

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Michel Klein Pinheiro da Silva

**Análise econômica de medidas de eficiência energética em um  
prédio histórico de Florianópolis, de acordo com a nova  
etiquetagem comercial Procel Edifica**

Florianópolis/SC

2019

Michel Klein Pinheiro da Silva

**Análise econômica de medidas de eficiência energética em um prédio histórico de Florianópolis, de acordo com a nova etiquetagem comercial Procel Edifica**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ana Paula Melo, Dra.  
Coorientador: Prof. Roberto Lamberts, Ph.D.

Florianópolis/SC

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Michel Klein Pinheiro da  
Análise econômica de medidas de eficiência energética em  
um prédio histórico de Florianópolis, de acordo com a nova  
etiquetagem comercial Procel Edifica / Michel Klein  
Pinheiro da Silva ; orientadora, Ana Paula Melo,  
coorientador, Roberto Lamberts, 2019.  
72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Eficiência Energética em  
Edificações. 3. Novo Regulamento Brasileiro de Etiquetagem  
de Edificações Comerciais. 4. Edifício Histórico. I. Melo,  
Ana Paula. II. Lamberts, Roberto. III. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil.  
IV. Título.

Michel Klein Pinheiro da Silva

**Análise econômica de medidas de eficiência energética em um prédio histórico de Florianópolis, de acordo com a nova etiquetagem comercial Procel Edifica**

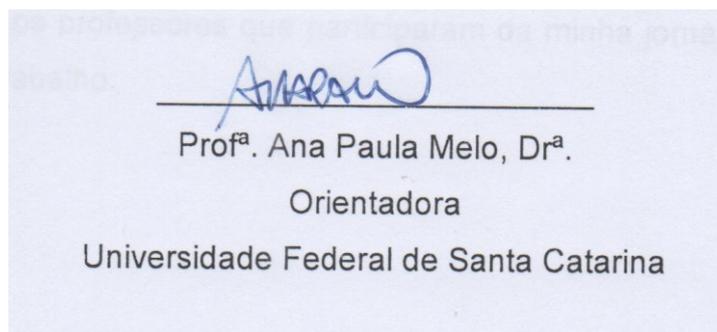
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 28 de junho de 2019.

Prof<sup>a</sup>. Luciana Rohde, Dr<sup>a</sup>.

Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**



Prof. Roberto Lamberts, Ph.D.

Coorientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Renata De Vecchi, Dr<sup>a</sup>.

Universidade Federal de Santa Catarina

## **Agradecimentos**

Agradeço a minha família, por todo o apoio. A minha mãe, por estar sempre presente e me ajudar a me concentrar nos estudos. Ao meu pai, por todo o suporte. A minha irmã, por todos os momentos de conversas sérias e brincadeiras.

A minha namorada, que esteve sempre junto comigo, mesmo estando longe fisicamente. Seu auxílio na revisão final deste trabalho, com uma visão leiga do assunto, proporcionou maior fluidez ao texto e foi fundamental para a qualidade deste trabalho.

A professora Ana Paula Melo, pela orientação durante este trabalho, pelas correções rápidas e detalhistas, e por sempre transmitir bom humor e alto astral.

Ao professor Roberto Lamberts, por todos os ensinamentos das disciplinas e pelo incentivo a seguir na área de eficiência energética.

A todos do LabEEE, por criarem um ambiente que favorece o aprendizado e a cooperação entre os pesquisadores.

E a todos os professores que participaram da minha jornada acadêmica, que culminou neste trabalho.

## Resumo

Como forma de incentivar o uso de edifícios históricos, este trabalho teve como objetivo realizar a classificação de eficiência energética de um edifício histórico e propor medidas de aumento de eficiência energética. O edifício analisado, a Casa de Câmara e Cadeia de Florianópolis, teve a envoltória e o sistema de iluminação classificados de acordo com os métodos simplificado e de simulação computacional da nova etiquetagem de edifícios comerciais do PBE Edifica. Por meio do método simplificado, foi verificado que o edifício tem a classificação D de eficiência energética para a envoltória e A para a iluminação. Considerando que as paredes externas do edifício não atendem ao limite superior de capacidade térmica para a classificação da envoltória pelo método simplificado, foi realizada a simulação computacional, e verificou-se que a envoltória permaneceu na classe D de eficiência energética. Posteriormente, foram verificadas medidas de eficiência energética que reduzissem o consumo do edifício. Foram inseridas no método simplificado as medidas de substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, a troca dos vidros simples por laminados e o isolamento térmico da cobertura. A composição dessas três medidas garantiu uma carga térmica de refrigeração em torno de 15% menor do que o caso base. No entanto, somente a medida de troca das lâmpadas e a composição dessa troca com o isolamento da cobertura apresentaram viabilidade econômica para a implantação.

Palavras-chave: Eficiência Energética em Edificações. Novo Regulamento Brasileiro de Etiquetagem de Edificações Comerciais. Edifício Histórico.

## **Abstract**

In order to encourage the use of historic buildings, the purpose of this work is to classify the energy efficiency of a historic building and to propose energy efficiency solutions. The envelope and the lighting system of the “Casa de Câmara e Cadeia”, situated in Florianópolis, were classified according to the new Brazilian labeling regulation for commercial buildings. Using the simplified method, the building envelope obtained the energy class D and the lighting system, the energy class A. Considering that the external walls did not comply with the superior limits of the simplified method for the thermal capacity, the computer simulation were done, and with the results the envelope remained in the same energy class. Afterwards, some energy efficiency solutions have been tested in order to lower the building energy consumption. The following solutions have been inserted in the simplified method: the substitution of the fluorescent lights for LED lights, the substitution of the simple glazing for laminated glazing and the roofing thermal insulation. A composition of these three solutions caused a 15% reduction in the refrigeration thermal loads, in comparison with the basis case. However, only the change of fluorescent LED lighting and the composition of this change with the roofing insulation were economically viable.

**Keywords:** Building Energy Efficiency. New Brazilian Energy Labeling Regulation for Commercial Buildings. Historic Building.

## Lista de figuras

Figura 1 - Fachada do edifício em estudo .....	31
Figura 2 - Planta baixa do térreo e do pavimento superior do edifício em estudo.....	33
<i>Figura 3 - Edifício analisado e vizinhança .....</i>	<i>33</i>
Figura 4 - Representação da fachada frontal .....	34
Figura 5 - Representação da fachada lateral .....	35
Figura 6 - Zonas térmicas .....	38
Figura 7 - Modelo em três dimensões do edifício real .....	43
Figura 8 - Modelo em três dimensões do edifício de referência .....	45
Figura 9 - Sombreamento das edificações vizinhas no modelo a ser simulado .....	45

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Limites dos parâmetros da edificação atendidos pelo método simplificado. .....	22
Tabela 2 - Sombreamentos causados pela vizinhança .....	34
Tabela 3 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados na modelagem do caso real .....	36
Tabela 4 - Tipos e potências de lâmpadas utilizadas no edifício .....	36
Tabela 5 - Tipos e potências dos equipamentos utilizadas no edifício .....	37
Tabela 6 - Materiais utilizados no caso referência.....	39
Tabela 7 - Valores da edificação real e de referência.....	40
Tabela 8 - Características específicas de cada zona .....	40
Tabela 9 - Materiais usados para a modelagem das paredes internas e pisos na simulação computacional.....	44
Tabela 10 - Medidas de eficiência energética com modificações na cobertura .....	47
Tabela 11 - Resultados da aplicação do caso base ao metamodelo do método simplificado PBE Edifica .....	52
Tabela 12 - Limites das classes de eficiência energética da envoltória no método simplificado .....	52
Tabela 13 - Limites de potência das classes de eficiência energética do sistema de iluminação para museus .....	53
Tabela 14 – Resultados obtidos na simulação .....	54
Tabela 15 - Limites das classes de eficiência energética da envoltória na simulação .....	54
Tabela 16 - Comparação entre os resultados do método simplificado e da simulação computacional.....	55
Tabela 17 - Resultados de carga térmica de refrigeração das medidas de eficiência energética aplicadas no método simplificado .....	56
Tabela 18 - Resultados de carga térmica de refrigeração das medidas de eficiência energética aplicadas no método simplificado (cont.) .....	57
Tabela 19 - Redução da carga térmica das medidas de eficiência energética .....	57
Tabela 20 - Comparação do caso base real com o caso de aplicação das medidas de eficiência energética .....	58

Tabela 21 – Redução do consumo e da tarifa de energia elétrica com a aplicação das medidas de eficiência energética .....	60
Tabela 22 - Cálculo dos indicadores de viabilidade econômica para cada medida de eficiência energética .....	61

## **Lista de abreviaturas e siglas**

ABNT: Associação Brasileira De Normas Técnicas

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

BEN: Balanço Energético Nacional

CB3E: Centro Brasileiro de Eficiência Energética

DPE: Densidade de Potência de Equipamentos

DPI: Densidade de Potência de Iluminação

ENCE: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

INI-C: Instrução Normativa Inmetro para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

MME: Ministério de Minas e Energia

PBE: Programa Brasileiro de Etiquetagem

PNEf: Plano Nacional de Eficiência Energética

PROCEL: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RAC: Requisitos de avaliação da conformidade para a Eficiência Energética de Edificações

RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

RTQ-R: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

SEPHAN: Serviço de Patrimônio Histórico, Artístico e Natural de Florianópolis

SESC-SC: Serviço Social do Comércio de Santa Catarina

TIR: Taxa Interna de Atratividade

VPL: Valor Presente Líquido

## **Lista de símbolos**

$e$  – espessura

$\lambda$  – condutividade térmica

$\rho$  – peso específico aparente

$c$  – calor específico

$R_t$  – resistência térmica total

$U_t$  – transmitância térmica total

$C_t$  – capacidade térmica total

## Sumário

1. Introdução .....	14
1.1. Justificativa .....	14
1.2. Objetivos .....	16
1.2.1. Objetivo principal.....	16
1.2.2. Objetivos específicos .....	17
1.2.3. Estrutura do trabalho .....	17
2. Revisão bibliográfica .....	18
2.1. Certificação ambiental e eficiência energética em edificações .....	18
2.2. O método de etiquetagem PBE Edifica .....	20
2.3. Patrimônio cultural e tombamento .....	26
2.4. Análise econômica .....	28
2.5. Síntese.....	29
3. Método .....	31
3.1 Estudo de caso .....	31
3.2. Análise de eficiência energética .....	37
3.2.1. Método simplificado (metamodelo).....	37
3.2.2. Simulação computacional.....	42
3.3. Medidas de eficiência energética .....	46
3.4. Análise de viabilidade econômica .....	47
4. Resultados .....	51
4.1. Análise de eficiência energética .....	51
4.1.1. Método simplificado.....	51
4.1.2. Simulação Computacional.....	54
4.2. Comparação entre o método simplificado e a simulação computacional .....	55
4.3. Medidas de eficiência energética .....	55

4.4. Análise econômica .....	59
5. Conclusões .....	62
5.1. Dificuldades e limitações do trabalho .....	63
5.2. Sugestões de trabalhos futuros .....	64
6. Referências bibliográficas .....	65

## 1. Introdução

### 1.1. Justificativa

Inúmeros prédios históricos encontram-se em situação de abandono em todo o Brasil. O aproveitamento dessas edificações é dificultado pela falta de recursos e políticas públicas. Além disso, as leis de tombamento histórico impõem diversas restrições de reforma. Com isso, em cidades como Belém (CASTRO, 2018), Recife (MESQUITA E NOTARO, 2015) e Florianópolis (DIAS, 2005), surgem áreas desvalorizadas, inseguras e subutilizadas, considerando-se potenciais usos no comércio e no turismo.

O despovoamento do centro histórico das cidades ocorreu, principalmente, com o avanço dos bairros residenciais na periferia das cidades. Esse deslocamento ocorreu em razão do menor custo dos terrenos mais afastados e da abertura de centros comerciais e supermercados nessas localidades (QUEIRÓS, 2007).

A revitalização de um centro histórico depende da utilização dos edifícios em novas atividades. Isso envolve a restauração dos edifícios antigos ou a construção de novos, quando justificado. Com o intuito de preservação histórica, o mais interessante, do ponto de vista arquitetônico, é optar pela restauração.

Excetuando-se nas cidades históricas, os prédios históricos encontram-se inseridos na malha urbana contemporânea. Para que a população não enxergue o tombamento desses edifícios como um entrave ao desenvolvimento da cidade, devem ser estabelecidas prioridades em relação a quais edifícios preservar e em quais espaços permitir a instalação de estruturas mais modernas (DIAS, 2005). Nem todo prédio antigo tem valor histórico, mas mesmo os que participaram da vida da cidade na forma de centros públicos de destaque como igrejas, câmaras e teatros, entre outros, tem sofrido de pouca manutenção e restauração. Com isso, perde-se muito da memória das cidades.

Em diversos países como Portugal, Espanha, Bélgica e Holanda, os centros históricos funcionam como centros comerciais e induzem o comércio e a economia locais. As fachadas destes edifícios são totalmente preservadas, mas os interiores são adaptados para a instalação do empreendimento. A vertente arquitetônica do fachadismo leva esse conceito ao extremo, com a total demolição do interior do

edifício e a reformulação dos espaços. No entanto, essa forma de conservação, apesar de manter a atmosfera histórica externa da região, sofre muitas críticas por causar perdas das características construtivas e de distribuição espacial do passado (HIGHFIELD, 2002). Portanto, deve haver um equilíbrio entre as alterações, necessárias para adequar o edifício à nova ocupação, e às características a serem conservadas.

Nos prédios históricos do Brasil, geralmente são implantados museus ou repartições públicas, que dependem muito da aplicação de verbas públicas para a manutenção. Se for considerada a possibilidade de restauração para posterior concessão para a iniciativa privada, seria possível cobrar, em contrato, a manutenção adequada.

A construção civil é um dos setores que provoca maior impacto ambiental devido ao elevado consumo de matéria-prima, que pode chegar a 50% dos recursos naturais extraídos mundialmente (MOURA, 2000). Desse modo, é de fundamental importância a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável, definido como a utilização adequada dos recursos naturais finitos de forma a atender as necessidades atuais da humanidade sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações (CORRÊA, 2009). Com vistas a sustentabilidade, é mais interessante incentivar o reaproveitamento dos edifícios, evitando grande quantidade de resíduos de demolição e a posterior utilização de mais matéria-prima para uma nova construção.

Donaire (1999) afirma que as empresas que atendem às expectativas da sociedade com relação à sustentabilidade melhoram a imagem institucional, pois uma empresa que é vista como ambientalmente responsável possui vantagem estratégica perante uma concorrente que não tem essa imagem diante dos consumidores. Portanto, a associação de edifícios históricos com a sustentabilidade gera vantagens competitivas para as empresas.

Um aspecto fundamental a ser considerado na adaptação sustentável dos prédios históricos aos dias atuais é o consumo de energia. Na época da construção desses edifícios, pouca energia era utilizada nas atividades diárias, mas nas últimas décadas a sociedade ampliou consideravelmente o consumo de energia elétrica devido à crescente presença de eletrodomésticos e eletroeletrônicos nas residências

e edifícios comerciais. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2017, edificações são responsáveis por 50,8% do consumo de energia elétrica no Brasil, sendo 25,5% referente às edificações residenciais, 17,1% às comerciais e 8,2% referente às edificações públicas (EPE, 2018).

Esses dados fornecem um indicativo da importância de ações que reduzam o consumo de energia sem que os novos hábitos da sociedade sejam prejudicados. Esse aspecto é vital para o sucesso do reaproveitamento de edifícios construídos quando não haviam essas preocupações. Com vista nisso, surge o conceito de eficiência energética, definida como a redução do consumo de energia para realizar a mesma atividade, com conforto adequado.

Para que sejam implantadas medidas visando a eficiência energética, é necessário que os edifícios sejam avaliados e classificados. Para tanto, foram desenvolvidos métodos de avaliação de eficiência energética tanto para os prédios que ainda estão em projeto quanto para os já construídos. No Brasil, entre os métodos utilizados destaca-se o RTQ-C, de 2009, que avalia edifícios comerciais, de serviços e públicos. Em 2018, entrou em consulta pública para a discussão de melhorias no método de avaliação. O resultado é a proposta INI-C, ainda em discussão, que avalia os edifícios comerciais entre as classes A (mais eficiente) até E (menos eficiente).

Com base no exposto, este trabalho tem como objetivo analisar um prédio histórico, tombado pelo município de Florianópolis, utilizando o novo método de avaliação energética de edificações, o INI-C. A edificação analisada é a Casa de Câmara e Cadeia, com 865,9 m<sup>2</sup> de área construída, dividida em dois pavimentos.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a viabilidade econômica de medidas de eficiência energética aplicadas a um prédio histórico, localizado na cidade de Florianópolis, de acordo com a nova proposta INI-C de avaliação energética em edificações.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Dentre os objetivos específicos, destacam-se:

- Classificar a eficiência energética da envoltória e do sistema de iluminação, de acordo com o método INI-C;
- Propor alternativas para a melhoria da classificação de eficiência energética do edifício, dentro das possibilidades de edifícios tombados.

### **1.2.3. Estrutura do trabalho**

O Capítulo 2 é referente à revisão bibliográfica. São abordados os seguintes temas: certificação ambiental, etiquetagem PBE Edifica, patrimônio cultural e análise econômica.

O Capítulo 3 trata da metodologia utilizada neste trabalho. Foram utilizados os métodos simplificado e de simulação computacional do novo sistema de avaliação de eficiência energética INI-C para classificar a envoltória e o sistema de iluminação do edifício histórico em estudo. Também foram aplicadas as medidas de eficiência energética ao método simplificado, e a medida que mais reduziu a carga térmica de refrigeração foi aplicada à simulação computacional.

O Capítulo 4 relata os resultados obtidos. A partir dos dados de carga térmica de refrigeração obtidos por ambos os métodos, foi possível identificar as melhores medidas de eficiência energética passíveis de implementação em um edifício histórico.

O Capítulo 5 relata as conclusões deste trabalho, as dificuldades encontradas e as sugestões de trabalhos futuros.

## 2. Revisão bibliográfica

### 2.1. Certificação ambiental e eficiência energética em edificações

Historicamente, o ser humano precisou se adaptar às condições ambientais e climáticas em que vivia. A moradia seguia esse princípio, ao fornecer um local seguro e confortável, onde os usuários se adaptavam, no que fosse possível, às tecnologias de cada época e às características locais.

No entanto, segundo o MME (2011), a progressiva globalização dos profissionais e dos meios produtivos levaram a uma uniformização mundial dos estilos arquitetônicos das edificações, desconsiderando as características climáticas locais. Assim, o conforto do ambiente construído passou cada vez mais a ser garantido por mecanismos artificiais. Além disso, os projetistas começaram a sobrepor as suas ideias à adaptação ambiental dos edifícios, aumentando drasticamente o consumo energético.

Esse quadro começou a se alterar com a crise do petróleo, na década de 70. O grande aumento dos custos de energia forçou a implantação de políticas públicas de redução da pressão sobre a matriz energética, por meio do aumento da eficiência energética. Segundo o MME (2011), a eficiência energética refere-se às ações de diversas naturezas que resultam na redução da energia necessária para atender as demandas da sociedade, sob a forma de calor, condicionamento de ar, iluminação, entre outros.

As diretrizes técnicas já existentes, desenvolvidas pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), foram adaptadas como código de obras, tornando-se obrigatórias, nos Estados Unidos. Diversos outros países, principalmente os desenvolvidos, que mais haviam elevado o consumo energético, adotaram rapidamente o mesmo procedimento (GONÇALVES; BODE, 2015).

Ao mesmo tempo que surgia essa preocupação de consumo energético, surgiram movimentos ambientais, preocupados principalmente com o esgotamento dos recursos naturais. A ONU, com os documentos *Nosso Futuro Comum* e *Agenda 21*, propôs políticas globais de proteção ao meio ambiente, e países desenvolvidos

começaram a se organizar nesse sentido. (BARBIERI; SILVA, 2011). Para a classificação dos edifícios de acordo com sua sustentabilidade, incluindo seus gastos energéticos, surgiram procedimentos de certificação ambiental, sendo os pioneiros o BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) no Reino Unido, o LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*) nos Estados Unidos e o HQE (*Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*) na França (GONÇALVES; BODE, 2015).

Considerando que a maior parte do impacto ambiental de um edifício está correlacionado com o seu uso e operação, com o consumo de energia primária, foram desenvolvidas certificações que avaliam a eficiência energética e identificam o potencial de redução desse consumo com mudanças de projeto, implantação de novas tecnologias e conscientização do usuário (GONÇALVES; BODE, 2015).

Países como EUA, Canadá e Austrália possuem seus respectivos regulamentos e normas para verificação da eficiência energética dos edifícios (CARLO, 2008). Na Europa, desde 2006 há um programa compulsório de certificação de edificações para os países da União Europeia que desempenha um importante papel na política de redução do consumo energético no continente (ANDALORO et al., 2010).

No Brasil, após a crise energética de 2001, conhecida como a “crise do apagão”, foi implementada a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, instituída pela Lei nº 10.295 (BRASIL, 2001a) e Decreto n. 4.059 (BRASIL, 2001b), que estabelece que equipamentos consumidores de energia devem atender níveis mínimos de eficiência energética ou máximos de consumo, com base em valores técnica e economicamente viáveis. Este decreto também determinou a criação do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética, que tem a função de estabelecer regulações e prazos de aplicação para cada tipo de aparelho, e estabelece o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) como responsável pela implementação e fiscalização dos programas de avaliação de conformidade.

Em 2008, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) lançou a NBR 15575 (ABNT, 2013), com o objetivo de garantir que as edificações residenciais atingissem requisitos mínimos de desempenho em todos os seus sistemas. Foi

incluído o desempenho térmico, utilizando como base a norma anterior, NBR 15220 (ABNT, 2005). A norma traz os critérios que devem ser atendidos pela edificação, de acordo com a sua zona bioclimática, para atingir o desempenho mínimo e indica três procedimentos para a avaliação: simplificado, simulação e medição. Após discussões, a NBR 15575 foi revisada e relançada em 2013, passando a ser obrigatória desde então para edifícios habitacionais.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e executado pela Eletrobrás, promove diversos programas de uso racional de energia elétrica, entre eles o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Inmetro. O PBE trata da etiquetagem de eficiência energética de equipamentos eletroeletrônicos, veículos e, mais recentemente, de edificações, no âmbito do PBE Edifica, por meio da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

No âmbito do PBE Edifica, primeiramente foi apresentado o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, conhecido como RTQ-C, em 2009, e posteriormente, em 2010, foi divulgado o RTQ-R, destinado às edificações residenciais.

## **2.2. O método de etiquetagem PBE Edifica**

Existem duas classificações, de acordo com o método de etiquetagem PBE Edifica: edificações comerciais, de serviços e públicas (RTQ-C); e edificações residenciais (RTQ-R). Em ambas, a ENCE apresenta níveis que vão de A (mais eficiente) até E (menos eficiente), podendo ser fornecida para o projeto ou para a edificação construída.

A avaliação pode ser realizada por dois métodos: o prescritivo e simulação computacional. O primeiro pode ser utilizado para a maioria das edificações, e consiste em inserir determinadas características de geometria e de materiais da edificação em equações analíticas. Esse procedimento é facilitado com uma ferramenta denominada WebPrescritivo. Já o uso da simulação computacional envolve o uso de *softwares* específicos e deve ser adotado para edificações com geometrias complexas e medidas inovadoras de aumento de eficiência energética.

Atualmente, a etiquetagem de edificações PBE Edifica classifica a eficiência energética utilizando um indicador de consumo que, apesar de permitir a sua classificação de A a E, não fornece uma ideia de grandeza relacionada ao consumo real da edificação. Esta limitação não permite que a economia gerada por medidas de eficiência energética empregadas seja quantificada. Os resultados de comparação entre os consumos apontaram uma economia média de energia obtida entre os modelos de referência nível “A” e “D” de aproximadamente 26%, variando entre 21% a 34% conforme a edificação e a zona bioclimática. (CARVALHO et al, 2013). Além disso, há algumas características importantes para a eficiência energética que as edificações podem apresentar e não são consideradas no método prescritivo atual, principalmente quanto ao uso de vidros especiais, à orientação solar e à ventilação natural (CB3E, 2017a).

Devido a essas limitações, o CB3E (2017b) desenvolveu uma nova proposta para o método de avaliação para etiquetagem, no qual o consumo energético é estimado com base no consumo de energia primária, ou seja, de acordo com a fonte de energia (elétrica ou térmica) e seus respectivos fatores de conversão e de emissão de dióxido de carbono. O cálculo da energia primária se justifica pois a eficiência energética de um equipamento depende de toda a cadeia de transformação até a energia final, ou seja, depende da fonte de energia, mesmo que o resultado final seja o mesmo. A nova etiquetagem compara a edificação, considerando suas características reais, com a mesma edificação adotando-se características de referência.

Os métodos de avaliação são: simplificado (anteriormente denominado prescritivo) e simulação computacional.

O método simplificado para edifícios comerciais envolve a inserção, em um metamodelo, de dados relativos à geometria da edificação, aos materiais utilizados na edificação e à potência utilizada para iluminação e equipamentos. O metamodelo prevê o uso de redes neurais artificiais para determinar a carga térmica de refrigeração do edifício.

Um metamodelo refere-se a um modelo com um certo nível de abstração, que integra as propriedades de modelos sistêmicos de nível inferior. Ou seja, é um modelo que se utiliza de parâmetros de outros modelos. (FILION, 1993). O metamodelo

adotado baseia-se no desenvolvimento dos trabalhos de Melo (2012) e Versage (2015), que propuseram e avaliaram a precisão de uma base de dados para o desenvolvimento de um metamodelo através do uso do método de rede neural artificial, para estimar o consumo de energia utilizada para o resfriamento de edificações comerciais.

Para ser utilizado o método simplificado, alguns parâmetros da edificação devem estar dentro de alguns limites, conforme apresentado na Tabela 1. Caso algum parâmetro extrapole os limites máximos ou mínimos, deve ser realizada a simulação computacional do edifício. Também se recomenda a simulação para edificações que possuam geometrias complexas ou soluções inovadoras que não estejam caracterizadas no metamodelo.

*Tabela 1 - Limites dos parâmetros da edificação atendidos pelo método simplificado.*

Parâmetros	Limites	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura ( $\alpha$ )	0,2	0,8
Absortância solar da parede ( $\alpha$ )	0,2	0,8
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0°	80°
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	90°
Capacidade Térmica da cobertura (CTcob)	0,22 kJ/m <sup>2</sup> K	450 kJ/m <sup>2</sup> K
Capacidade Térmica da parede (CTpar)	0,22 kJ/m <sup>2</sup> K	450 kJ/m <sup>2</sup> K
Contato com o solo	Sem contato (ex.: sobre pilotis ou em balanço)	Em contato
Densidade de Potência de equipamentos (DPE)	4 W/m <sup>2</sup>	40 W/m <sup>2</sup>
Densidade de Potência de iluminação (DPI)	4 W/m <sup>2</sup>	40 W/m <sup>2</sup>
Fator solar do vidro (FS)	0,21	0,87
Percentual de abertura zenital	0%	3%
Pé-direito (PD)	2,6 m	6,6 m
Percentual de abertura da fachada (PAF)	0%	80%
Piso com isolamento	Não, se isolamento < 5 mm	Sim, se isolamento > 5 mm
Transmitância térmica da cobertura (Ucob)	0,51 W/m <sup>2</sup> K	5,07 W/m <sup>2</sup> K
Transmitância térmica da parede externa (Upar)	0,50 W/m <sup>2</sup> K	4,40 W/m <sup>2</sup> K
Transmitância térmica do vidro (Uvid)	1,9 W/m <sup>2</sup>	5,7 W/m <sup>2</sup>

Fonte: (CB3E, 2017c).

No método simplificado deve ser obtida a carga térmica de refrigeração do edifício real e de uma edificação de referência. Para a edificação de referência são consideradas tipologias de diferentes edificações (escritórios, educacionais, hospedagem, hospitalares, entre outros). Porém, não há tipologia específica para edifícios históricos, o que torna necessário utilizar a tipologia genérica, chamada na

proposta de “não definida anteriormente”. O valor do nível de eficiência energética das edificações de referência é a Classe D, e a edificação real será classificada de acordo com a sua eficiência em relação a referência, entre A, mais eficiente, e E, menos eficiente.

A simulação computacional de edificações começou a ser desenvolvida nas décadas de 60 e 70, e inicialmente focava no desempenho da envoltória, posteriormente incluindo outros sistemas como iluminação, climatização e sistemas de controle. É constituído de uma modelagem computacional da geometria da edificação, em conjunto com diversos parâmetros físicos de entrada, como temperatura do ar e do solo, radiação solar, ventilação natural, entre outros. Tem como objetivo calcular o balanço energético a partir dos dados inseridos, chegando, assim, a resultados relacionados ao conforto térmico, como temperatura e iluminação internas, e aos gastos energéticos dos aparelhos instalados (ELI, 2017).

Para a utilização da simulação computacional no método de avaliação de eficiência energética INI-C, devem ser respeitados diversos requisitos de características do programa no qual será realizada a simulação. A partir dos dados de um arquivo climático de uma cidade específica, o programa calcula a carga térmica de refrigeração para o edifício real e para um edifício de referência que, de maneira similar ao método simplificado, tem as características especificadas na INI-C para cada tipologia e determina o limite inferior da classe D de eficiência da envoltória.

A precisão do modelo, a emissão e a interpretação dos resultados podem variar amplamente, considerando que as variáveis inseridas são totalmente dependentes da avaliação e da experiência do projetista (BODE E GONÇALVES, 2015). Além disso, os programas de simulação, como o *EnergyPlus*, apresentam linguagem complexa e exigem várias etapas de inserção de dados, com diversos requisitos para a definição da geometria e características construtivas de cada superfície a ser simulada. Diante disso, surgiram algumas ferramentas para auxiliar na compreensão e execução dos modelos de simulação. Porém, por muitas vezes não permitem total controle sobre as variáveis de entrada, utilizando padrões pré-determinados, tais programas podem afastar o resultado da realidade (ELI, 2017).

O *EnergyPlus*, desenvolvido pelo Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos, é um programa gratuito que, por meio de entradas e saídas inseridas pelo

projetista, realiza a simulação computacional do balanço energético de uma edificação, utilizando vários módulos que caracterizam as cargas de aquecimento, resfriamento, iluminação, equipamentos e pessoas, fornecendo, assim, uma estimativa de gastos energéticos na utilização do edifício. Essa estimativa pode variar consideravelmente em relação aos dados reais, mas provê dados adequados para efeitos de comparação entre diversas medidas de eficiência energética, de forma a definir as alternativas que mais reduzam o consumo de energia e que sejam mais viáveis economicamente.

Dentro do novo método de avaliação de edifícios comerciais, as características avaliadas são: envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água. Além disso, pode ser apresentada informação quanto ao uso racional de água, geração de energia renovável e emissões de dióxido de carbono da edificação.

A primeira etapa do método é a classificação da envoltória, definida como a superfície de interação entre interior da edificação e o ambiente externo, ou seja, é composta pelas paredes externas, cobertura e piso do térreo. O objetivo, nesta etapa, é determinar a carga térmica total da envoltória, utilizando-se de determinadas características do edifício real, e compará-la com a carga térmica total anual da edificação de referência.

Posteriormente, para a determinação da eficiência energética do sistema de iluminação através do método simplificado, pode-se escolher três maneiras para avaliar o desempenho energético: método do edifício completo, método das atividades do edifício e método da potência ajustada. O objetivo desses três métodos é encontrar a potência instalada e determinar a classe de eficiência energética do sistema de iluminação. Para a edificação atingir nível “A” de eficiência energética, alguns pré-requisitos devem ser atendidos em pelo menos 80% da edificação (CB3E, 2017c).

Em seguida, avalia-se o sistema de condicionamento de ar, pode ser dividido em sistemas de condicionamento de ar etiquetados e não etiquetados pelo INMETRO. Para definir a classificação energética de equipamentos etiquetados pelo INMETRO, deve-se calcular a média entre os coeficientes de eficiência energética de todas as máquinas, desde que se respeite o requisito de isolamento térmico das tubulações para a classe A. Para equipamentos não etiquetados pelo INMETRO, deve-se calcular

o SPLV (*System Part Load Value*) e verificar o atendimento aos requisitos que devem ser atendidos para que a classe A de eficiência energética seja alcançada.

Para a determinação da classe de eficiência global da edificação, é necessário determinar, com base no consumo total de energia elétrica e térmica da edificação, o consumo em energia primária utilizando-se os fatores de conversão. Se houver um sistema de geração de energia, será calculada uma porcentagem que indica a fração de autoprodução de energia consumida pela edificação, e será abatida desse consumo total no cálculo de eficiência energética.

Pode ser verificada a porcentagem de água economizada, em comparação com a edificação de referência, utilizando dados dos equipamentos economizadores e sistemas de uso racional da água. Também pode ser determinada a quantidade de toneladas de dióxido de carbono lançada pela edificação anualmente, com os cálculos de consumos reais de energias elétrica e térmica realizados anteriormente e aplicando os fatores de conversão de energia primária fornecidos pela INI-C.

Os edifícios comerciais dependem muito de sua tipologia para sua classificação utilizando o metamodelo. Bona (2017), ao analisar uma academia, obteve a classificação C para a envoltória, D para o sistema de condicionamento de ar e B para o sistema de iluminação, mas, ao comparar a carga térmica de refrigeração obtida no metamodelo com o consumo elétrico dos condicionadores de ar, observou que a carga térmica real fornecida pelos equipamentos foi cerca de três vezes maior. O autor atribuiu essa diferença à maior carga térmica dos usuários e dos equipamentos, cerca de 4 vezes maior do que a carga por pessoa utilizada no metamodelo, durante os exercícios. Além disso, o período de ocupação e a temperatura de setpoint dos condicionadores de ar no caso real são muito diferentes do caso base da tipologia genérica do método, utilizada como o caso de referência.

Quanto à aplicação da eficiência energética em edifícios históricos, Murgul (2014) indica que, na cidade de São Petersburgo, cidade onde foi realizado o estudo do autor, as paredes largas dos edifícios históricos causam problemas nos períodos mais frios do ano devido a elevada inércia térmica, ou seja, necessita de elevada quantidade de energia para o aquecimento.

Cantin et al. (2010), ao efetuar medições das temperaturas interna e externa de diversos edifícios históricos franceses, observaram que, nos dias mais quentes do

verão, a elevada inércia térmica das paredes deixa os ambientes internos mais resfriados, chegando a uma diferença de temperatura de 6 graus Celsius em uma edificação com paredes de espessura média de 50 cm. Portanto, em países quentes, como é a maior parte do Brasil, as paredes robustas atuam como suavizadores dos picos mais quentes do ano, evitando o superaquecimento.

Ascione, Rossi e Vanoli (2011), ao analisar a eficiência energética do *Palazzo dell'Aquila Bosco-Lucarelli*, situado na Itália, obteve a classificação G para o inverno na escala de A+ a G, sendo G a categoria menos eficiente, com gasto de 23,6 kWh/m<sup>2</sup>.ano. As medidas de retrofit propostas consistem em implantar melhorias nas janelas para dificultar a infiltração de ar e reduzir a transmitância térmica, aumentar o isolamento das paredes com a aplicação de argamassa isolante e barreira de vapor, e trocar o sistema de aquecimento antigo por outro mais eficiente e que possibilite a recuperação de calor dos gases de combustão. O gasto foi reduzido para 8,6 kWh/m<sup>2</sup>.ano, melhorando a classificação para a categoria D. Os autores também observaram que, para o verão, a alta inércia térmica e baixa transmitância fazem com que a performance no verão seja satisfatória.

### **2.3. Patrimônio cultural e tombamento**

Segundo UNESCO (1972), são considerados patrimônios culturais os monumentos (obras arquitetônicas, esculturas e pinturas), os conjuntos (grupos de construções isoladas ou reunidas) e os sítios (obras conjugadas do homem e da natureza) que apresentem valor histórico excepcional. A Constituição Federal (Brasil, 1988), nesse mesmo sentido, prescreve que constituem patrimônio cultural brasileiro os bens de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira, incluindo os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico.

O Decreto-lei nº 25 (Brasil, 1937), determina que os bens só serão considerados parte integrante do patrimônio histórico e artístico nacional depois de inscritos em um dos quatro Livros do Tombo. Ou seja, o tombamento faz parte da classificação como patrimônio histórico. O tombamento, de maneira geral, não implica em desapropriação. O direito de propriedade não é retirado do dono, somente são

impostas restrições de uso, manutenção e reforma, com o objetivo de evitar a destruição e descaracterização.

Os edifícios que sofreram tombamento histórico passam a apresentar uma série de proibições e restrições para o uso e reforma, em especial em relação à fachada. Em Florianópolis, o Serviço de Patrimônio Histórico, Artístico e Natural do Município (SEPHAN) classifica os imóveis tombados em três categorias (FLORIANÓPOLIS, 2014):

P-1 - Imóvel a ser totalmente conservado, ou restaurado, tanto interna como externamente pelo excepcional valor Histórico, Arquitetônico, Artístico ou Cultural de toda a unidade.

P-2 - Imóvel partícipe de conjunto arquitetônico, cujo interesse histórico está em ser desse conjunto, devendo seu exterior ser totalmente conservado ou restaurado, mas podendo haver remanejamento interno, desde que sua volumetria e acabamento externos não sejam afetados, de forma a manter-se intacta a possibilidade de aquilatar-se o perfil histórico urbano.

P-3 - Imóvel adjacente à edificação ou a conjunto arquitetônico de interesse histórico, podendo ser demolido mas ficando a reedificação sujeita a restrições capazes de impedir que a nova construção ou utilização descaracterize as articulações entre as relações espaciais e visuais ali envolvidos, devendo ou não manter a volumetria, a critério do órgão municipal de planejamento.

Com isso, percebe-se que a dificuldade na restauração, reforma e adaptação ao uso dos edifícios históricos depende da classificação dada pelo SEPHAN.

Le Corbusier (1993), em sua síntese da Carta de Atenas de 1933, indica que os valores arquitetônicos devem ser preservados, mesmo que demandem mudanças na circulação da cidade ou demolição de construções insalubres próximas. No entanto, o emprego de características e estilos do passado em construções novas, mesmo sob o pretexto estético ou de conservação histórica, são inaceitáveis, pois caracteriza-se um retrocesso da humanidade. Ainda seria uma reconstituição fictícia, pois as técnicas e condições de trabalho atuais são totalmente diferentes.

Tadeu et al. (2015) informam que, embora os prédios históricos não precisem respeitar os limites de consumo de energia de Portugal, uma economia significativa de energia pode ser obtida sem mudar seu caráter histórico. López e Frontini (2013) citam o Hotel Industrial de Paris, o centro de informações turísticas da cidade de Alès, a sala *Nervi* do Vaticano e o *Reichstag* de Berlim como exemplos de edifícios históricos que fizeram adaptações para o uso da energia fotovoltaica, indicando a tendência mundial de preocupação com a sustentabilidade ambiental de edifícios históricos.

#### 2.4. Análise econômica

Segundo Hochheim (2015), os estudos de viabilidade econômica são importantes para selecionar as oportunidades de investimento mais convenientes financeiramente, e para evitar investimentos antieconômicos. Quanto antes for feita a análise econômica e seleção das melhores alternativas, dentro de um projeto, menores serão os custos de mudanças conceituais, considerando o progressivo aumento do detalhamento do projeto, e maiores serão os retornos potenciais. A viabilidade econômica de cada proposta pode ser calculada pela análise dos índices de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback* Corrigido.

O VPL é obtido pela soma de todos os valores de fluxo de caixa, trazidos para a data presente e descontada pela Taxa Mínima de Atratividade. A TIR é a taxa que iguala os recebimentos futuros aos investimentos realizados no projeto, ou seja, é a taxa de desconto para a qual tem-se  $VPL = 0$ . Um projeto é considerável viável se a TIR for maior que a TMA. O *Payback* Corrigido mede o tempo necessário para recuperar o capital investido no projeto, ou seja, em que momento o VPL do projeto será maior que zero, descontando os valores pela Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Melo (2005), ao analisar um hotel composto por 65 apartamentos em 11 pavimentos tipo, adotou a TMA como o rendimento líquido de 12% a.a. e obteve como resultado viável a troca de lâmpadas fluorescentes de 40W para 32W com a instalação de refletor e reator eletrônico, com a redução de 10,55% do consumo total anual do hotel e *Payback* de 1 ano. Resultaram inviáveis, com a TIR maior do que a TMA em um período de 20 anos, a troca dos equipamentos de ar condicionado por sistema central e a compra de gerador de energia para ser utilizado nos horários de ponta, em que a energia da concessionária se torna mais cara.

No estudo de Eli (2017), que teve como caso base uma edificação multifamiliar, com quatro andares e quatro apartamentos por andar, construída pelo programa Minha Casa Minha Vida do governo Federal, também foi avaliada a viabilidade econômica de medidas de eficiência energética. Foram analisadas medidas isoladas e, posteriormente, agrupadas em pacotes. Para a cidade de São Paulo, o apartamento analisado obteve Classificação C no caso base. Com a aplicação das melhores medidas de eficiência energética encontradas, que consistiu na redução da absorvância da cobertura e no uso de persianas nas esquadrias, o edifício atingiu classe A de eficiência energética. Para a cidade de Salvador, a parede com isolamento apresentou consumo maior do que a parede sem isolamento, o que indica a ineficiência do uso de paredes muito isoladas em cidades de clima quente. Nesta cidade, nenhum dos pacotes atingiu a classe A de eficiência energética, mas a redução de consumo encontrada, com a aplicação das mesmas medidas de eficiência energética aliadas ao aumento do fator de ventilação, foi maior do que na cidade de São Paulo, melhorando a classificação do apartamento de cobertura da classe E para a B.

Bona (2017), ao propor a substituição dos equipamentos de condicionamento de ar por outros mais eficientes, obteve um *Payback* Corrigido de 9 anos, o que desincentiva o investimento devido ao fato de que a vida útil desse tipo de aparelho está próxima desse prazo.

Pinto (2018), ao verificar o impacto da implantação de geração fotovoltaica de 5 MW sobre o consumo da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), verificou que o sistema reduziu o consumo de energia da concessionária em 39,94%. Juntamente com a mudança de contrato de demanda, a geração fotovoltaica causou uma economia de 31,07%. O *Payback* descontado calculado, para uma taxa de juros de 3% a.a., foi de 8 anos, o que caracteriza a viabilidade da implantação.

## 2.5. Síntese

A bibliografia consultada demonstra a importância da sustentabilidade na construção civil e, dentro desse conceito, a relevância das certificações ambientais e dos sistemas de avaliação de eficiência energética em edificações. Os edifícios

históricos podem ser avaliados quanto ao consumo energético, para que haja incentivo ao seu uso. Dentro das peculiaridades e restrições das legislações relativas à edifícios históricos, podem ser propostas medidas de aumento de eficiência energética. A análise econômica dessas medidas fornece dados importantes para a tomada de decisão em relação à implantação, pois uma iniciativa que ofereça retorno econômico a longo prazo é mais atraente para o investidor.

### 3. Método

Neste trabalho foram aplicados os métodos simplificado e de simulação computacional do novo método de avaliação de eficiência energética do PBE Edifica para classificação da eficiência energética do prédio Casa de Câmara e Cadeia, de Florianópolis. Os dados referentes ao objeto de estudo, necessários para aplicação dos métodos, foram fornecidos pelo SEPHAN e pelo Serviço Social do Comércio de Santa Catarina (SESC-SC).

Em uma segunda etapa, foram aplicadas medidas de eficiência energética a ambos os métodos utilizados, observando a redução de consumo. Posteriormente, avaliou-se a redução de custos energéticos e os custos de implantação. Por fim, como forma de avaliar a viabilidade econômica de cada medida, foram utilizados os indicadores econômicos valor presente líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback Corrigido.

#### 3.1 Estudo de caso

O edifício histórico analisado denomina-se Casa de Câmara e Cadeia e localiza-se no Centro de Florianópolis, próximo à Praça XV de Novembro, na esquina entre a Rua dos Ilhéus e a Rua Tiradentes. A fachada da edificação pode ser observada na Figura 1.

*Figura 1 - Fachada do edifício em estudo*



Fonte: (IPUF, 2015).

A antiga Casa de Câmara e Cadeia, uma das três edificações mais antigas do centro histórico de Florianópolis, foi construída entre 1771 e 1780 com arquitetura colonial. No começo do século XX sofreu alterações, com a substituição de elementos ornamentais e remoção das grades da cadeia. Até 2005, a Câmara Municipal funcionava na edificação e, posteriormente, apenas eventos esporádicos aconteceram no local (IPUF, 2015).

A restauração do edifício, concluída em 2017, foi realizada sob o conceito de intervenção mínima, isto é, preservando o estilo eclético atual, sem restauração de elementos originais removidos. Teve como objetivo capacitar o edifício para uso como museu. De acordo com a legislação municipal, o tipo de tombamento do prédio é P1, ou seja, a fachada e o interior foram totalmente preservados na restauração. Com o fim das obras, o SESC-SC obteve os direitos de concessão do edifício e será o gestor do Museu da História de Florianópolis no local. Diversas tecnologias e equipamentos multimídia serão utilizados para atrair visitantes e favorecer o aprendizado da história da cidade.

Para que seja possível realizar a classificação de eficiência energética da edificação em estudo, algumas características devem ser levantadas. A partir dos projetos fornecidos, foram retiradas informações a respeito da geometria da edificação, do sombreamento causado pela vizinhança, dos materiais utilizados na edificação e suas respectivas propriedades térmicas, e da potência utilizada para iluminação e equipamentos.

As plantas baixas são apresentadas na Figura 2. Observa-se que no pavimento térreo as paredes são mais espessas do que no pavimento superior, evidenciando uma característica construtiva de edifícios mais antigos, necessária para a estabilidade estrutural e suporte de cargas. Além disso, algumas paredes divisórias no térreo não têm continuação no pavimento superior. O pé-direito de cada pavimento do prédio é de 4,60 m.

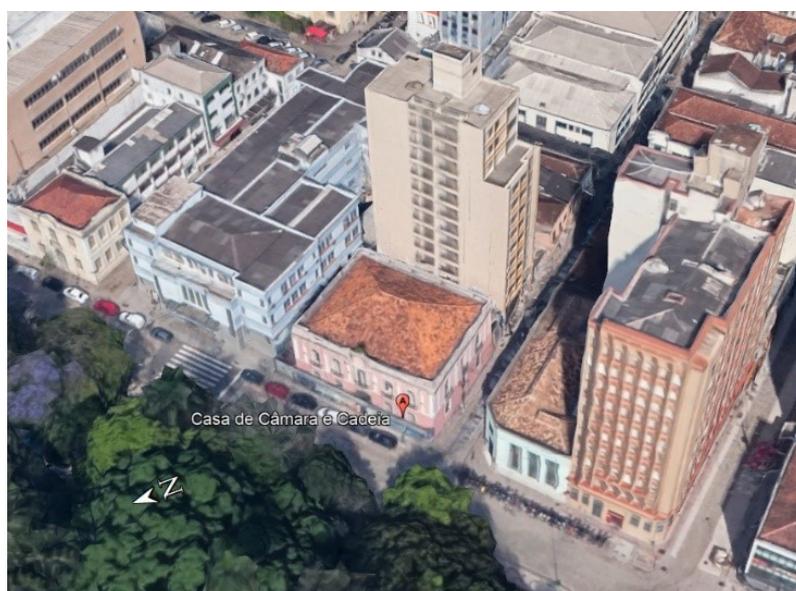
O edifício apresenta a fachada principal na direção noroeste, com sombreamento causado por árvores da Praça XV de Novembro em frente, e sombreamento das fachadas nordeste, sudeste e sudoeste devido aos edifícios adjacentes, como observado na Figura 3. Os sombreamentos causados pela vizinhança estão apresentados na Tabela 2, assim como os afastamentos e alturas

dos edifícios, que foram medidos através do programa *Google Earth*. Para o cálculo dos ângulos de sombreamento, a altura das aberturas considerada é de 3,50 m para o térreo e de 8,00 m para o pavimento superior, considerando as cotas mais elevadas das janelas de cada andar.

Figura 2 - Planta baixa do térreo e do pavimento superior do edifício em estudo



Figura 3 - Edifício analisado e vizinhança



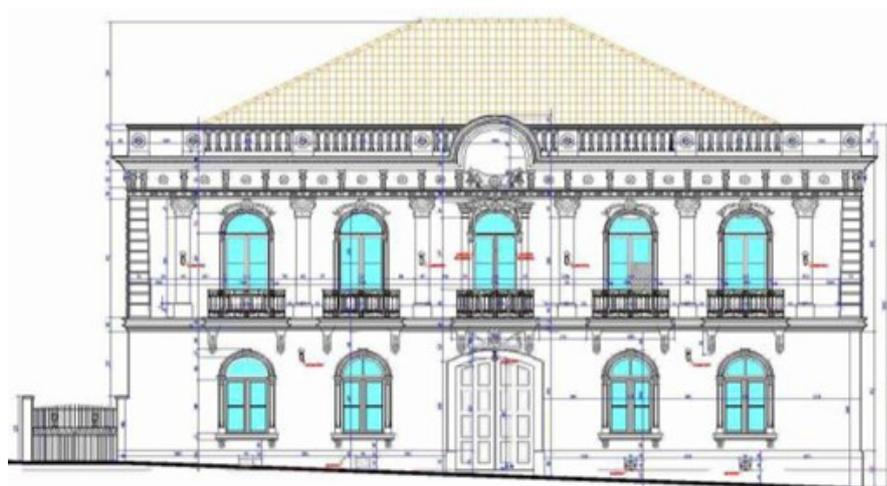
Fonte: *Google Earth*.

Tabela 2 - Sombreamentos causados pela vizinhança

Orientação da fachada	Altura do edifício vizinho (m)	Afastamento do edifício vizinho (m)	Ângulo de sombreamento térreo (graus)	Ângulo de sombreamento pav. superior (graus)
SE	36	4,5	82	81
SO	37	21	58	54
NO	11	15	27	11
NE	15	5	67	54

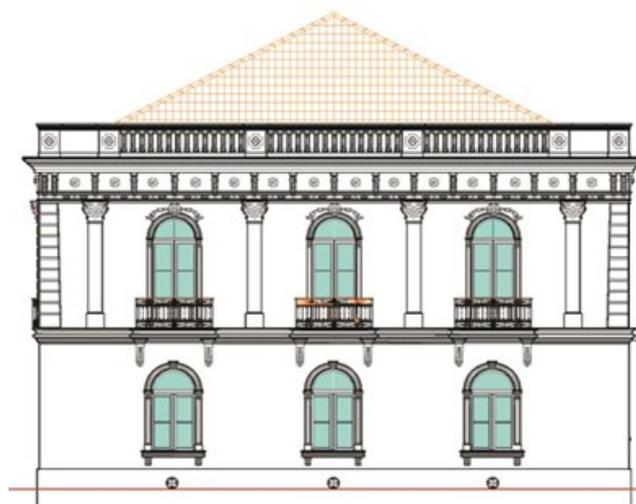
A fachada noroeste apresenta quatro janelas e a porta principal no térreo, e cinco janelas no piso superior. As fachadas laterais (nordeste e sudoeste) possuem três janelas nos dois andares. A fachada sudeste apresenta a porta dos fundos no térreo e quatro janelas no piso superior. Os vidros nas janelas são simples, com 6 mm de espessura, apresentando fator solar de 0,82 e transmitância térmica de 5,7 W/(m<sup>2</sup>.k) (CB3E, 2017c). As representações das fachadas principal e lateral, a serem utilizadas para os cálculos de abertura da fachada, são apresentadas nas Figuras 04 e 05.

Figura 4 - Representação da fachada frontal



Fonte: (IPUF, 2015).

Figura 5 - Representação da fachada lateral



Fonte: (IPUF, 2015).

A pintura externa é majoritariamente na cor amarela, com absorvância de 0,4 (ABNT, 2005). A cobertura é de telhas cerâmicas com forro de madeira, sem abertura zenital, com absorvância térmica de 0,7. As paredes são compostas de tijolos maciços unidos por argamassa. No térreo, as paredes externas tem espessura de 1,4 m. Já no piso superior, a espessura da parede é de 0,9 m.

Para a análise de eficiência energética que foi realizada, foi necessário obter as características térmicas dos materiais utilizados na edificação. Os dados dos materiais das paredes, dos pisos e da cobertura foram obtidos em uma biblioteca de componentes construtivos (WEBER et al, 2017). Essas características foram calculadas conforme método descrito na NBR 15220, considerando que 20% da espessura é composta de argamassa, e os 80% restantes, de tijolos maciços de cerâmica.

Para o método simplificado, é necessário calcular a transmitância térmica e a capacidade térmica totais do conjunto de materiais que compõem as paredes e a cobertura. Para o cálculo da transmitância térmica total, deve-se efetuar o inverso da soma das resistências térmicas dos materiais utilizados. Adiciona-se ainda a essa soma a resistência superficial interna de 0,13 e a resistência superficial externa de 0,04, para as paredes, e de 0,17 e 0,04, respectivamente, para a cobertura. Os resultados desses cálculos são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades térmicas dos materiais utilizados na modelagem do caso real

	e (cm) *	$\lambda$ (W/mK)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	c (kJ/KgK)	Rt (m <sup>2</sup> K/W)	Ut (W/m <sup>2</sup> K)	Ct (kJ/m <sup>2</sup> K)
<b>Parede externa do térreo</b>							
Argamassa	28	1,15	2000	1	0,243	0,60	2209
Tijolo cerâmico	112	0,9	1600	0,92	1,244		
<b>Parede externa do pavimento superior</b>							
Argamassa	18	1,15	2000	1	0,157	0,89	1420
Tijolo cerâmico	72	0,9	1600	0,92	0,800		
<b>Cobertura</b>							
Telha cerâmica	1	1,05	2000	0,92	0,0095	2,02	26
Câmara de ar	25	1,19	-	-	0,21		
Forro de madeira	1	0,15	600	1,34	0,0667		

\* Onde:

e – espessura

$\lambda$  – condutividade térmica

$\rho$  – peso específico aparente

c – calor específico

Rt – resistência térmica total

Ut – transmitância térmica total

Ct – capacidade térmica total

Embora o edifício ainda não esteja sendo utilizado como museu, a ocupação foi arbitrada em 10 horas de uso ao dia. O sistema de iluminação é composto por diversos tipos e potências de lâmpadas, conforme listado na Tabela 4. Os equipamentos a serem empregados para a utilização do edifício como museu tecnológico, obtidos por meio do projeto museográfico fornecido pelo SESC-SC, são mostrados na Tabela 5. As potências dos equipamentos foram obtidas em pesquisa de mercado.

Tabela 4 - Tipos e potências de lâmpadas utilizadas no edifício

Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência total (W)
Fluorescente 54 W	25	600
LED 3 W	11	33
LED 9 W	69	621
LED 6 W	4	24

LED 18 W	1	18
LED 50 W	5	250
LED 10 W	30	300
LED 25 W	93	2325
LED 8 W	73	584
LED 12 W	2	24
<b>Somatório de potência de iluminação (W)</b>		<b>4779</b>

*Tabela 5 - Tipos e potências dos equipamentos utilizadas no edifício*

Equipamentos			
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)	Potência total (W)
Projetor	13	400	5200
Computador	22	300	6600
Sistema de áudio	7	50	350
Monitor LCD 43"	13	80	1040
<b>Somatório de potência de equipamentos (W)</b>			<b>13190</b>

### 3.2. Análise de eficiência energética

Para a análise de eficiência energética da edificação em estudo, foram utilizados os métodos simplificado e de simulação computacional do PBE Edifica.

#### 3.2.1. Método simplificado (metamodelo)

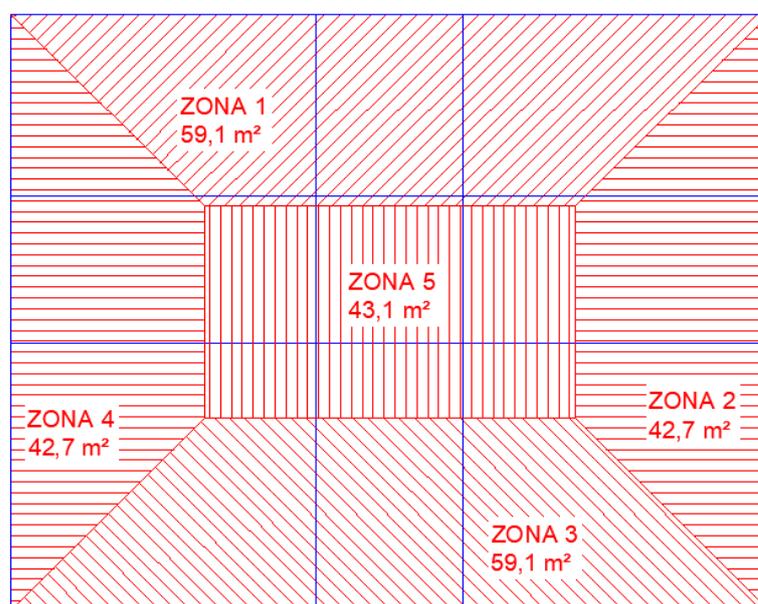
Aplicou-se o procedimento simplificado da INI-C, utilizando como referência a proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas (CB3E, 2017c).

O primeiro passo para determinar a carga térmica de resfriamento da envoltória foi a divisão em zonas térmicas, definidas de acordo com o uso dos espaços. As zonas térmicas são divididas de acordo com os parâmetros que as definem, ou seja, deve ser estabelecida uma nova zona sempre que houver alteração na orientação da fachada, composição das paredes, densidade de potência de iluminação ou equipamentos, entre outros fatores. As áreas afastadas mais de 4,5 metros do perímetro interno da edificação são consideradas como zona interna para inserção no metamodelo. A divisão em zonas térmicas do edifício em estudo é apresentada na Figura 6.

De acordo com a separação em zonas térmicas definida anteriormente, para cada zona foram atribuídas as propriedades necessárias para a inserção no formulário do metamodelo do método simplificado. O uso do edifício não se enquadra em nenhuma das tipologias comerciais do Anexo A da INI-C (CB3E, 2017c), portanto foram utilizados os valores de referência para edificações que possuem tipologia não descrita anteriormente.

Após a definição dos parâmetros de entrada, os dados foram inseridos no formulário interface web, que executará o cálculo da densidade de carga térmica para resfriamento, por meio do metamodelo. Este procedimento foi realizado tanto para a condição real do edifício quanto para a condição de referência, que servirá de base de comparação para a obtenção da classe de eficiência.

*Figura 6 - Zonas térmicas*



Fonte: Autor.

Tabela 6 - Materiais utilizados no caso referência

	e (cm)	$\lambda$ (W/mK)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	c (kJ/KgK)	Rt (m <sup>2</sup> K/W)	Ut (W/m <sup>2</sup> K)	Ct (kJ/m <sup>2</sup> K)
<b>Parede externa</b>							
Argamassa	2,5	1,15	2000	1	0,022	2,39	150
Material cerâmico	1,34	0,9	1600	0,92	0,015		
Câmara de ar	6,32	0,364	-	-	0,175		
Material cerâmico	1,34	0,9	1600	0,92	0,015		
Argamassa	2,5	1,15	2000	1	0,022		
<b>Cobertura</b>							
Telha de fibrocimento	0,8	0,95	1900	0,84	0,0084	2,06	233
Câmara de ar	25	1,19	-	-	0,21		
Laje de concreto	10	1,75	2200	1	0,0571		

Fonte: (CB3E, 2017c).

Os dados utilizados para as duas condições são apresentados na Tabela 7. Quando, no caso real, os valores são diferentes para cada zona, na Tabela 7 encontra-se uma faixa de valores, e o detalhamento de valores por zona é mostrado na Tabela 8. No térreo, as áreas de fachada para efeito de cálculo sofrem redução devido à elevada espessura das paredes divisórias, aumentando o percentual de abertura das fachadas. As áreas das zonas dos dois pavimentos são diferentes, também devido à maior espessura das paredes divisórias do térreo. Foi utilizada a área útil do pavimento térreo para ambos os pavimentos.

Os ângulos de sombreamento devem ser iguais nas condições real e de referência. A potência total de iluminação do edifício é de 5.529 W. Considerando a área útil total dos dois pavimentos, excluindo as áreas de parede, de 493,4 m<sup>2</sup>, obtém-se a densidade de potência de iluminação (DPI) de 11,2 W/m<sup>2</sup>. Similarmente, a partir da potência total de equipamentos, de 13.190 W, calculou-se a densidade de potência de equipamentos (DPE) de 26,7 W/m<sup>2</sup>.

Foi necessário reduzir a capacidade térmica das paredes externas para a aplicação no metamodelo, pois ultrapassava o limite superior dessa característica. Isso significa que o metamodelo não poderia ser utilizado nesse caso para a etiquetagem da edificação, mas o resultado foi aproveitado para uma comparação com o método de simulação. A capacidade térmica a ser utilizada no metamodelo é de 450 KJ/m<sup>2</sup>K.

Tabela 7 - Valores da edificação real e de referência

Característica	Real	Referência
Percentual de abertura da fachada	0 a 0,18 <sup>1</sup>	0,6
Percentual de abertura zenital	0	0
<b>Paredes do térreo</b>		
Transmitância térmica (U) (W/m <sup>2</sup> K)	0,60	2,39
Absortância térmica ( $\alpha$ )	0,4	0,5
Capacidade térmica (CT) (kJ/m <sup>2</sup> K)	450 <sup>2</sup>	150
<b>Paredes do piso superior</b>		
Transmitância térmica (U) (W/m <sup>2</sup> K)	0,89	2,39
Absortância térmica ( $\alpha$ )	0,4	0,5
Capacidade térmica (CT) (kJ/m <sup>2</sup> K)	450 <sup>2</sup>	150
<b>Cobertura</b>		
Transmitância térmica (U) (W/m <sup>2</sup> K)	2,02	2,06
Absortância térmica ( $\alpha$ )	0,7	0,8
Capacidade térmica (CT) (kJ/m <sup>2</sup> K)	26	233
<b>Vidros</b>		
Fator solar do vidro	0,82	0,82
Transmitância térmica (U) (W/m <sup>2</sup> K)	5,7	5,7
Ângulo horizontal de sombreamento (graus)	0	0
Ângulo vertical de sombreamento (graus)	0	0
Ângulo de obstrução vizinha (graus)	11 a 80 <sup>1</sup>	Real
Densidade de potência de iluminação (W/m <sup>2</sup> )	11,2	15
Densidade de potência de equipamentos (W/m <sup>2</sup> )	26,7	12

<sup>1</sup>Vide Tabela 8<sup>2</sup> Adaptado ao limite superior do método simplificado

Tabela 8 - Características específicas de cada zona

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Orientação	SE	SO	NO	NE	Interna
<b>Térreo</b>					
Área (m <sup>2</sup> )	59,1	42,7	59,1	42,7	43,1
Percentual de abertura da fachada	0	0,16	0,17	0,16	-
Ângulo de obstrução vizinha (graus)	80	58	27	67	-

<b>Pavimento superior</b>					
Área (m <sup>2</sup> )	59,1	42,7	59,1	42,7	43,1
Percentual de abertura da fachada	0,15	0,16	0,18	0,16	-
Ângulo de obstrução vizinha (graus)	80	54	11	54	-

Em seguida, foram definidas as faixas de carga térmica na escala de classificação energética, para que a envoltória da edificação seja classificada. Primeiramente, deve-se calcular o fator de forma da edificação, dividindo-se o volume total da envoltória pela área da superfície. Após encontrar o fator de forma, deve-se obter o coeficiente de redução de carga térmica total anual da classe D para classe A. Este coeficiente varia de acordo com o fator de forma, o grupo climático e a tipologia da edificação. O zoneamento bioclimático brasileiro utilizado no novo método não é o preconizado pela NBR 15220-3, pois há uma diversidade maior do que as oito zonas determinadas nesta norma. Utilizou-se a nova divisão, mais detalhada e com 24 grupos climáticos, proposta por Roriz. (CB3E, 2017d). A cidade de Florianópolis encontra-se no grupo climático 1-B.

Em seguida, foram determinados os intervalos entre as classes da escala, multiplicando a carga térmica total de referência obtida no metamodelo pelo coeficiente de redução da classe D para classe A, e dividindo-se o valor encontrado por 3. Por fim, comparou-se o valor da carga térmica total anual do edifício na condição real com as faixas encontradas. Desta forma, obteve-se a classificação de eficiência energética da envoltória da edificação em estudo.

Com relação à iluminação, foi utilizado o método do edifício completo, o qual avalia de forma conjunta os ambientes do edifício e atribui um valor limite para a avaliação do sistema de iluminação. Pode ser empregado na análise de edifícios com no máximo três atividades principais distintas, o que se enquadra na edificação em análise, que possui apenas uma atividade, pois o edifício como um todo exercerá a função de museu.

Primeiramente, foi identificada a área iluminada, com a soma de todas as áreas das salas da edificação, e, consultando a Tabela B.III.2 da INI-C (CB3E, 2017c), foi calculada a densidade de potência de iluminação limite para cada classe de eficiência energética.

Para a edificação atingir nível “A” de eficiência energética quanto ao sistema de iluminação, alguns pré-requisitos, apresentados na INI-C, devem ser atendidos em pelo menos 80% da edificação.

### 3.2.2. Simulação computacional

Para aplicar o método de simulação do INI-C, foi utilizado o programa EnergyPlus. Para facilitar a implantação da geometria, foi utilizado o programa SketchUp, com a extensão OpenStudio, que oferece uma interface visual para o EnergyPlus e calcula automaticamente os vértices.

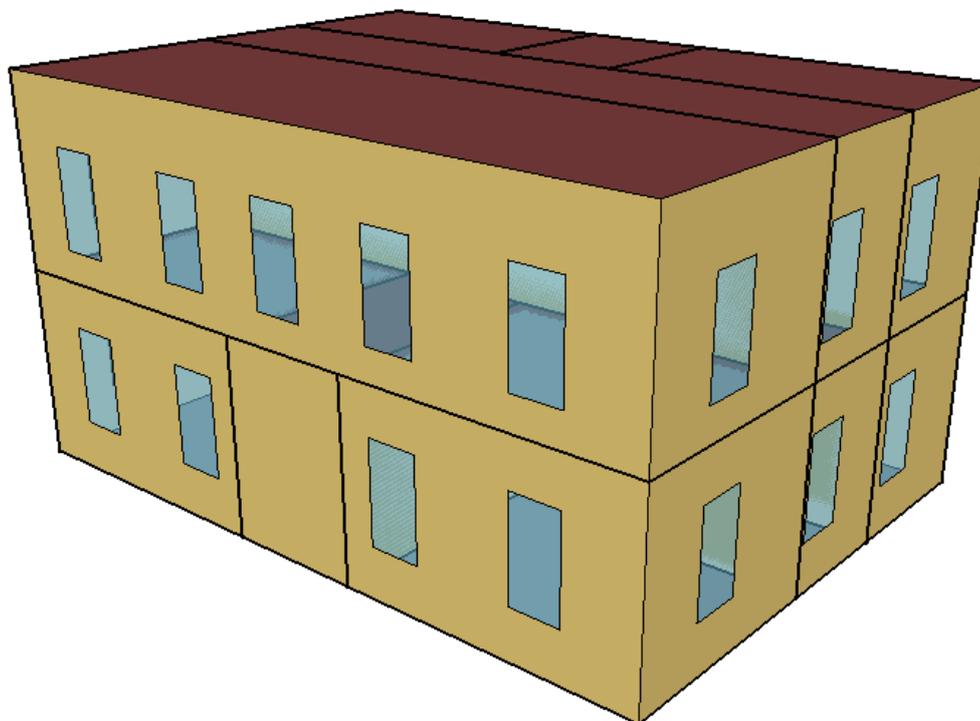
O modelo em três dimensões da edificação é mostrado na Figura 7. A divisão de zonas foi realizada por ambientes, diferentemente do metamodelo, que considera as orientações do perímetro. Foi utilizada uma *schedule* de funcionamento do museu das 8:00h às 18:00h, em que se considera a utilização total dos equipamentos e da iluminação, e a ocupação máxima durante todo o período, de 10 m<sup>2</sup>/pessoa, o mesmo valor utilizado no metamodelo do método simplificado. A atividade realizada pelos visitantes no museu é considerada leve. A taxa metabólica para esse tipo de atividade é de 93 W por metro quadrado de pele (LAMBERTS et al., 2016). Cada pessoa tem, em média, 1,8 m<sup>2</sup> de pele, portanto foi utilizada a taxa metabólica de 167 W/pessoa. A fração radiante é considerada de 30%, de maneira semelhante ao metamodelo (VERSAGE, 2015). As frações de calor sensível e latente foram calculadas automaticamente pelo programa.

Para efeito de comparação com o método simplificado, foi medida a carga térmica de refrigeração no método de simulação com o objeto *HVAC Ideal Load*. O período de uso e funcionamento do sistema de condicionamento de ar é considerado igual ao funcionamento do museu, das 8h às 18h. O *setpoint* adotado para o início do funcionamento do sistema de condicionamento de ar é de 24 °C, de maneira semelhante ao utilizado no método simplificado para a classificação da envoltória.

A influência da temperatura do solo foi modelada com o objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*, que leva em consideração a temperatura

média do solo em cada mês para caracterizar a transferência de calor através da superfície em contato com o solo.

*Figura 7 - Modelo em três dimensões do edifício real*



Fonte: Autor

Os dados relativos aos materiais a serem utilizados na modelagem das paredes externas e da cobertura do edifício real foram os mesmos utilizados no método simplificado, e estão mostrados na Tabela 3.

Para a modelagem das janelas, foi utilizado o objeto *Simple Glazing System*, que se utiliza dos valores de transmitância térmica e fator solar do vidro para a simulação.

As paredes internas foram inseridas como superfícies divisórias entre as zonas. As paredes internas do térreo foram modeladas possuindo 0,80 m de espessura, e as do pavimento superior, 0,30 m. Considera-se a constituição de 20% de argamassa e 80% de tijolo cerâmico, de maneira similar ao considerado para as paredes externas.

O piso do térreo foi modelado com uma composição de madeira e argamassa. A laje intermediária entre os dois pavimentos é composta de estrutura de madeira, e modelada como uma composição de piso de madeira, camada de ar e forro de madeira.

*Tabela 9 - Materiais usados para a modelagem das paredes internas e pisos na simulação computacional*

	e (cm)	$\lambda$ (W/mK)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	c (kJ/KgK)	Rt (m <sup>2</sup> K/W)	Ut (W/m <sup>2</sup> K)	Ct (kJ/m <sup>2</sup> K)
<b>Parede interna do térreo</b>							
Argamassa	16	1,15	2000	1	0,139	0,98	1262
Tijolo cerâmico	64	0,9	1600	0,92	0,711		
<b>Parede interna do pavimento superior</b>							
Argamassa	6	1,15	2000	1	0,052	2,05	473
Tijolo cerâmico	24	0,9	1600	0,92	0,267		
<b>Piso do térreo</b>							
Madeira	1	0,15	600	1,34	0,0667	3,57	108
Argamassa	5	1,15	2000	1	0,043		
<b>Piso do pavimento superior</b>							
Madeira	1	0,15	600	1,34	0,0667	3,12	8
Câmara de ar	10	1,19	-	-	0,0840		
Madeira	2,5	0,15	600	1,34	0,1667		

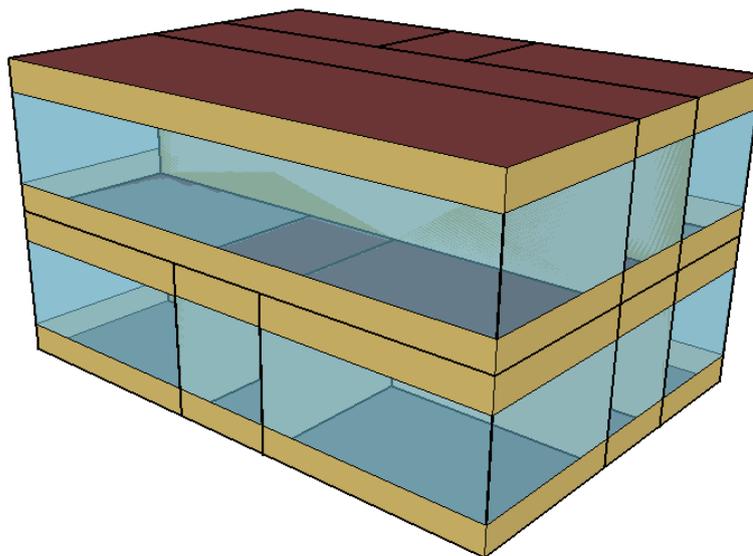
Fonte: Adaptado de WEBER et al (2017).

O caso referência, a ser considerado como classe D de eficiência energética, apresenta modificações no percentual de abertura da fachada e nos materiais a serem utilizados. A porcentagem de abertura de fachada é de 60%, e os materiais a serem utilizados para a cobertura e as paredes externas são os mesmos utilizados no método simplificado e apresentados na Tabela 6.

O percentual de abertura da fachada foi alterado utilizando-se uma opção do *OpenStudio* que altera a relação entre a área de janela e a área da parede. A visualização em três dimensões do modelo de referência é mostrada na Figura 8.

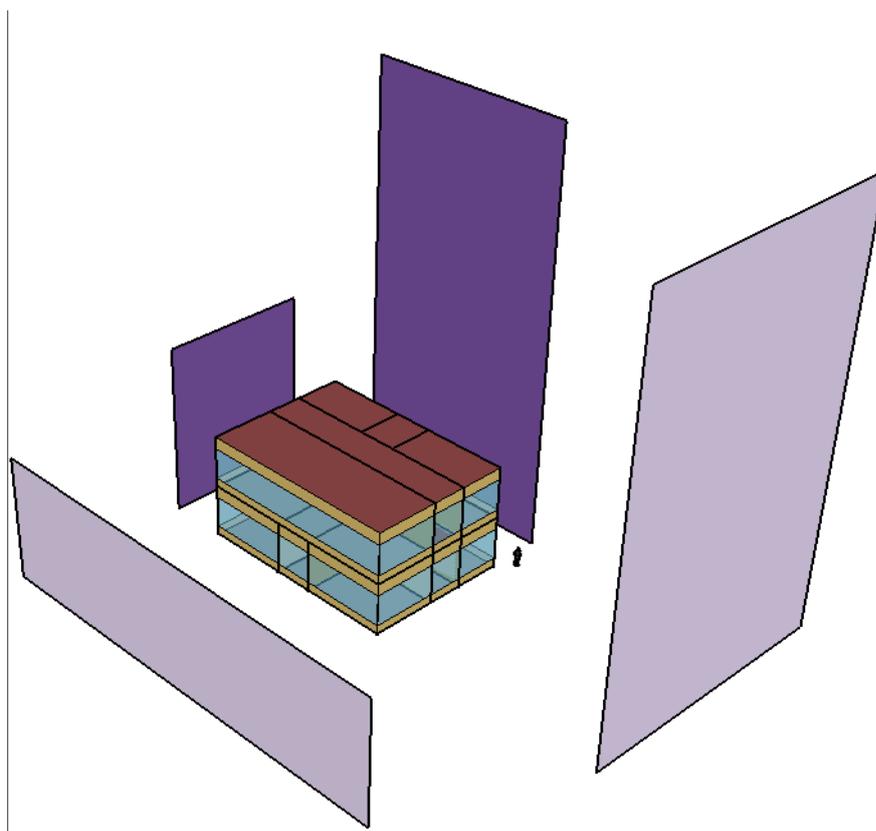
Em ambos os casos, o sombreamento da vizinhança sobre o edifício foi simulado conforme mostrado na Figura 9.

Figura 8 - Modelo em três dimensões do edifício de referência



Fonte: Autor

Figura 9 - Sombreamento das edificações vizinhas no modelo a ser simulado



Fonte: Autor

### 3.3. Medidas de eficiência energética

A seguir, serão apresentadas as medidas de eficiência energética que foram aplicadas, nos métodos simplificado e de simulação, para que o consumo de energia elétrica seja reduzido. Devido à característica histórica do edifício, devem ser consideradas apenas medidas que não afetariam a estética da edificação. Neste estudo, serão consideradas as medidas de: troca das lâmpadas fluorescentes por LED, substituição dos vidros e isolamento térmico da cobertura.

A primeira medida de eficiência energética a ser considerada é a troca das lâmpadas fluorescentes de 54 W por lâmpadas LED de luminância equivalente. As lâmpadas LED, embora tenham um custo inicial maior do que as fluorescentes, possuem vida útil maior, levando até quatro vezes mais horas de uso até o limite de utilização, considerado pelas fabricantes como a queda do fluxo luminoso a 70% da luminância inicial. Além disso, as lâmpadas LED possuem maior eficiência, necessitando de menos potência para gerar o mesmo fluxo luminoso. Também do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, as lâmpadas LED apresentam vantagens, por não apresentar mercúrio em sua composição, como é o caso das fluorescentes. A LED também permite um maior direcionamento do feixe de luz, atributo que seria possível nas lâmpadas fluorescentes apenas com refletor.

Após pesquisa de mercado, a lâmpada LED de potência 24 W é considerada, neste estudo, equivalente em fluxo luminoso a lâmpada fluorescente de 54 W, ambas de 120 cm. Com essa troca das 25 lâmpadas fluorescentes utilizadas no sistema de iluminação por lâmpadas LED, reduz-se a potência de iluminação para 4.779 W, e a densidade de potência de iluminação (DPI) para 9,7 W/m<sup>2</sup>.

Em seguida, a troca dos vidros por outros com menor fator solar foi analisada. A variedade de escolha desse vidro é reduzida, pois vidros escurecidos ou espelhados exigiriam um estudo por parte do SEPHAN a respeito da mudança estética que seria causada. Será utilizado na análise o vidro laminado incolor Eco Lite, da fabricante CEBRACE, com espessura de 8 mm, transmitância térmica de 5,7 W/m<sup>2</sup> e fator solar de 0,57 (BRASIL, 2005).

O isolamento da cobertura consiste na aplicação de uma camada de material isolante térmico acima do forro de madeira do edifício. Foram consideradas duas possibilidades de isolamento. A primeira considera a aplicação de uma camada de lã

de vidro com 2,5 cm de espessura. A segunda envolve o mesmo material, mas com a espessura de 5,0 cm. Os valores de transmitância térmica e capacidade térmica para essas duas modificações na cobertura estão mostradas na Tabela 10.

*Tabela 10 - Medidas de eficiência energética com modificações na cobertura*

	e (cm)	$\lambda$ (W/mK)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	c (kJ/KgK)	Rt (m <sup>2</sup> K/W)	Ut (W/m <sup>2</sup> K)	Ct (kJ/m <sup>2</sup> K)
<b>Cobertura com camada de lã de vidro de 2,5 cm</b>							
Telha cerâmica	1	1,05	2000	0,92	0,0095	0,95	30
Câmara de ar	25	1,19	-	-	0,21		
Lã de vidro	2,5	0,045	200	0,75	0,5556		
Forro de madeira	1	0,15	600	1,34	0,0667		
<b>Cobertura com camada de lã de vidro de 5,0 cm</b>							
Telha cerâmica	1	1,05	2000	0,92	0,0095	0,62	34
Câmara de ar	25	1,19	-	-	0,21		
Lã de vidro	5	0,045	200	0,75	1,1111		
Forro de madeira	1	0,15	600	1,34	0,0667		

As medidas foram, então, combinadas, para que fosse calculada também a classificação de eficiência energética e a viabilidade econômica desses conjuntos. Com a aplicação das medidas de eficiência energética no método simplificado, foram obtidos os dados de carga térmica de refrigeração, e foi realizada a simulação computacional da medida de eficiência energética que mais reduziu essa carga térmica.

### 3.4. Análise de viabilidade econômica

Cada medida de eficiência energética considerada anteriormente teve o custo estimado utilizando o SINAPI desonerado (CAIXA, 2019), em sua versão mais recente, ou pesquisa de mercado. Em seguida, com a redução de custo energético calculada, será analisado o VPL, TIR e Payback Corrigido de cada medida para avaliar sua viabilidade.

O cálculo do VPL consiste em, utilizando-se da TMA do investidor, descontar os valores que serão recebidos no futuro ( $R_t$ ) e somá-los ao valor inicial do fluxo de

caixa ( $V_i$ ). No caso deste trabalho, o valor inicial do fluxo de caixa é o investimento inicial de cada medida de eficiência energética, e os valores recebidos no futuro são os custos de energia economizados anualmente. Para o cálculo do VPL utilizou-se a Equação 1. O investimento é viável se o VPL for maior do que zero.

$$VPL = V_i + \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+TMA)^t} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde,

VPL = Valor Presente Líquido

$V_i$  = Valor inicial

$R_t$  = Valores futuros

TMA = Taxa Média de Atratividade

n = Número total de períodos

A TIR é a taxa de retorno do investimento, expresso no mesmo período do TMA para efeito de comparação. Para calcular a TIR, deve-se determinar para qual taxa de juros a VPL seria zero, como indicado na equação 2. O investimento é considerado viável se a TIR for maior do que a TMA.

$$\sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+TMA)^t} = 0 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde,

$R_t$  = Valores futuros

TMA = Taxa Média de Atratividade

n = Número total de períodos

O Payback Corrigido é o período de tempo necessário para que os valores recebidos compensem o investimento, ou seja, para que o VPL passe a ser maior ou igual a zero. O Payback Corrigido indica o risco do investimento porque, quanto maior

o tempo necessário para o retorno do investimento inicial, maior a possibilidade de mudanças nas considerações iniciais da análise econômica. Com isso, mesmo que o VPL e a TIR indiquem que determinado investimento é viável, o tempo de Payback Corrigido pode ser demasiado longo, de forma a desincentivar tal aplicação.

Melo (2005), em sua análise econômica de medidas de eficiência energética em um hotel, adotou a TMA como o rendimento líquido de 12% a.a., que poderia, na época, ser alcançado com aplicação em fundos de renda fixa. No entanto, as taxas de juros no Brasil têm se reduzido e, em breve pesquisa de mercado, um rendimento de 100% da taxa SELIC atual, ou seja, 6,5%, é considerado uma taxa comum para investimentos em renda fixa. Adiciona-se um percentual de risco de investimento de 1,5%, limite de remuneração de risco utilizado para construção de edifícios (TCU, 2013), afinal o investimento em medidas de eficiência energética tem risco maior que investimentos em renda fixa, considerando as variações no preço da energia elétrica, queima ou danos de componentes, manutenções não previstas, entre outros fatores. Portanto, será adotada, neste trabalho, uma TMA de 8%.

Os valores obtidos, tanto no método simplificado quanto na simulação computacional, são referentes à carga térmica de refrigeração. Para determinar o consumo energético, deve ser considerada a eficiência do sistema de condicionamento de ar. Será utilizado o valor de eficiência de 3,24, relativo a utilização de sistemas com equipamento split que se enquadra na classe A do PROCEL (INMETRO, 2013). Para determinar o consumo de energia elétrica do sistema, divide-se o valor de carga térmica de refrigeração pela eficiência do sistema.

Para definir os custos de energia elétrica e obter a economia anual que será obtida em cada medida, devem ser consideradas a tarifa e os impostos, de acordo com a CELESC. O edifício tem fornecimento de energia elétrica em baixa tensão (220 volts), portanto situa-se no grupo B de tarifação. Classifica-se ainda no subgrupo B3 (demais classes) (PROCEL, 2011). Com isso, apresenta uma tarifa de 0,52049 R\$/kWh, sem impostos (ANEEL, 2018). Os tributos aplicáveis são o PIS e o COFINS, que, em maio de 2019, tiveram alíquotas de 0,12% e 0,55%, respectivamente, além do ICMS, definido como 25% para o subgrupo em que o edifício está classificado. O valor a ser cobrado do consumidor é obtido pela equação 3, e, no caso considerado, é de 0,70024 R\$/kWh.

$$\text{Valor cobrado} = \frac{\text{Valor da ANEEL, sem impostos}}{1 - (\text{PIS} + \text{COFINS} + \text{ICMS})}$$

Eq. 3

## 4. Resultados

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos pela aplicação da metodologia descrita anteriormente.

### 4.1. Análise de eficiência energética

#### 4.1.1. Método simplificado

Os resultados da aplicação dos dados das edificações real e de referência no metamodelo do método simplificado do INI-C estão na Tabela 11. Também foi aplicado o caso base real com DPI e DPE iguais ao caso de referência, para verificar a influência desses parâmetros na carga térmica de refrigeração.

Observa-se que a Zona 3, voltada para o Noroeste, apresenta maior carga de resfriamento por metro quadrado em todos os casos. Isso se explica pelo fato de que o ângulo de sombreamento proporcionado pela vizinhança é menor nessa região, o que permite a incidência direta da radiação solar por um período mais prolongado do que nas demais zonas. Além disso, a orientação dessa fachada favorece a maior incidência de radiação solar. A Zona 1, voltada para o Sudeste, é a que apresenta menor carga de resfriamento, explicado pelo maior ângulo de sombreamento causado pela vizinhança.

Nota-se também que o pavimento superior contribui mais para a carga térmica de refrigeração do que o térreo. Isso é explicado pela transferência de calor através da cobertura. O caso base real apresenta carga térmica anual de refrigeração ( $C_{gTt}$ ) 443,10 kWh/ano menor do que o caso de referência, ou seja, cerca de 0,9% menor.

O fator de forma da edificação, considerando o tamanho das zonas térmicas utilizadas na análise, é obtido pela divisão entre a área da envoltória e o volume total da edificação. A área da envoltória é de 828 m<sup>2</sup>, e o volume total é de 2270 m<sup>3</sup>, resultando em um fator de forma de 0,36.

Situando o fator de forma entre 0,30 e 0,40, e o grupo climático 1-B, verifica-se, da Tabela 5.20 da INI-C, que o coeficiente de redução da carga térmica anual da classe D para a classe A é de 0,35. Multiplicando-se esse valor pela carga térmica de refrigeração do caso de referência e dividindo-se por 3, é obtido o intervalo entre as

classes de eficiência energética. Os limites obtidos entre as classes podem ser observados na Tabela 12. O valor de referência é de 49933,53 kWh/ano, e o intervalo entre as classes é de 5825,58 kWh/ano.

Tabela 11 - Resultados da aplicação do caso base ao metamodelo do método simplificado PBE Edifica

Caso Base Referência		Térreo				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
	Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	69,38	80,46	107,14	82,78	44,08
	CgTr (kWh/ano)	4100,24	3435,73	6331,73	3534,83	1899,88
		Pavimento Superior				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	97,84	124,31	164,24	137,15	92,28	
CgTr (kWh/ano)	5782,41	5308,11	9706,8	5856,33	3977,48	
	<b>CgTt (kWh/ano)</b>	<b>49933,53</b>				
Caso Base Real		Térreo				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
	Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	56,55	77,28	93,74	79,96	67,07
	CgTr (kWh/ano)	3342,15	3299,89	5539,76	3414,32	2890,80
		Pavimento Superior				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	105,61	123,49	147,52	132,45	118,68	
CgTr (kWh/ano)	6241,43	5273,20	8718,23	5655,56	5115,10	
	<b>CgTt (kWh/ano)</b>	<b>49490,43</b>				
Caso Base Real com DPI e DPE iguais ao caso base de referência		Térreo				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
	Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	36,37	55,14	68,94	57,04	44,08
	CgTr (kWh/ano)	2149,72	2354,54	4074,25	2435,5	1899,88
		Pavimento Superior				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	84,68	101,35	124,08	109,45	94,97	
CgTr (kWh/ano)	5004,75	4327,82	7332,89	4673,69	4093,38	
	<b>CgTt (kWh/ano)</b>	<b>38346,42</b>				

Tabela 12 - Limites das classes de eficiência energética da envoltória no método simplificado

Classe de eficiência energética	A	B	C	D	E
Limite Superior (kWh)		> 32456,79	> 38282,37	> 44107,95	> 49933,53
Limite Inferior (kWh)	≤ 32456,79	≤ 38282,37	≤ 44107,95	≤ 49933,53	

Com isso, a envoltória do edifício na situação atual, com carga térmica anual de refrigeração de 49490,43 kWh, situa-se na classe D de eficiência energética.

Para realizar a classificação do edifício, foram utilizados os valores de referência para “edificações que possuem tipologia não descrita anteriormente”, da INI-C. Por ser uma tipologia genérica, que pode ser utilizada para diversos tipos de uso da edificação, os dados fornecidos podem não corresponder à realidade de alguns tipos específicos de uso.

O edifício analisado apresenta elevada DPE, devido ao seu uso como museu tecnológico, que utiliza um elevado número de equipamentos eletrônicos. Para efeito de comparação, o caso real foi modificado, com valores de DPI e DPE iguais ao caso base de referência. A carga térmica de refrigeração foi significativamente menor, como pode ser observado na Tabela 11, e enquadrou o edifício na classe C. Isso indica que os valores de densidade de potência utilizados no caso de referência não são os mais adequados para classificação da eficiência energética da envoltória de edifícios que apresentem a tipologia de museu tecnológico.

Para realizar a classificação do sistema de iluminação, utiliza-se o método do edifício completo. A INI-C determina, para cada função do edifício, valores de DPI limites para cada classe de eficiência energética. Para classificar o sistema de iluminação do edifício, multiplicam-se as DPI limites pela área iluminada total. Para a função de museu, os valores de DPI e de potência limites para cada classe de eficiência energética estão listados na Tabela 13.

*Tabela 13 - Limites de potência das classes de eficiência energética do sistema de iluminação para museus*

	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Densidade de Potência de Iluminação Limite (W/m <sup>2</sup> )	11,4	13,1	14,8	16,5
Potência Limite (W)	5624,8	6463,5	7302,3	8141,1

A potência total de iluminação do edifício é de 5.529 W, na situação atual. Há sistema de automação da iluminação no edifício, portanto o sistema de iluminação se encontra na classe A de eficiência energética do INI-C. Essa classificação corrobora

com a preocupação por parte dos projetistas do sistema de iluminação em utilizar majoritariamente lâmpadas LED, o tipo mais eficiente disponível no mercado, no projeto do museu do SESC-SC.

#### 4.1.2. Simulação Computacional

Na simulação computacional do edifício, foram considerados o caso base real e o caso referência. Os valores obtidos de carga térmica de refrigeração e de consumo de energia elétrica pelos sistemas de iluminação e de equipamentos estão mostrados na Tabela 14.

*Tabela 14 – Resultados obtidos na simulação*

	Carga térmica de refrigeração (kWh)	Iluminação (kWh)	Equipamentos (kWh)
Caso referência	65356,95	18262,53	14610,02
Caso real	62883,90	13636,02	32507,30

Observa-se que a carga térmica anual de refrigeração da edificação real é 2473,05 kWh menor do que a carga térmica do edifício de referência, ou seja, em torno de 3,8% menor. Realizou-se novamente os cálculos dos limites entre as classes de eficiência energética, desta vez com o valor de carga térmica de refrigeração obtido através do uso da simulação computacional. A classificação da envoltória permaneceu na classe D de eficiência energética da envoltória, de acordo com o novo método de etiquetagem de edificações comerciais do PROCEL Edifica.

*Tabela 15 - Limites das classes de eficiência energética da envoltória na simulação*

Classe de eficiência energética	A	B	C	D	E
Limite Superior		> 42482,02	> 50107,00	> 57731,97	> 65356,95
Limite Inferior	≤ 42482,02	≤ 50107,00	≤ 57731,97	≤ 65356,95	

## 4.2. Comparação entre o método simplificado e a simulação computacional

A capacidade térmica das paredes externas do edifício é maior do que o limite superior do método simplificado. Para determinar a influência desse parâmetro, foi realizada a simulação computacional da edificação, para os casos de referência e real.

As cargas térmicas de refrigeração obtidas nos métodos simplificado e de simulação, para os dois casos, estão apresentadas na Tabela 16. Verificou-se que, na simulação computacional, a carga térmica de refrigeração encontrada para ambos os casos foi significativamente maior em comparação com os valores obtidos por meio do método simplificado. No entanto, a porcentagem de diferença entre os dois métodos no caso real foi menor do que no caso de referência. Isso é explicado pela maior capacidade térmica das paredes externas do caso real, que reduz a carga térmica de refrigeração na simulação computacional.

*Tabela 16 - Comparação entre os resultados do método simplificado e da simulação computacional*

	Carga térmica de refrigeração (kWh)		Diferença (%)
	Caso referência	Caso real	
Método simplificado	49933.53	49490.43	-0.9%
Simulação Computacional	65356.95	62883.90	-3.8%

## 4.3. Medidas de eficiência energética

Com a aplicação de medidas de eficiência energética no metamodelo, conforme observado na Tabela 17 e na Tabela 18, a melhor situação encontrada foi a substituição das lâmpadas fluorescentes por LED, em conjunto com a utilização de 2,5 cm de lã de vidro e a troca dos vidros simples por laminados, que proporcionaram a menor carga interna de refrigeração (CgTt).

Com a aplicação das medidas de eficiência energética, percebe-se que todos apresentaram redução na carga térmica de refrigeração, exceto com o aumento de espessura do isolamento da espessura de 2,5 cm para 5,0 cm, que aumentou a carga térmica em relação ao isolamento com menor espessura.

Tabela 17 - Resultados de carga térmica de refrigeração das medidas de eficiência energética aplicadas no método simplificado

Lâmpadas LED		Térreo				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
	Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	54,3	74,96	91,15	77,56	64,66
	CTr (kWh)	3209,22	3200,78	5387,09	3311,75	2786,76
		Pavimento Superior				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	103,31	121	144,85	129,86	115,86	
CTr (kWh)	6105,84	5166,78	8560,4	5544,89	4993,52	
	<b>CTt (kWh)</b>	<b>48267,02</b>				
Troca dos vidros		Térreo				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
	Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	56,55	72,16	85,06	74,42	67,07
	CTr (kWh)	3342,15	3081,17	5027,3	3177,86	2890,8
		Pavimento Superior				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	102,34	117,31	136,21	124,23	118,68	
CTr (kWh)	6048,41	5009,31	8050,08	5304,81	5115,1	
	<b>CTt (kWh)</b>	<b>47046,98</b>				
Isolamento da cobertura e= 2,5 cm		Térreo				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
	Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	56,55	77,28	93,74	79,96	67,07
	CTr (kWh)	3342,15	3299,89	5539,76	3414,32	2890,8
		Pavimento Superior				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	94,28	108,9	130,64	117,38	101,41	
CTr (kWh)	5572,06	4650,21	7720,57	5012,32	4370,85	
	<b>CTt (kWh)</b>	<b>45812,95</b>				
Isolamento da cobertura e= 5,0 cm		Térreo				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
	Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	56,55	77,28	93,74	79,96	67,07
	CTr (kWh)	3342,15	3299,89	5539,76	3414,32	2890,8
		Pavimento Superior				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	99,84	114,68	137,33	123,87	107,78	
CTr (kWh)	5900,6	4896,93	8116,43	5289,27	4645,31	
	<b>CTt (kWh)</b>	<b>47335,46</b>				

Tabela 18 - Resultados de carga térmica de refrigeração das medidas de eficiência energética aplicadas no método simplificado (cont.)

		Térreo				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Isolamento da cobertura e= 2,5 cm + Lâmpadas LED	Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	54,3	74,96	91,15	77,56	64,66
	CTr (kWh)	3209,22	3200,78	5387,09	3311,75	2786,76
		Pavimento Superior				
	Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	91,93	106,36	127,86	114,72	98,64
	CTr (kWh)	5433,23	4541,37	7556,57	4898,34	4251,21
	<b>CTt (kWh)</b>	<b>44576,32</b>				
Isolamento da cobertura e= 2,5 cm + Lâmpadas LED + Troca vidros		Térreo				
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
	Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	54,3	69,85	82,54	72,04	64,66
	CTr (kWh)	3209,22	2982,62	4878,21	3076,23	2786,76
		Pavimento Superior				
	Resfriamento (kWh/m <sup>2</sup> )	88,01	99,74	116,54	106,17	98,64
CTr (kWh)	5201,68	4259,07	6887,78	4533,58	4251,21	
<b>CTt (kWh)</b>	<b>42066,36</b>					

Para melhor comparação entre as medidas de eficiência energética, foi realizado o cálculo de porcentagem de redução de carga térmica em relação ao caso base, mostrado na Tabela 19. A medida de eficiência energética que menos reduz a carga térmica é a troca das lâmpadas fluorescentes por LED, com porcentagem de redução de 2,5%. A medida que mais reduz a carga térmica é o conjunto de troca das lâmpadas por LED, isolamento da cobertura com camada de 2,5 cm de lã de vidro e a troca dos vidros simples por laminados, que resultou em uma redução de 15% em relação ao caso base. Para esse conjunto de medidas, a classificação da envoltória passou para a classe C, conforme Tabela 12.

Tabela 19 - Redução da carga térmica das medidas de eficiência energética

Medida de eficiência energética	Carga térmica (kWh/ano)	Redução de carga térmica em relação ao caso base (kWh/ano)	Porcentagem de redução de carga térmica em relação ao caso base (%)
Caso base real	49490,43	-	-
Lâmpadas LED (envoltória)	48267,02	1223,41	2,5%

Troca dos vidros	47046,98	2443,45	4,9%
Isolamento da cobertura e= 2,5 cm	45812,95	3677,48	7,4%
Isolamento da cobertura e= 2,5 cm + Lâmpadas LED	44576,32	4914,11	9,9%
Isolamento da cobertura e= 2,5 cm + Lâmpadas LED + Troca vidros	42066,36	7424,07	15,0%

Foi realizada também a simulação para o caso de medidas de eficiência energética que mais reduziu a carga térmica de refrigeração, para efeitos de comparação com o método simplificado. Foi adicionado o isolamento da cobertura, com camada de lã de vidro de 2,5 cm, e foram substituídos os valores de densidade de potência de iluminação, para representar a substituição das lâmpadas fluorescentes por LED, e o fator solar dos vidros, para representar a substituição dos vidros simples por laminados.

Os resultados da simulação computacional do caso com as medidas de eficiência energética, juntamente com a comparação com o caso real, estão na Tabela 20. Observa-se que a porcentagem de redução da carga térmica em relação ao caso base real foi menor na simulação (9,7%) do que no método simplificado (15%). Isso se explica pelo fato de que o caso base real da simulação computacional apresenta uma menor diferença de carga térmica em relação ao caso de referência, conforme explicado no item 4.2.

*Tabela 20 - Comparação do caso base real com o caso de aplicação das medidas de eficiência energética*

	Carga térmica de refrigeração (kWh)	Redução de carga térmica em relação ao caso base (kWh/ano)	Porcentagem de redução de carga térmica em relação ao caso base (%)
Caso base real	62883,90	-	-
Caso com medidas de eficiência energética	56780,57	6103,33	9,7%

#### 4.4. Análise econômica

Para a verificação da viabilidade econômica das medidas de eficiência energética, foram consideradas todas as medidas de eficiência energética analisadas anteriormente, pois todas resultaram em uma redução na carga térmica de refrigeração.

Após pesquisa de mercado, o preço de cada lâmpada LED tubular de 24 W, que substituiria as lâmpadas fluorescentes existentes, será considerado de R\$45,00 por unidade. São necessárias 25 lâmpadas em todo o edifício, portanto o custo inicial dessa medida é de R\$1.125,00.

O isolamento térmico com manta de lã de vidro de espessura 2,5 cm, de acordo com o SINAPI, código 73833/001, tem um custo de R\$53,75 por metro quadrado. Com a aplicação em toda a área do forro, de 250 m<sup>2</sup>, o custo inicial dessa medida é de R\$13.437,50.

O vidro laminado incolor duplo, de espessura total 8 mm, de acordo com o SINAPI, código 34391, tem o custo de R\$414,83 por metro quadrado. Com a aplicação desse tipo de vidro em toda a área de abertura das fachadas da edificação, correspondente a 77,5 m<sup>2</sup>, o custo inicial dessa medida é de R\$32.149,33.

Para o cálculo de redução do custo da energia elétrica de cada medida, foi considerado o preço de energia de 0,70024 R\$/kWh, e a economia total de cada medida é mostrada na Tabela 21.

A substituição das lâmpadas fluorescentes por LED reduz a carga térmica de refrigeração e também reduz o consumo do sistema de iluminação. Considerando a utilização do edifício em 300 dias por ano e 10 horas por dia, obtém-se um consumo de iluminação anual de 16.587 kWh, para o sistema atual, e de 14.337 kWh, com a substituição das lâmpadas fluorescentes do projeto por lâmpadas LED. Isso resulta em uma diferença de 2.250 kWh entre os dois casos.

Tabela 21 – Redução do consumo e da tarifa de energia elétrica com a aplicação das medidas de eficiência energética

Medida de eficiência energética	Redução de carga térmica em relação ao caso base (kWh/ano)	Redução no consumo energético (kWh/ano)	Redução anual da tarifa de energia elétrica (R\$/ano)
Caso base real	-	-	-
Lâmpadas LED (envoltória)	1223,41	377,60	R\$ 264,41
Troca dos vidros	2443,45	754,15	R\$ 528,09
Isolamento da cobertura e= 2,5 cm	3677,48	1135,02	R\$ 794,79
Isolamento da cobertura e= 2,5 cm + Lâmpadas LED	4914,11	1516,70	R\$ 1.062,05
Isolamento da cobertura e= 2,5 cm + Lâmpadas LED + Troca vidros	7424,07	2291,38	R\$ 1.604,52
Lâmpadas LED (Iluminação)	-	2250,00	R\$ 1.575,54

Para cada medida, foi realizado o cálculo dos indicadores econômicos, mostrado na Tabela 22. Observa-se que somente a medida de eficiência energética de troca das lâmpadas fluorescentes por LED e o conjunto de troca das lâmpadas LED e isolamento da cobertura com camada de 2,5 cm de lã de vidro apresentaram TIR acima da TMA, VPL positivo e *Payback* Corrigido abaixo de 10 anos. Esses indicadores mostram que as medidas são viáveis economicamente.

A instalação de lâmpadas LED em substituição às lâmpadas fluorescentes causa redução no consumo tanto no sistema de iluminação quanto na carga térmica de refrigeração. Considerando somente o impacto sobre o sistema de iluminação, a TIR do investimento é de 140%. Já considerando também o impacto sobre a carga térmica da envoltória, a TIR do investimento aumenta para 163,5%.

Não foi considerado, para a análise de viabilidade econômica, os custos de implantação do sistema de condicionamento de ar. Com a aplicação de medidas de eficiência energética, seria necessário retirar menor carga térmica do edifício. Nesse caso, poderia ser realizado um dimensionamento com potência menor, deixando o sistema a ser instalado mais barato, o que aumentaria a viabilidade econômica.

Tabela 22 - Cálculo dos indicadores de viabilidade econômica para cada medida de eficiência energética

Lâmpadas LED (Iluminação)			Lâmpadas LED (Iluminação e envoltória)		
Período	Valor	Valor presente	Período	Valor	Valor presente
0	-R\$ 1.125,00		0	-R\$ 1.125,00	
1	R\$ 1.575,54	R\$ 1.458,83	1	R\$ 1.839,95	R\$ 1.703,66
2	R\$ 1.575,54	R\$ 1.350,77	2	R\$ 1.839,95	R\$ 1.577,46
3	R\$ 1.575,54	R\$ 1.250,71	3	R\$ 1.839,95	R\$ 1.460,61
4	R\$ 1.575,54	R\$ 1.158,07	4	R\$ 1.839,95	R\$ 1.352,42
5	R\$ 1.575,54	R\$ 1.072,29	5	R\$ 1.839,95	R\$ 1.252,24
6	R\$ 1.575,54	R\$ 992,86	6	R\$ 1.839,95	R\$ 1.159,48
7	R\$ 1.575,54	R\$ 919,31	7	R\$ 1.839,95	R\$ 1.073,59
8	R\$ 1.575,54	R\$ 851,22	8	R\$ 1.839,95	R\$ 994,07
9	R\$ 1.575,54	R\$ 788,16	9	R\$ 1.839,95	R\$ 920,43
10	R\$ 1.575,54	R\$ 729,78	10	R\$ 1.839,95	R\$ 852,25
	VPL	R\$ 9.447,00		VPL	R\$ 11.221,21
	TIR	140,0%		TIR	163,5%
	Payback Corrigido	1 ano		Payback Corrigido	1 ano
Troca dos vidros			Isolamento da cobertura e= 2,5 cm		
Período	Valor	Valor presente	Período	Valor	Valor presente
0	-R\$ 32.149,33		0	-R\$ 13.457,50	
1	R\$ 528,09	R\$ 488,97	1	R\$ 794,79	R\$ 735,92
2	R\$ 528,09	R\$ 452,75	2	R\$ 794,79	R\$ 681,40
3	R\$ 528,09	R\$ 419,21	3	R\$ 794,79	R\$ 630,93
4	R\$ 528,09	R\$ 388,16	4	R\$ 794,79	R\$ 584,19
5	R\$ 528,09	R\$ 359,41	5	R\$ 794,79	R\$ 540,92
6	R\$ 528,09	R\$ 332,79	6	R\$ 794,79	R\$ 500,85
7	R\$ 528,09	R\$ 308,14	7	R\$ 794,79	R\$ 463,75
8	R\$ 528,09	R\$ 285,31	8	R\$ 794,79	R\$ 429,40
9	R\$ 528,09	R\$ 264,18	9	R\$ 794,79	R\$ 397,59
10	R\$ 528,09	R\$ 244,61	10	R\$ 794,79	R\$ 368,14
	VPL	-R\$ 28.605,80		VPL	-R\$ 8.124,39
	TIR	-		TIR	-
	Payback Corrigido	-		Payback Corrigido	-
Isolamento da cobertura e= 2,5 cm + Lâmpadas LED			Isolamento da cobertura e= 2,5 cm + Lâmpadas LED + Troca vidros		
Período	Valor	Valor presente	Período	Valor	Valor presente
0	-R\$ 14.582,50		0	-R\$ 46.731,83	
1	R\$ 2.637,59	R\$ 2.442,21	1	R\$ 3.180,06	R\$ 2.944,50
2	R\$ 2.637,59	R\$ 2.261,31	2	R\$ 3.180,06	R\$ 2.726,39
3	R\$ 2.637,59	R\$ 2.093,80	3	R\$ 3.180,06	R\$ 2.524,43
4	R\$ 2.637,59	R\$ 1.938,71	4	R\$ 3.180,06	R\$ 2.337,44
5	R\$ 2.637,59	R\$ 1.795,10	5	R\$ 3.180,06	R\$ 2.164,30
6	R\$ 2.637,59	R\$ 1.662,13	6	R\$ 3.180,06	R\$ 2.003,98
7	R\$ 2.637,59	R\$ 1.539,01	7	R\$ 3.180,06	R\$ 1.855,53
8	R\$ 2.637,59	R\$ 1.425,01	8	R\$ 3.180,06	R\$ 1.718,09
9	R\$ 2.637,59	R\$ 1.319,45	9	R\$ 3.180,06	R\$ 1.590,82
10	R\$ 2.637,59	R\$ 1.221,71	10	R\$ 3.180,06	R\$ 1.472,98
	VPL	R\$ 3.115,94		VPL	-R\$ 25.393,37
	TIR	12,5%		TIR	-
	Payback Corrigido	8 anos		Payback Corrigido	-

## 5. Conclusões

O novo regulamento brasileiro de etiquetagem e edificações comerciais do Procel Edifica, denominado INI-C, foi aplicado para a classificação de eficiência energética do edifício histórico Casa de Câmara e Cadeia, em Florianópolis, utilizando os métodos simplificado e de simulação computacional.

Primeiramente foi obtida a carga térmica de refrigeração dos casos real e de referência, por meio do método simplificado, para que fosse possível calcular os limites entre as classes de eficiência energética e classificar a eficiência energética do edifício. O edifício em estudo foi categorizado na classe D de eficiência energética. Observou-se que a elevada densidade de potência de equipamentos prejudicou a classificação, pois o caso de referência não leva em consideração a possibilidade de que o edifício utilize uma grande quantidade de equipamentos eletrônicos, como é o caso de um museu tecnológico. Com isso, conclui-se que a INI-C apresenta a informação incorreta na tabela de valores de referência para edificações que possuem tipologia não descrita anteriormente (Tabela A.8) (CB3E, 2017c), pois os valores de DPI e DPE deveriam ser iguais ao caso real para que seja feita a comparação adequada da envoltória.

A simulação computacional mostrou-se necessária, uma vez que não foi possível considerar totalmente, no método simplificado, a capacidade térmica das paredes externas do edifício. Observou-se que a porcentagem de redução de carga térmica de refrigeração entre os casos real e de referência foi maior na simulação (3,8%) do que no método simplificado (0,9%). Isso se justifica pelo maior isolamento térmico causado pela maior capacidade térmica que foi possível implementar na simulação. No entanto, em ambos os métodos a envoltória foi categorizada na classe D.

Como propostas de redução de consumo de energia, foram inseridas no método simplificado as medidas de eficiência energética de substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, o isolamento da cobertura com camadas de lã de vidro de 2,5 cm e 5,0 cm, e a troca dos vidros simples por laminados. Observou-se que o aumento da espessura da camada de lã de vidro não resultou em uma redução na carga térmica de refrigeração. A medida que mais reduz a carga térmica é o

conjunto das três medidas de eficiência energética restantes, que resultou em uma redução de 15% em relação ao caso base.

Com o cálculo das reduções de carga térmica obtidas para cada cenário de implantação de medidas de eficiência energética, foi possível obter a redução na tarifa de energia elétrica. Com isso, foi possível realizar a análise econômica de cada cenário. Observou-se que somente a medida de troca das lâmpadas por LED e o conjunto de troca de lâmpadas e isolamento da cobertura com camada de 2,5 cm de lã de vidro são viáveis.

A redução do consumo de energia do sistema de iluminação, causada pela substituição das lâmpadas fluorescentes por LED, pode ser conseguida imediatamente, com resultados econômicos viáveis a longo prazo. Além disso, as lâmpadas LED fazem com que o edifício seja mais sustentável, devido à ausência dos metais pesados que existem nas lâmpadas fluorescentes. Recomenda-se a substituição gradual das lâmpadas fluorescentes inutilizadas pelas LED, e não a substituição total imediata, devido ao impacto ambiental de descarte de itens ainda passíveis de utilização.

### **5.1. Dificuldades e limitações do trabalho**

O maior entrave para a realização deste trabalho foi a obtenção dos dados necessários, tanto para o método simplificado quanto para a simulação. Diversos dados construtivos são necessários, e muitas vezes não estão disponíveis facilmente. Além disso, a simulação envolve variáveis muito precisas e que precisam ser arbitradas.

Os prédios históricos, devido às leis de tombamento, apresentam limitações de possibilidades de medidas de eficiência energética. As modificações não podem alterar a estética do edifício.

Os resultados de classificação de eficiência energética Procel Edifica e a avaliação da viabilidade econômica das medidas de eficiência energética são válidos somente para o prédio situado no clima de Florianópolis.

## 5.2. Sugestões de trabalhos futuros

Sugere-se para trabalhos futuros a verificação da viabilidade de instalação de painéis solares na cobertura do edifício. Embora envolva uma obra de vulto considerável, não influencia em características históricas do edifício. A modificação da estética deve ser avaliada pelo SEPHAN, mas, em âmbito internacional, os edifícios históricos têm esse tipo de modernização aceita pelos órgãos competentes (LÓPEZ E FRONTINI, 2013), e pode ser criado um contraste interessante entre o antigo e o novo. Ainda dentro dessa modificação estética, é possível verificar o aumento da eficiência energética de outros tipos de vidros, que sejam espelhados, coloridos ou eletrocromáticos.

Quando o edifício estiver funcionando como museu, é possível realizar medições de consumo de energia elétrica e efetuar uma calibragem do modelo de simulação computacional (MELO, 2005).

Outra sugestão de trabalho é a análise de sensibilidade de paredes com capacidade térmica acima do limite máximo do metamodelo do método simplificado do PBE Edifica. O método simplificado apresenta uma faixa bem ampla de capacidade térmica das paredes, no entanto, os edifícios históricos podem ultrapassar esse limite.

Também é possível simular o edifício com operação em modo misto. Este trabalho considerou o edifício condicionado artificialmente ao longo de todo o ano. No entanto, levando em conta que o edifício histórico foi pensado para propiciar conforto térmico sem o uso de condicionamento de ar, durante boa parte do ano não seria necessário utilizar o sistema de resfriamento, mas somente medidas passivas como ventilação cruzada.

## 6. Referências bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ANDALORO, A. P. F. et al. **Energy certification of buildings: a comparative analysis of progress towards implementation in European countries**. Energy Policy, 2010.

ANEEL. Resolução Homologatória nº2.436 de 13 de agosto de 2018.

ASCIONE, F.; ROSSI, F.; VANOLI, G. P. **Energy retrofit of historical buildings: theoretical and experimental investigations for the modelling of reliable performance scenarios**. Energy and Buildings 43 (2011) 1925–1936.

BARBIERI, J. C.; SILVA, D. **Desenvolvimento sustentável e educação ambiental: uma trajetória comum com muitos desafios**. REV. ADM. MACKENZIE, V. 12, N. 3, Edição Especial. São Paulo, 2011.

BONA, R. M. **Classificação energética de uma sala comercial. Estudo de caso: academia smart fit**. Trabalho de Conclusão de Curso (bacharel). UFSC, Florianópolis. 2017.

BRASIL. Lei nº. 10.295, de 17 de outubro de 2001. **Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. Brasília, 2001a. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/LEIS\\_2001/L10295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10295.htm). Acesso em 22 abr. 2019.

BRASIL. Decreto nº. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. **Regulamenta a Lei no 10.295**. Brasília, 2001b. Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2001/D4059.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm). Acesso em 22 abr. 2019.

BRASIL. Ministério do Planejamento, orçamento e Gestão. **Instrução normativa nº 02, de 04 de junho de 2014.**

BRASIL. Casa Civil. **Decreto-lei nº 25, de 30 de novembro de 1937.** Organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.**

BRASIL; Ministério De Minas E Energia - MME; Empresa De Pesquisa Energética - EPE. **Balanco Energético Nacional.** 2018. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018\\_\\_Int.pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf). Acesso em: 26 abr. 2019

BRASIL; Ministério De Minas E Energia - MME; Empresa De Pesquisa Energética - EPE. **Demanda de Energia 2050: Nota Técnica DEA 13/15.** Rio de Janeiro: 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-458/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf#search=demanda%20de%20energia%202050>. Acesso em: 26 abr. 2019.

BRASIL. Portaria nº 50, de 2013. **Anexo Geral V - Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros.** Brasília, DF, Disponível em: [http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/anexos\\_rac/AnexoV\\_CatalogoPropriedadesTermicas\\_v08JUN2015\\_.pdf](http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/anexos_rac/AnexoV_CatalogoPropriedadesTermicas_v08JUN2015_.pdf). Acesso em: 17 maio 2019

CAIXA - Caixa Econômica Federal. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI).** Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 10 jun. 2019.

CANTIN, R. et al. **Field assessment of thermal behaviour of historical dwellings in France**. Building and Environment 45 (2010) 473–484

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. Tese (Doutorado). UFSC, Florianópolis: 2018.

CARVALHO, C. R. et al. **Análise da viabilidade de aplicação do método prescritivo do rtq-c para avaliar o nível de eficiência energética da envoltória em edificações comerciais com área total inferior a 500 m<sup>2</sup>**. XII ENCAC, Brasília, 2013

CASTRO, N. J. C. **Memórias de um mercado em abandono**. Revista Ciências da Sociedade (RCS), Vol. 2, n. 3, p.319-329, Jan/Jun 2018. Disponível em: <http://www.ufopa.edu.br/portaldeperiodicos/index.php/revistacienciasdasociedade/article/download/602/370>. Acesso em 13 jan. 2019.

CB3E - Centro Brasileiro De Eficiência Energética Em Edificações. **Introdução ao novo método de avaliação do pbe edifica**. Florianópolis: CB3E, 2017a. 16 slides. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/1%20-%20Introdu%C3%A7%C3%A3o%20ao%20novo%20m%C3%A9todo.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2019.

CB3E - Centro Brasileiro De Eficiência Energética Em Edificações. **Atividades Gerais entre Núcleos**. Florianópolis: CB3E, 2017b. Disponível em: <http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2012-2016/trabalho-1/pesquisas>. Acesso em: 25 abr. 2019.

CB3E - Centro Brasileiro De Eficiência Energética Em Edificações. **Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas**. Florianópolis: CB3E, 2017c. Disponível em:

[http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Nova%20proposta%20de%20m%C3%A9todo%20completo\\_comercial\\_2.pdf](http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Nova%20proposta%20de%20m%C3%A9todo%20completo_comercial_2.pdf). Acesso em: 25 abr. 2019.

CB3E - Centro Brasileiro De Eficiência Energética Em Edificações. **Classificação de climas brasileiros empregada na atualização dos Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações**. Florianópolis: CB3E, 2017d. Disponível em:[http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio\\_GruposClimaticos.pdf](http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio_GruposClimaticos.pdf). Acesso em: 25 abr. 2019.

CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na construção civil**. 70p. Monografia (Especialização) - Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2009.

DIAS, A. F. **REUTILIZAÇÃO DO PATRIMÔNIO EDIFICADO COMO MECANISMO DE PROTEÇÃO: uma proposta para os conjuntos tombados de Florianópolis**. Dissertação (Mestrado em arquitetura e urbanismo). UFSC, Florianópolis, 2005.

DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. São Paulo: Atlas, 1999.

ELI, L. G. **Classificação energética de uma sala comercial. Estudo de caso: academia smart fit**. Trabalho de Conclusão de Curso (bacharel). UFSC, Florianópolis. 2017.

ENERGYPLUS. Programa de simulação computacional. Disponível em:<https://energyplus.net/> Acesso em: 05 jul. 2019.

FILION, L. J. **Visão e relações: elementos para um metamodelo empreendedor**. Rev. adm. empres., São Paulo, v. 33, n. 6, p. 50-61, Dec. 1993. Available from [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-75901993000600006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75901993000600006&lng=en&nrm=iso). Acesso em 25 Abr. 2019.

FLORIANÓPOLIS. **Decreto nº 12.853**, de 20 mar. 2014.

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R. **Electricity end-uses in the residential sector of Brazil**. Energy Policy, v. 35, n. 8, p. 4107-4120, 2007.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

GORGENS, E. B. et al. **Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais**. Revista *Árvore*, 2009. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48815855016>. Acesso em 1 abr. 2019.

HIGHFIELD, D. **The construction of new buildings behind historic facades**. CRC Press, 2002.

HOCHHEIM, N. **Apostila de Planejamento Econômico e Financeiro**. Florianópolis, 2015.

INMETRO. Portaria n.º 410, de 16 de agosto de 2013. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002015.pdf>. Acesso em 22 jun. 2019.

IPIUF – Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis. **Projeto de Restauro: Antiga Casa de Câmara e Cadeia**. Florianópolis, 2015. Disponível em: [http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/19\\_06\\_2015\\_14.04.06.878ac4c5491b70c408313a54545b5f41.pdf](http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/19_06_2015_14.04.06.878ac4c5491b70c408313a54545b5f41.pdf). Acesso em: 30 abr. 2019

LAMBERTS, R. et al. **Conforto e stress térmico**. LabEEE, 2016. Disponível em [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Apostila%20Conforto%20T%C3%A9rmico\\_2016.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Apostila%20Conforto%20T%C3%A9rmico_2016.pdf). Acesso em 04 jul. 2019

LE CORBUSIER. **A Carta de Atenas**. São Paulo: HUCITEC: EDUSP, 1993

LÓPEZ, C. S. P.; FRONTINI, F. **Energy efficiency and renewable solar energy integration in heritage historic buildings**. International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry. Alemanha, 2013.

MESQUITA, M. G.; NOTARO, C. C. **RECIFE ANTIGO: a (re)qualificação de um espaço**. Revista SETA, Edição especial, Recife. 2015. Disponível em <http://humanae.esuda.com.br/index.php/humanae/article/view/498>. Acesso em 13 jan. 2019.

MOLINA, A. M.; AUSINA, I. T.; CHO, S.; VIVANCOS, J. L. **Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 61. P. 70–85. 2016.

MMA, **Instrução Normativa nº2**. 2014.

MME. **Plano nacional de eficiência energética**. 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Efici%EF%BF%BDncia+Energ%EF%BF%BDtica+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863?version=1.1>

MELO, A. P. **Avaliação computacional de estratégia para a redução do consumo de energia elétrica em um hotel em Florianópolis**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MELO, A. P. **Desenvolvimento de um método para estimar o consumo de energia de edificações comerciais através da aplicação de redes neurais**. 2012. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MOURA, W. A. **Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto**. 207p. Tese (doutorado) – Escola de engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

MURGUL, V. **Features of energy efficient upgrade of historic buildings (illustrated with the example of saint-petersburg)**. Journal of Applied Engineering Science. Rússia, 2018.

PINTO, G. X. A. **Impactos da geração solar fotovoltaica e da modalidade de contratação da energia elétrica sobre as despesas com energia elétrica em campus universitário**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: [http://fotovoltaica.ufsc.br/Dissertacoes/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_Gustavo\\_Xavier\\_de\\_Andrade\\_Pinto.pdf](http://fotovoltaica.ufsc.br/Dissertacoes/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Gustavo_Xavier_de_Andrade_Pinto.pdf). Acesso em: 5 jul. 2019.

QUEIRÓS, F. **Reabilitação de centros históricos**. Faculdade de economia da universidade de coimbra. Coimbra, 2007.

TADEU, S. et al. **Energy retrofit of historic buildings: Environmental assessment of cost-optimal solutions**. Journal of Building Engineering 4. p. 167–176. 2015.

TCU – Tribunal de Contas da União. **Estudo Sobre Taxas Referenciais De Bdi De Obras Públicas E De Equipamentos E Materiais Relevantes**. Maio de 2013. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br>. Acesso em 29 abr. 2019.

UNESCO. **Convenção para a protecção do património mundial, cultural e natural**. 1972.

VERSAGE, R. S. **Metamodelo para estimar a carga térmica de edificações condicionadas artificialmente**. 2015. 191 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

WEBER, F. S. et al. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes**

**construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus.** LabEEE, agosto 2017. Disponível em [http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/Biblioteca\\_ComponentesConstrutivos\\_0.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Biblioteca_ComponentesConstrutivos_0.pdf). Acesso em 22 maio 2019.