrições estruturais ou legais que possam impedir a aplicação do processo na edificação analisada.

6.3 Modelo de Retrocomissionamento no Retrofit de Edificações Públicas com Simulação Termoenergética

Após a avaliação e validação do modelo, tendo em vista que o modelo preliminar, Figura 7, manteve-se inalterado, o mesmo passou a representar o produto final deste trabalho.

Contudo, conforme descrito na subseção 6.2 dessa dissertação, tendo como base as sugestões dos especialistas, durante o grupo focal, foram alteradas subfases do modelo, dando origem aos Quadros 14 e 15 que, respectivamente, substituíram os Quadros 11 e 12, previamente apresentados.

Quadro 14: Etapa de pesquisa detalhada de energia

Pesquisa detalhada de energia	
Fases	Subfases
Obter as informações gerais da construção	Definir as dimensões de todos os ambientes da edificação e das aberturas
	Identificar a altura da edificação e os pés direito de todos os pavimentos do prédio
	Identificar os tipos de materiais que compõem as paredes, os pisos, a cobertura, as portas e as janelas da edificação e suas respectivas espessuras
	Obter dados sobre o desempenho térmico dos materiais e dos vidros que compõem a edificação
	Definir a quantidade de pessoas que utiliza cada ambiente
Coletar dados de energia	Identificar os tipos de equipamentos e as suas respectivas potências
	Definir a potência de iluminação que existe em cada ambiente
	Obter os dados do consumo de energia elétrica da edificação ao longo de um ano
Obter uma visão geral das operações	Obter os dados sobre o fluxo de ar quando janelas e portas estão fechadas
	Definir o intervalo de temperatura do qual as janelas ficam abertas
	Definir o fator de abertura das janelas existentes
	Identificar os dados de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar
	Definir o tempo de uso dos equipamentos, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar
	Definir o tempo de utilização de cada ambiente
Definir os objetivos do projeto	-

Fonte: Autora, 2022.

Quadro 15: Etapa de análise do emprego do retrocomissionamento

Análise do emprego do retrocomissionamento	
Fases	Subfases
Analisar se o prédio é um bom candidato a passar pelo processo de retrocomissionamento	Identificar se a edificação tem um uso alto e injustificado de energia
	Analisar se os equipamentos da edificação ou sistemas de controle possuem um baixo desempenho (alta taxa de falha)
	Verificar se a equipe interna é experiente e se está disponível
	Verificar se a documentação da edificação está atualizada
	Avaliar se a edificação analisada não possui restrições estruturais ou legais que possa impedir a aplicação do processo

Fonte: Autora, 2022.

6.4 Considerações sobre a gestão de informações das edificações no contexto estudado

Tendo como base as evidências encontradas nos estudos de caso 1 e nos resultados das discussões do Grupo Focal realizados neste trabalho, especialmente aquelas necessárias para a consecução do processo de retrocomissionamento e *retrofit* de edificações públicas, esta subseção apresenta algumas considerações sobre a gestão de informações das edificações no contexto dos prédios públicos.

Por serem fruto de evidências de apenas uma instituição, estas considerações não podem ser consideradas diretrizes gerais, mas, certamente, têm relevância e aplicabilidade a outros contextos.

6.4.1 Disponibilidade de dados e informações sobre as edificações

A fim de viabilizar o emprego do processo de retrocomissionamento com simulação termoenergética, é de fundamental importância a disponibilidade de dados e informações acerca da edificação sob análise, especialmente aqueles apontados no Quadro 2, deste trabalho. Esses dados são oriundos das fases de projeto e execução, como também de eventuais manutenções, reformas ou ampliações sofridas pela edificação ao longo da etapa de uso, operação e manutenção.

Em especial, sobre as etapas de projeto e execução, é importante que os documentos de projetos contenham informações minimamente detalhadas sobre a edificação, que permitam a modelagem e simulação de cenários de uso da mesma tanto nesta etapa, como futuramente, a fim de avaliar as condições de uso e operação da edificação.

Desta forma, além de projetos completos e memoriais descritivos da edificação, oriundos da etapa de projeto, projetos *as built*, registrando em detalhes como a edificação foi efetivamente construída, além de catálogos e manuais de dispositivos e equipamentos elétricos instalados na etapa de execução devem ser fornecidos pela empresa construtora e corretamente armazenados pelos setores competentes da organização.

A manutenção de registros históricos sobre a ocupação dos diversos ambientes, em termos de horários de uso, número médio de ocupantes, intervalos de funcionamento de instalações e equipamentos (em especial sistema de condicionamento de ar), são dados relevantes gerados na etapa de uso e operação. Além disto, deve-se, também, manter registros históricos acerca do consumo de energia da edificação, que pode ser obtida a partir das contas mensais de energia elétrica.

6.4.2 Gestão de informações sobre as edificações

É fundamental que, além de existirem, dados e informações sobre edificações e seus sistemas sejam gerenciados de forma clara e estejam acessíveis aos interessados a qualquer momento.

A manutenção de bancos de dados sobre as edificações, é aspecto importante, mas, sobretudo, que haja o claro entendimento sobre responsabilidades, e, especialmente, sobre os papéis de cada envolvido.

Deve haver um único responsável pela manutenção, organização e atualização do banco de dados, sob pena de que dados conflitantes sejam armazenados em locais distintos. Ainda, todos os atores envolvidos na etapa de uso, operação e manutenção, devem ter ciência da obrigatoriedade de documentar e informar eventuais atualizações dos documentos, sempre que uma alteração na edificação for promovida.

Da mesma forma, o acesso a informações atualizadas sobre a edificação deve ser facilitado, de forma a embasar tomadas de decisões sobre eventuais intervenções. Além disto, deve haver homogeneidade na exigência do nível de detalhe dos registros acerca das edificações. Conforme observado no EC2, há um nível de exigência quanto aos documentos solicitados para construção de uma edificação nova (documentos exigidos para uma licitação de obra, conforme o Anexo B), mas a mesma exigência não ocorre, quando da ocorrência de pequenas obras.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Principais Conclusões

Este trabalho teve como premissa principal que o processo de retrocomissionamento, utilizando a simulação termoenergética, pode contribuir para o processo de *retrofit* de edificações públicas, para que se tornem termoenergeticamente mais eficientes.

A partir desta premissa, buscou-se uma compreensão mais ampla do escopo do retrocomissionamento, no desenvolvimento de estudos de *retrofit* de edificações públicas, em especial, explorando o uso da simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

A fim de atingir os objetivos propostos, o método de pesquisa desta dissertação foi composto por quatro fases. Na primeira fase, de revisão de literatura, foi desenvolvida uma revisão de literatura sobre os temas retrocomissionamento de edifícios, simulação computacional e *retrofit* de edifícios.

Na segunda fase, a fase exploratória, foi realizada uma análise das etapas que constituem processo de retrocomissionamento; um estudo de caso, no qual foi analisado se em uma edificação real é possível definir todos os dados da edificação que são necessários para o desenvolvimento de uma simulação termoenergética. Ao final desta fase, foi proposto um modelo de retrocomissionamento com uso de simulação computacional termoenergética.

Na terceira fase, foi desenvolvida uma análise das etapas que constituem o processo de *retrofit*; um estudo de caso, no qual servidores de uma Instituição Federal de Ensino Superior foram entrevistados, a fim de identificar quais são e como são armazenados os documentos e os dados gerados ao longo do ciclo de vida de uma edificação pública. Ao final desta fase, foi desenvolvido um modelo preliminar de inserção do retrocomissionamento no *retrofit* de edifícios públicos com o uso de simulação termoenergética.

Na última fase, de avaliação e proposição, a partir de um grupo focal com a participação de especialistas no processo de inspeção em eficiência energética de edificações, foi realizada a avaliação e validação do modelo final desta dissertação. Também foram propostas boas práticas para a gestão de informações, a fim de possibilitar inserção do retrocomissionamento com simulação termoenergética no processo de *retrofit*.

Diante disto, esta pesquisa teve como objetivo geral “estabelecer as condições para a operacionalização do retrocomissionamento no retrofit de edifícios públicos”. Neste sentido, considera-se que este objetivo tenha sido atendido, uma vez que o trabalho propôs um Modelo de Retrocomissionamento no *Retrofit* de edifícios públicos com simulação termoenergética, conforme apresentado no capítulo 6.3 e também foram proposta boas práticas para gestão de informações, a fim de possibilitar inserção do retrocomissionamento com simulação termoenergética no processo de *retrofit*, conforme apresentado no capítulo 6.4.

O primeiro objetivo específico do trabalho disse respeito a “avaliar a exequibilidade da inserção das diferentes etapas do retrocomissionamento no processo de *retrofit*, identificando potenciais sinergias entre os processos”. Após analisar e comparar os processos de retrocomissionamento e de *retrofit*, foi possível definir que as etapas dos dois processos guardam semelhanças e têm objetivos comuns, sendo possível propor um modelo que insere o processo de Retrocomissionamento nos projetos de *retrofit*, conforme apresentado na subseção 6.1.

O segundo objetivo específico proposto foi o de “identificar as dificuldades para o desenvolvimento do retrocomissionamento, utilizando a simulação computacional, no contexto estudado”. Ao longo da pesquisa, foi possível identificar que a principal dificuldade enfrentada diz respeito a obtenção dos dados da edificação, necessários à consecução do estudo de simulação, conforme foi possível definir no estudo de caso 1, capítulo 5.2. Desta forma, desenvolveu-se um segundo estudo de caso, em uma IFES, no qual buscou-se identificar quais são e como são armazenados os dados e os documentos ao longo do ciclo de vida das edificações Públicas.

O terceiro objetivo específico foi o de “propor boas práticas para a gestão da informação das edificações para o apoio da simulação no retrocomissionamento de edificações públicas”. Neste sentido, considera-se que este objetivo tenha sido atendido, uma vez que o trabalho propôs considerações sobre a gestão de informações das edificações no contexto estudado, conforme apresentado no capítulo 6.4.

Por fim, espera-se ter contribuído para trazer à discussão o processo de Retrocomissionamento, ainda pouco conhecido e empregado no contexto brasileiro e, em especial, no contexto das edificações públicas existentes, demonstrando sua exequibilidade e possibilidade de integração aos projetos de *retrofit*. A utilização da simulação termoenergética, por sua vez, pode, sem sombras de dúvida, agregar

valor ao processo, desde que, conforme discutido neste trabalho, alguns cuidados sejam tomados, especialmente com relação a correta gestão das informações relacionadas às edificações, seu uso e operação.

7.2 Recomendações para trabalhos futuros

Com base na pesquisa realizada, apresenta-se as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- a) analisar e comparar as etapas dos processos de retrocomissionamento e de *retrofit* em um número maior de guias;
- b) avaliar o modelo proposto em uma edificação pública que necessite passar por *retrofit*.

8 REFERÊNCIAS

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho parte 1. Rio de Janeiro, 2013.

APEGM - Association of Professional Engineers and Geoscientists of Manitoba. **Building Commissioning Guideline.** Canada, 2002. Disponível em: <https://www.apegm.mb.ca/pdf/Guidelines/BldgComGuide.pdf>. Acesso em: 24 fevereiro 2022.

ASHRAE- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS, **ASHRAE GUIDELINE 0-2005 The Commissioning Process.** Atlanta, 2005. Disponível em: < https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/g0_2005_a_b_c_d_final.pdf> Acesso em: 10 de jul. 2020.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook -The Strategic Guide Commissioning.** Atlanta, 2014. Disponível em:< https://www.ashrae.org/File%20Library/Technical%20Resources/Bookstore/ENGLISH-ASHRAE_BPA-Brochure_FNL_6-24-14.pdf>. Acesso em: 20 de fev. de 2020.

BADER, G.; ROSSI, C. **Focus Groups A Step-By-Step Guide - 3rd Edition**, San Diego, 2002.

BAECHLER, M.; FARLEY, J. **A guide to building commissioning.** Washington: Pacific Northwest National Laboratory, 2011. Prepared for U.S. Department of Energy: building technologies program, 25/11/2011.

BARCELLOS, G. R. **Integração EnergyPlus- MATLAB no contexto da eficiência energética predial.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

BARRIENTOS, M. I. G. G. **Retrofit de Edificações:** Estudo de Reabilitação e Adaptação das Edificações Antigas as Necessidades Atuais. (Dissertação). Rio de Janeiro: UFRJ / FAU, 2004.

BCA-Building and Construction Authority. **Existing Building Retrofit.** Green Building Platinum Series. Singapura, 2010.

BORAGINI, M. T. Crise retrai a contratação do comissionamento. [Entrevista a Charles Godini]. **Engenharia e arquitetura.** 20 dez. 2017. Disponível em: <<http://www.engenhariaearquitectura.com.br/2017/12/crise-retrai-contratacao-do-comissionamento>>. Acesso em: 27 jan. 2020.

BRUGNERA, R. **Análise Integrada de Desempenho Energético, Impacto Ambiental e Custo:** Estudo de Soluções de Fachada para Edifícios de Escritório

no Brasil. Tese (Doutorado em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.
BRASIL. Portal de Compras: Governo Federal. **Instrução Normativa nº 2, de 04 de junho de 2014**. Disponível em:
<https://www.comprasgovernamentais.gov.br/index.php/legislacao/instrucoes-normativas/304-instrucao-normativa-n-2-de-04-de-junho-de-2014>. Acessado em 03 fev. 2020.

BUILDING EFFICIENCY INITIATIVE. **Retro-Commissioning: Significant Savings at Minimal Cost**. 2013. Disponível em:<<https://buildingefficiencyinitiative.org/articles/retro-commissioning-significant-savings-minimal-cost>>. Acesso em: 20 de fev. de 2020.

CARDOSO, R. E. S. **Avaliação do impacto no desempenho energético de edifícios sujeitos às metodologias de comissionamento**: caso particular de edifícios escolares. 2015. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 2: método de simulação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 27-40, abr./jun. 2010.

CBCS. **Retrofit**: Requalificação de edifícios e espaços construídos. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. 2013.

CEC – California Energy Commission. California Commissioning Collaborative. **2006: California Commissioning Guide: Existing Buildings**. Sacramento, 2006. Disponível em:
https://www.cacx.org/resources/documents/CA_Commissioning_Guide_Existing.pdf. Acesso em: 10 maio 2020.

CLARIDGE, D. **Using simulation models for building commissioning**. Proceedings of the Fourth International Conference for Enhanced Building Operations, Paris, 18 out. 2004. Disponível em:
<https://pdfs.semanticscholar.org/7cb3/2b261829485491311431d5d36eae1347590a.pdf>. Acessado em 13 set. 2019

CORREIA, Beatriz Silva. **Retrofit em baldios industriais urbanos e o Complexo Matarazzo**. Tese (Doutorado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

DIDONÉ, E.; PEREIRA, F. O. Simulação computacional integrada para a consideração da luz natural na avaliação do desempenho energético de edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 139-154, Out./Dez. 2010.

DOE - The U.S. Department of Energy. National Center For Energy Management And Building Technologies. **Final Report NCEMBT-090928: Energy Impact of**

Common Retro-commissioning Findings for Commercial Buildings.

Alexandria, 2009. Disponível em: https://www.nemionline.org/wp-content/uploads/2017/06/Chimack_M_Energy_Impact_of_Commissioning_NCEMB-T-090928.pdf. Acesso em: 10 maio 2020.

ELETROBRAS; INMETRO; CB3E; PROCEL EDIFICA. Manual para etiquetagem de edificações públicas – Gestor público. Brasil :2014. Disponível em:

<http://www.pra.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2015/04/manual_etiquetagem_edificoes_publicas.pdf>. Acessado em: 10 de jul. 2020.

ELETROBRAS; PBE; CB3E; PROCEL. Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações. Brasil: 2013. Disponível em:

<<http://www.procelinfo.com.br/services/DocumentManagement/FileDownload.EZTSvc.asp?DocumentID=%7BCF1A3743-CECB-48EF-B2CA-E2B4D4173337%7D&ServiceInstUID=%7B46764F02-4164-4748-9A41-C8E7309F80E1%7D>>. Acessado em: 10 de jul. 2020.

ERI- The Energy and Resources Institute. Roadmap for Incorporating Energy Efficiency Retrofits in Existing Buildings. TERI Press. Índia, 2013.

INMETRO- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas – RTQ-C. Brasil: 2010.

EMSD - THE HK DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND MECHANICAL SERVICES. TG-RCx 2017: Technical Guidelines on Retro-commissioning. Hong Kong, 2017. Disponível em: shorturl.at/kC015. Acesso em: 10 maio 2020.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Building commissioning guidelines. Washington: EPA, jan. 2009.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional (BEN) 2021: Ano base 2020. Disponível em:

<<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acessado em dez/2021.

FREITAS FILHO, P. J. Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em ARENA, 2ª ed. Florianópolis: Visualbooks, 2008.

GRONDZIK, W. T. Principles of building commissioning. New Jersey: John Wiley & Sons, 2009.

GSA - U.S. General Services Administration. The building commissioning guide. U.S, 2005. Disponível em: https://www.gsa.gov/cdnstatic/BCG_3_30_Final_R2-x221_0Z5RDZ-i34K-pR.pdf. Acesso em: 24 fevereiro 2022.

Haasl, T., Sharp, T. **A Practical Guide for Commissioning Existing Buildings**. preparado por Portland Energy Conservation Inc. e Oak Ridge National Laboratory, Abril 1999.

HAX, D.R.; LEITZKE, R.K.; SILVA, A.C.S.B.; CUNHA, E.G. Influence of user behavior on energy consumption in a university building versus automation costs. **Energy and Buildings**, v. 256, fev. 2022

ISHIDA, C. S. F. **Modelo Conceitual para comissionamento de sistemas prediais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em :<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-17062016114157/publico/Dissertacao_Christianne_Ishida_Comissionamento.pdf>. Acessado em: 03 fev. 2020.

ISHIDA, C. S. F.; OLIVEIRA, L. H. Inter-relação entre os conceitos de comissionamento, qualidade, desempenho, sustentabilidade e coordenação de projeto e sua aplicação em sistemas prediais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XV, 2014, Maceió. **Anais...** Porto Alegre: Entac, 2014. p. 2730-2739. Disponível em: <www.infohab.org.br/entac2014/2014.php> Acesso em: 03 fev. 2020.

JANDA, K.B. Buildings don't use energy: People do. **Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Quebec City, Canada, jun. 2009

LACERDA, D. P.; DRECH, A.; PROENÇA, A.; JÚNIOR, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**. vol.20 no.4, São Carlos, Nov 26, 2013.

LAW, A. M. & KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis**. McGraw-Hill Books, NY, Second Edition, 1991.

MACHADO, R.A. **Reabilitação de Edifícios visando a Eficiência Energética**. Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Tese de Mestrado. 2014.

Marmaras, J. M., **Measurement and Verification - Retro-Commissioning of a LEED Gold Rated Building Through Means of an Energy Model: Are Aggressive Energy Simulation Models Reliable?**. 2014. Dissertação (Master of Science in Mechanical Engineering, University of Massachusetts Amherst, Massachusetts, 2014. Disponível em: <https://scholarworks.umass.edu/masters_theses_2/31>. Acesso em: 10 de jul. 2020.

INMETRO - Instituto Nacional De Metrologia, Qualidade E Tecnologia. Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002707.pdf>. Acesso em: 24 fevereiro 2022.

NIST - National Institute of Standards and Technology. State-of-the-Art Review for Commissioning Low Energy Buildings: Existing Cost/Benefit and Persistence

Methodologies and Data, State of Development of Automated Tools and Assessment of Needs for Commissioning ZEB. Agosto, 2007. Disponível em: <https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=861017> Acesso em: 10 de jul. de 2020.

PACHECO, F.; GRANQVIST, G.; JELLE, B.; VANOLI, G.; BIANCO, N.; KURNITSKI, J. **Cost-effective energy-efficient building retrofitting: Materials, Technologies, Optimization and Case Studies**. Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier. Reino Unido, 2017.

PBE Edifica - PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. **Etiquetagem**. 2020. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem>> Acesso em: 10 de jul. de 2020.

PECI - Portland Energy Conservation, Inc. **A Retrocommissioning Guide for Building Owners**. U.S. Energy Star Program. Portland, 2007.

PECI - Portland Energy Conservation, Inc. **New Construction Commissioning Handbook for Facility Managers**. Oregon Office of Energy. U.S, 2000. Disponível em: <https://www.oregon.gov/energy/energy-oregon/Documents/SB1149New%20Construction%20Commissioning%20Handbook%20for%20Facility%20Managers.pdf>. Acesso em: 24 fevereiro 2022.

PNNL- Pacific Northwest National Laboratory and PECI- Portland Energy Conservation. **Advanced Energy Retrofit Guide: Practical Ways to Improve Energy Performance**. U.S. Department of Energy. Estados Unidos, 2011.

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica; CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. **Manual de aplicação da INI-C: Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. 2021. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual%20INI-C_JUN_V01.pdf. Acesso em: 24 fevereiro 2022.

PROCEL. **PROCEL EDIFICA - Eficiência Energética nas Edificações**. Procel Info, 2006a. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D2587926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>. Acessado em 03 fev. 2020.

PROCEL. **Selo Procel Edificações**. Procel Info, 2006b. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}>. Acessado em 03 fev. 2020.

RIBA Publishing. **Retrofit for Purpose: Low Energy Renewal of Non-Domestic Buildings**. London, 2014.

SANTOS, A. Design Science Research. In: SANTOS, A. **Seleção do Método de Pesquisa: Guia para pós-graduandos em desing e áreas afins**. Curitiba: Insight, 2018. Cap.4, p.71-89.

SANTOS, L. G. R.; et. al. **Simulação computacional termoenergética na arquitetura. Avaliação do desempenho térmico de uma edificação de ensino localizada em Brasília DF.** Arquitextos São Paulo, ano 2017, n. 203.04, Vitruvius, abr. 2017.

SCHAEDLER, L. **Simulação Computacional de uma Residência Visando a Análise do Consumo Energético.** 2014. Trabalho de conclusão de curso- Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade de Horizontina, Horizontina, 2014.

SIMON, H.A. The Sciences of the Artificial, **MIT Press 3ed.**, Cambridge, MA, 1996.

SORGATO, M.J. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015).

TSB - Technology Strategy Board. **Retrofit for the future: Reducing energy use in existing homes - A guide to making retrofit work.** Reino Unido, 2014.

VAKKARI, P. Library and information science: it's content and scope. In: Godden Irene, P., (Org.). **Advances in librarianship**, San Diego, 1994.

WAYNE, R. W. Design Science Research and the Ground Theory Method: Characteristics, Differences and Complementary Uses. Association for Information Systems. AIS Electronic Library (AISeL), ECIS 2010 Proceedings – European Conference on Information Systems, 2010.

WILDE, P. D. **Computational Support for the Selection of Energy Saving Building Components.** (PhD). Delft University of Technology, Delft, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Questionário com questões orientadoras acerca dos documentos e dados gerados e armazenados ao longo da construção, uso, operação e manutenção das edificações no âmbito da Instituição de Ensino Superior (IES) analisada.

Questões referentes a etapa de projeto

- 1) Quais são as disciplinas abordadas no desenvolvimento de projeto de edificações da IES?
- 2) O tamanho e o tipo das edificações influenciam nas disciplinas de projetos que são abordados?
- 3) Em uma licitação para a execuções de obras em prédios pertencentes a uma IES, quais são os documentos que devem compor o projeto da edificação?
- 4) Existe algum *checklist* com relação aos documentos que formão o projeto?
- 5) Qual é o nível de detalhamento de projeto quanto aos diversos sistemas que constituem o prédio?
- 6) Como são consideradas questões relacionadas a eficiência energética da edificação?
 - a. Quando é definido a cor de uma tinta, o tipo de esquadria, o tipo de cobertura e o tipo de revestimento. Existe uma preocupação com relação ao impacto destas escolhas, tendo como ponto de vista a eficiência energética do envelope?
 - b. Quando é definido os materiais e suas respectivas espessuras, que irão compor as paredes, pisos e lajes. Existe uma preocupação com relação ao impacto destas escolhas quanto a eficiência energética?
- 7) A previsão da forma e do volume da ocupação dos ambientes que formão a edificação são considerados durante a etapa de projeto? De que forma?
- 8) É elaborado um projeto lumínico? O que é considerado neste projeto?
 - a. Como é calculado a quantidade de lâmpada para cada ambiente?
 - b. Leva-se em consideração a orientação solar? É considerada a utilização da iluminação natural juntamente com a iluminação artificial?
- 9) É feita a especificação dos equipamentos elétricos que serão implantados em cada ambiente da edificação? Se sim, é especificado as suas respectivas potências?

- 10) Quando ocorrer a utilização de ar condicionado, é especificado o tipo e o nível de eficiência energética do ar condicionado que será utilizado?
- 11) Os projetos são executados seguindo as exigências da instrução normativa 2 de 2014? Se sim, existem pessoas treinadas para projetar a edificação de forma eficiente?
- 12) É utilizado ou já foi utilizado em algum momento a simulação de desempenho energético para avaliar os projetos?
- 13) Quando a edificação necessita passar por um retrofit, como se dá o processo de levantamento de dados, de diagnósticos e de tomada de decisão com relação as intervenções necessárias na edificação?

Questões referentes a etapa de execução

- 1) Como se dá a verificação do atendimento em obra das especificações de projeto? A algum procedimento para avaliar se as especificações de projeto estão efetivamente sendo empregadas como projetadas em obra?
- 2) Como são registradas e geridas as mudanças de projeto ao longo da obra? Podendo essas mudanças serem oriundas do contratante (IES) ou do contratado (construtora).
- 3) Quando ocorre uma modificação os projetos são atualizados? De que forma?
- 4) Os manuais tanto dos equipamentos elétricos quanto do ar condicionado são solicitados e armazenados?

Questões referentes a entrega provisória e definitiva do prédio

- 1) Quais são os documentos exigidos para a entrega provisória de uma obra? Como esses documentos são analisados pela fiscalização a fim de aprovar o recebimento provisório e passar para o recebimento definitivo?
- 2) Que documentos são entregues pela construtora do ponto de vista tanto da edificação quanto dos seus sistemas e equipamentos instalados?
- 3) Como os documentos são arquivados? Quem tem acesso a esses documentos?

Questões referentes a etapa de uso e operação

- 1) Existe um acompanhamento pela IES do uso e operação das edificações? Se sim, quem faz esse acompanhamento?
- 2) Existe algum momento em que os usuários são treinados para a utilização da edificação, quanto ao seu uso e operação e em especial quanto ao uso eficiente dos sistemas prediais?

- 3) Quando são solicitadas mudanças de *layout* e de dimensões de compartimentos essas mudanças são registradas? O projeto é atualizado? Existe o projeto *As Built* constantemente atualizado?
- 4) Durante esta etapa é feita a verificação da quantidade de pessoas e o tempo de utilização de cada ambiente? Se sim, como são armazenadas essas informações?
- 5) Ocorre uma verificação dos horários e das temperaturas em que os ocupantes do edifício abrem e fecham as janelas ao longo do ano? Se sim, como são elaboradas estas verificações e como são armazenados os dados obtidos?
- 6) É verificado os horários de utilização dos equipamentos e do ar condicionado ao longo do ano? Se sim, como são feitas essa verificação e como os dados obtidos são armazenados?
- 7) Os dados referentes ao consumo de água e de energia da edificação são armazenados? Se sim, qual o período de tempo pelos quais esses dados permanecem armazenados e qual a forma de armazenamento desses dados?

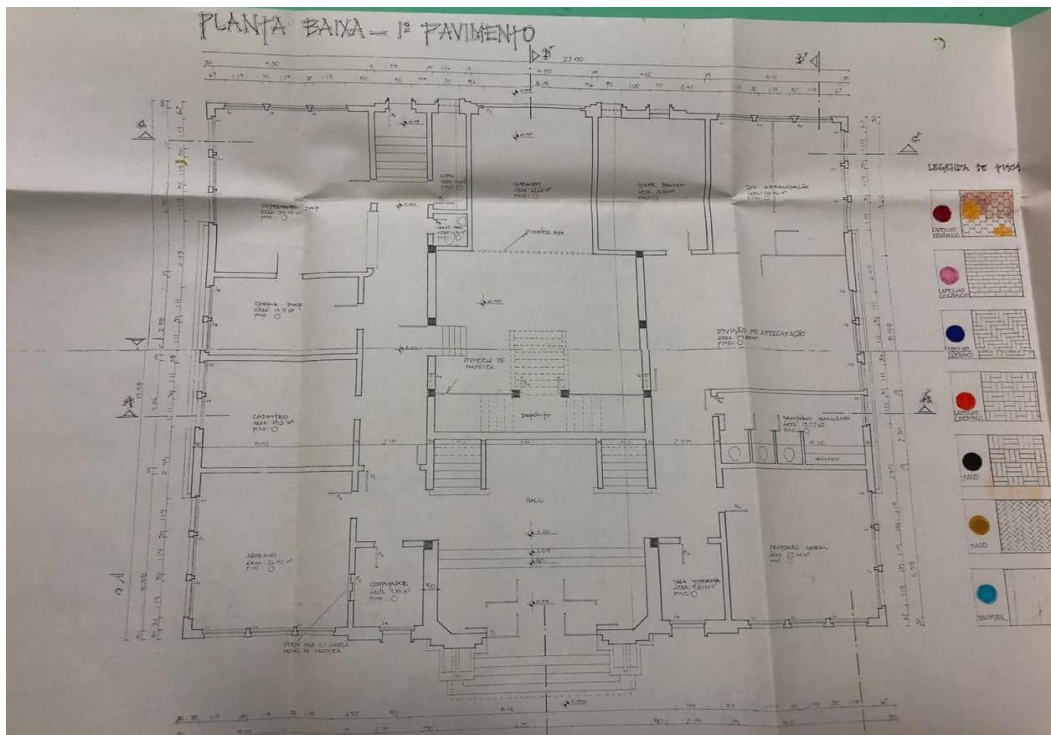
Questões referentes a etapa de manutenção

- 1) Quando é executada a manutenção em uma edificação e torna-se necessário modificar algo na estrutura do prédio, algum equipamento ou alguma especificação de um sistema, essas modificações são registradas? A partir dessas modificações é feita a atualizadas no projeto *As Built* do prédio?
- 2) Durante a manutenção os profissionais responsáveis recorrem a documentos oriundos da etapa de execução para embasar a tomada de decisão?

ANEXOS

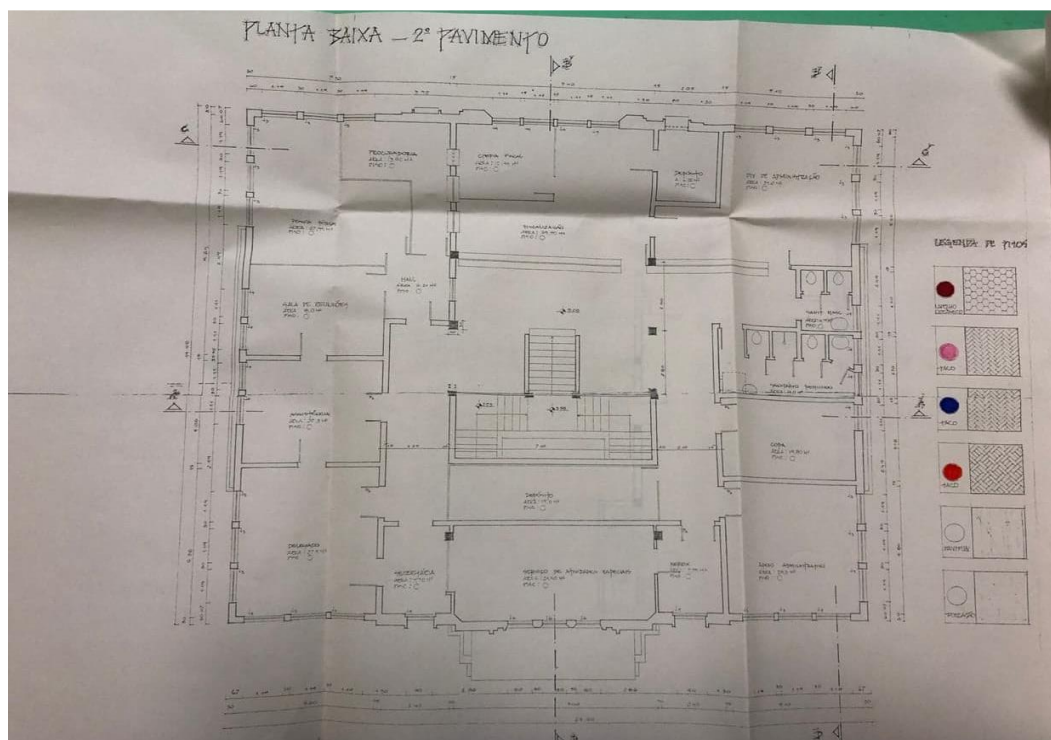
ANEXO A – Plantas e dados construtivos do prédio analisado, pertencente a uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES), no Rio Grande do Sul

Figura 1: Planta baixa do primeiro pavimento



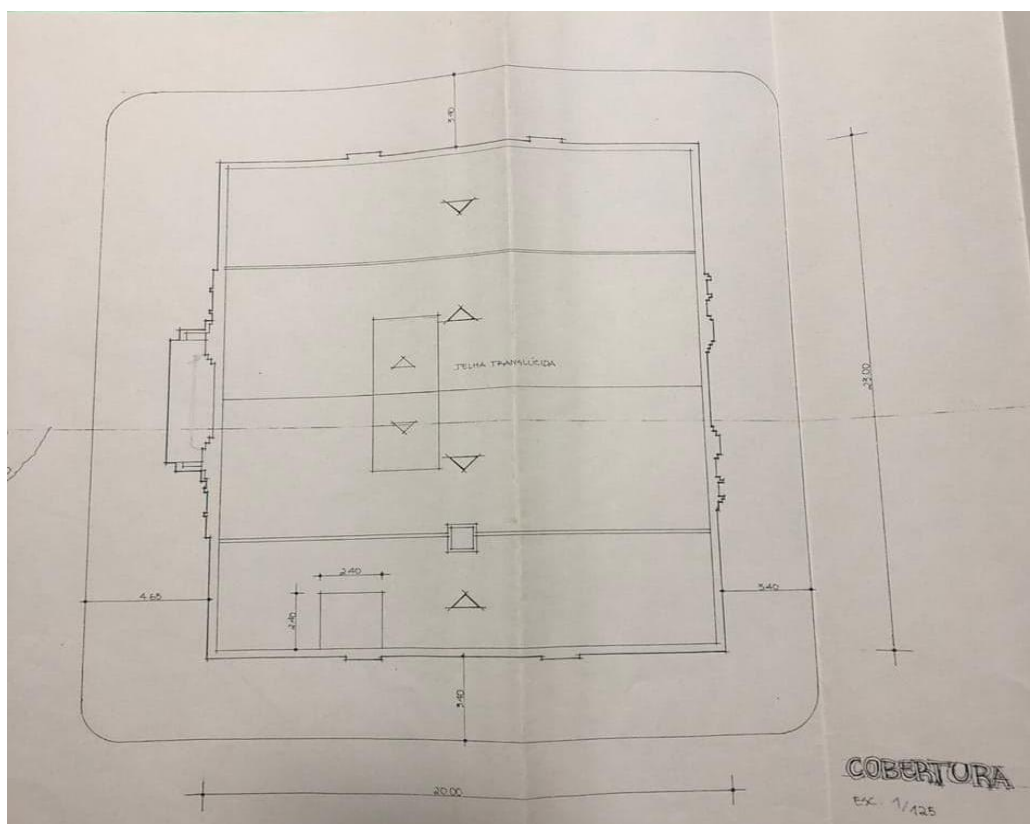
Fonte: NEAB - Núcleo de Estudos de Arquitetura Brasileira, 2019

Figura 2: Planta baixa do segundo pavimento



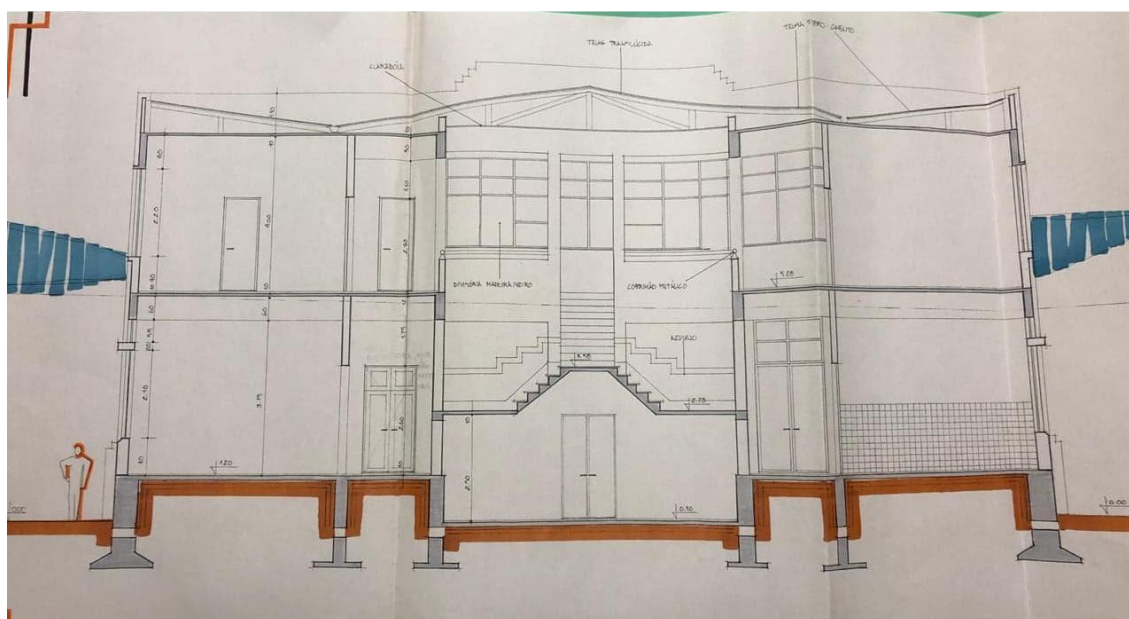
Fonte: NEAB - Núcleo de Estudos de Arquitetura Brasileira, 2019

Figura 3: Planta baixa de cobertura



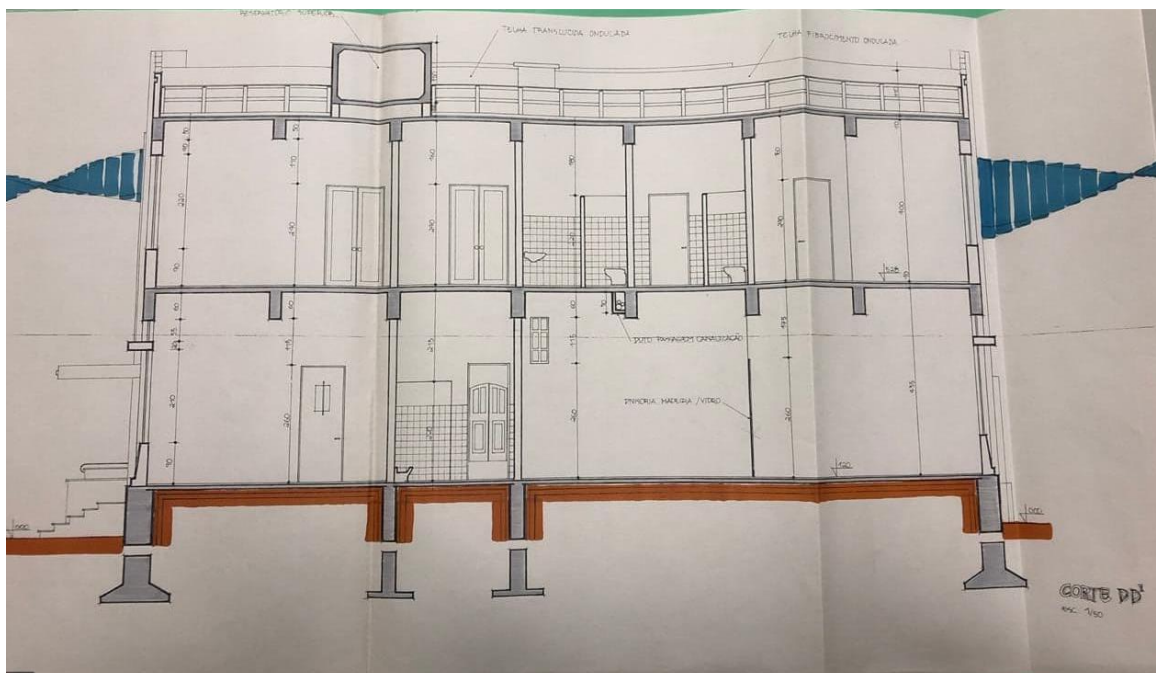
Fonte: NEAB - Núcleo de Estudos de Arquitetura Brasileira, 2019

Figura 4: Corte AA'



Fonte: NEAB - Núcleo de Estudos de Arquitetura Brasileira, 2019

Figura 7: Corte DD'



Fonte: NEAB - Núcleo de Estudos de Arquitetura Brasileira, 2019

Figura 8: Quadro especificativo dos elementos construtivos

ELEM CONSTRUTIVOS	ESPECIFICAÇÕES
AUERCE	TENDO COMO ÚNICA FONTE DE PESQUISA O PROJETO ORIGINAL, CONSIDERAÇÃO GERAL DO PROJETO, LAJE DE ACABAMENTOS SEM REFINAÇÃO, ETC.), CONCLUSÃO QUE OS MESMOS ENCONTRAM-SE EM BOA CONDIÇÃO.
PISOS	LUSTRO - CONTRAPISO SOBRE ATREDO COM FINIMENTAÇÃO SEGUNDO QUADRO DE ACABAMENTOS. SUFICIENTE LAJE DE CONCRETO ARMADO COM RAJMENTAÇÃO SEGUNDO QUADRO DE ACABAMENTOS.
PAREDES	INTERNA - DE ALVENARIA DE TIPOLOS ARGAMASSADAS, REBOCADAS EXTERIORMENTE LUSTROSO GOMOSO, ACABAMENTO EM P.V.A. ROSA E PLACAS DE MÁRMORE, POSSUI FUNÇÃO ESTRUTURAL. INTERNA - DE ALVENARIA DE TIPOLOS ARGAMASSADAS ACABAMENTO SEGUNDO O QUADRO FUNÇÃO DE VEDAÇÃO. INTERIORES CONCESSIONÁRIAS COM MADEIRA E VIDRO, TENDO COMO FUNÇÃO A SEPARAÇÃO DOS AMBIENTES.
ESTRUTURA	DE ESTATUA MISTA, COMPOSTA DE PILARES E VIGAS DE CONCRETO ARMA-
TETO	LUSTRO DE CONCRETO ARMADO COM FINIMENTAÇÃO DE LAJE DE CERÂMICO.
TELHADO	CUBERTURA EM TELHA DE FIBRA CIMENTO TIPO MARILAC 8mm E TELHA TRANSLÚCIDA DE FIBRA SOBRE A CLAREADA.
ESCADAS	ESCALA DE ACESSO PRINCIPAL, CONSTITUÍDA DE DUO DEGRaus COM SOLERIAS DE MÁRMORE BRANCO/LAVAZADO E ESPELHO DE MÁRMORE CINZA ESCURO(LAVAZADO), PROTEÇÃO LATERAIS DE ALUMINUM DE TIPOLOS DEGRaus DE MÁRMORE CINZA ESCURO(LAVAZADO) COM ACABAMENTO SUPERFÍCIE EM BRANCO. ESCALA ENTRE SALAS DEGRauada COM 02m, CONSTITUÍDA DE TRÊS DEGRaus COM SOLERIA DE MÁRMORE BRANCO/LAVAZADO E ESPELHO DE MÁRMORE CINZA ESCURO(LAVAZADO). ESCALADA DA GARAGEM, POSSUI QUATRO DEGRaus COM SOLERIAS DE LAJOTILHO CERÂMICO VERMELHO CHAMFRADO(25x75) E ESPELHO DE LAJOTILHO CERÂMICO VERMELHO(25x75). ESCALADA DE FUNDO, POSSUI SEIS DEGRaus COM SOLERIA DE MÁRMORE BRANCO/LAVAZADO E ESPELHO DE MÁRMORE CINZA ESCURO(LAVAZADO).

QUADRO DESCRITIVO DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS.

Fonte: NEAB - Núcleo de Estudos de Arquitetura Brasileira, 2019

ANEXO B – Checklist da evolução de projetos para licitação, fornecido pela Coordenadoria De Obras e Planejamentos Físicos (COPF).

Item	Descrição	Sim	Não	NA
01	SOLICITAÇÃO DA UNIDADE/REITORIA (Formulário de Solicitação de Projetos e Obras).			
02	PROGRAMA DE NECESSIDADES			
03	ESTUDO PRELIMINAR			
04	PROJETO ARQUITETÔNICO			
4.1	Levantamento Topográfico			
4.2	Relatório de Sondagem			
4.3	Projeto de canteiro de obras			
4.4	Implantação e Situação			
4.5	Localização e Cobertura			
4.6	Planta Baixa atual (a demolir / a construir)			
4.7	Planta Baixa Cotada			
4.8	Planta Baixa Mobiliada			
4.9	Planta Baixa de acabamentos e quadro de áreas			
4.10	Cortes transversais e longitudinais			
4.11	Fachadas			
4.12	Planta de esquadrias			
4.13	Paisagismo			
4.14	Detalhes (que possam influir no valor do orçamento)			
4.15	Lista de Materiais / Quadro de quantidades / especificações			
4.16	Memorial descritivo			
4.17	Memória de cálculo			
4.18	Atendimento às normas de acessibilidade			
4.19	RRT/ART Projeto Arquitetônico			
05	PROJETO DE TERRAPLANAGEM			
5.1	Desenhos de implantação com indicação dos níveis originais e dos níveis propostos			
5.2	Perfil longitudinal e seções transversais tipo com indicação da situação original e da proposta e definição de taludes e contenção de terra			
5.3	Memória com cálculo de volume de corte e aterro e respectivo quadro resumo de corte e aterro			
5.4	Especificação dos materiais para aterro			
5.5	ART do Projeto de Terraplanagem			
06	PROJETO ESTRUTURAL			
6.1	Planta de locação das fundações e pilares			
6.2	Planta de formas das fundações			
6.3	Planta de armação das fundações			

6.4	Planta de armação dos pilares, vigas e lajes.			
6.5	Para estruturas com pré-moldado apresentar ART da estrutura, memória de cálculo e detalhes das ferragens.			
6.6	Detalhes de escadas			
6.7	Detalhes das caixas d'água, seções especiais, balanços, pendurais, etc.			
6.8	Lista de Materiais / Quadro de quantidades / especificações			
6.9	Memorial descritivo com método construtivo			
6.10	Memória de cálculo			
6.11	ART Projeto Estrutural			
07	PROJETO HIDROSSANITÁRIO/ PLUVIAL			
7.1	Planta de implantação com indicação das ligações às redes existentes, cotas de tampa, cotas de fundo, cotas das geratrizes inferiores das tubulações, drenagem de áreas externas.			
7.2	Planta contendo todas as tubulações de água fria (e quente)			
7.3	Perspectiva isométrica			
7.4	Detalhes da caixa d'água, cisternas e ramal de entrada.			
7.5	Esquema vertical das tubulações			
7.6	Planta contendo todos os pontos de tomadas e destino pluvial			
7.7	Esquema geral configurando a posição dos aparelhos sanitários, todas as tubulações, dispositivos de inspeção e de ventilação, bem como disposição final.			
7.8	Detalhes de todas as tubulações e conexões			
7.9	Detalhes construtivos das caixas de inspeção, caixas de areia, caixas de gordura e dispositivos de tratamento de efluentes.			
7.10	Lista de Materiais / Quadro de quantidades / especificações			
7.11	Memorial descritivo			
7.12	Memória de cálculo			
7.13	ART Projeto Hidráulico, sanitário e pluvial.			
08	PROJETO ELÉTRICO			
8.1	Planta Baixa das instalações			
8.2	Planta, corte, elevação da subestação, incluindo parte civil e elétrica.			
8.3	Plantas com localização de geradores e no-breaks.			
8.4	Diagrama dos quadros de carga e unifilar de distribuição			
8.5	Planta de situação e localização da entrada e quadros de distribuição.			
8.6	Plantas com detalhamento do quadro geral de entrada e dos quadros de distribuição, indicando a posição dos dispositivos de manobra, barramentos e dispositivos de proteção com as respectivas cargas.			
8.7	Projeto de aterramento, com o local dos aterramentos e indicação de resistência máxima de terra e das equalizações.			
8.8	Planta das Derivações e esquema de prumadas			

8.9	Dimensionamento da luminotécnica, luminárias, condutos, condutores e segurança.			
8.10	Detalhes gerais, específicos e complementares.			
8.11	Lista de Materiais / Quadro de quantidades / especificações			
8.12	Memorial descritivo			
8.13	Memória de cálculo			
8.14	ART Projeto Elétrico			
09	PROJETO SPDA - Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas			
9.1	Planta Baixa de aterramento, com o local dos aterramentos e indicação de resistência máxima de terra e das equalizações.			
9.2	Planta de cobertura com indicação de descidas, localização e tipos de para-raios.			
9.3	Planta de Situação			
9.4	Detalhes gerais, específicos e complementares.			
9.5	Lista de Materiais / Quadro de quantidades / especificações			
9.6	Memorial descritivo			
9.7	Memória de cálculo			
9.8	ART SPDA			
10	PROJETO DE REDE ESTRUTURADA			
10.1	Planta Baixa das instalações e de cada pavimento, indicando a modulação das caixas de saída, pontos, tubulações, espaços destinados a painéis de distribuição, hubs, CPD, servidores, infraestrutura para passagem dos cabos e numeração sequencial dos pontos de rede.			
10.2	Planta de situação indicando a localização da entrada e ramal da concessionária			
10.3	Diagramas esquemático e de blocos.			
10.4	Detalhes gerais, específicos e complementares.			
10.5	Lista de Materiais / Quadro de quantidades / especificações			
10.6	Memorial descritivo			
10.7	Memória de cálculo			
10.8	ART Projeto de Rede Estruturada			
11	PROJETO DE REDE DE GÁS			
11.1	Planta Baixa das instalações			
11.2	Planta com a localização dos cilindros e circulação de acesso			
11.3	Detalhes gerais, específicos e complementares.			
11.4	Quadro de quantidades e especificações			
11.5	Memorial descritivo			
11.6	Memória de cálculo			
11.7	ART Projeto de Rede de Gás			
12	PLANO DE PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO PPCI			

12.1	Planta geral contendo as tubulações e dispositivos de prevenção e combate a incêndio			
12.2	Detalhes de todos os dispositivos			
12.3	Representação gráfica da localização e tipo de extintores a serem usados			
12.4	Isometria, em escala adequada, dos sistemas de hidrantes ou mangotinho, chuveiros automáticos, com indicação de diâmetros, comprimento dos tubos e das mangueiras, vazões nos pontos principais, cotas de elevação e outros.			
12.5	Desenho esquemático da sala de bombas, reservatórios e abrigos.			
12.6	Planta da Rota de Fuga			
12.7	Detalhes gerais, específicos e complementares.			
12.8	Lista de Materiais / Quadro de quantidades / especificações			
12.9	Memorial descritivo			
12.9	Memória de cálculo			
12.10	ART Projeto PPCI			
13	PROJETO DE CLIMATIZAÇÃO			
13.1	Planta Baixa das instalações			
13.2	Planta de rede de dutos ou interligação entre unidades, com localização dos principais componentes do sistema, como torres de resfriamento, unidades condensadoras, chillers, reservatórios, ventiladores e outros.			
13.3	Detalhes gerais, específicos e complementares.			
13.4	Lista de Materiais / Quadro de quantidades / especificações			
13.5	Memorial descritivo			
13.6	Memória de cálculo da carga térmica, dimensionamento dos equipamentos e dutos.			
13.7	ART Projeto Climatização			
14	DEMAIS DOCUMENTOS			
14.1	Orçamento			
14.2	Cronograma Físico Financeiro			
14.3	Curva ABC			
14.4	Composições			
14.5	Declaração SINAPI			
14.6	Composição BDI			
14.7	Pesquisa de Mercado			
14.8	Caderno de Encargos (composto de normas gerais, especificações técnicas, condições de execução e medição, elaboração de "As Built" e do Manual de Uso e Manutenção do Prédio)			
14.9	ART de Orçamento e Cronograma			
15	DOCUMENTOS DE FORMALIZAÇÃO			
15.1	Anexo Segurança			
15.2	Dados para elaboração do Edital			
15.3	Registro de Imóveis			

15.4	Licença Ambiental (CGA/PRAINFR)			
15.5	De acordo da unidade (o projeto atende as necessidades?).			
15.6	Relação documentos para licitação			
15.7	Previsão de recursos orçamentários (Dotação) Pró-reitor			
15.8	Outros			
15.9	Conferência geral e Assinaturas			