

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Henrique José Caravita de Andrade

**Análise da Eficiência Energética em Edificações Usando os
Métodos RTQ-C e INI-C**

São Carlos - SP

2022

Henrique José Caravita de Andrade

**Análise da Eficiência Energética em Edificações Usando os
Métodos RTQ-C e INI-C**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Sistemas Elétricos e Eletrônicos

Orientador: Claudionor Francisco do Nascimento

Coorientador: Anderson Antônio Ubices de Moraes

São Carlos - SP

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Henrique José Caravita de Andrade, realizada em 23/02/2022.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Claudionor Francisco do Nascimento (UFSCar)

Prof. Dr. Érico Masiero (UFSCar)

Prof. Dr. Wesley Angelino de Souza (UTFPR)

Dedico esse trabalho ao Percy.

Agradecimentos

Aos queridos Professores Claudionor Francisco do Nascimento e Anderson Antônio Ubices de Moraes pelos conhecimentos passados e todo o apoio dado, que foram de fundamental importância para a elaboração dessa dissertação.

À UFSCar e ao PPGEE por terem me aceitado como aluno de mestrado e oferecido condições de desenvolver e ampliar o meu conhecimento.

À Deus por ter me dado saúde e motivação para os meus estudos.

Por último, mas não menos importante, à minha família e amigos, pelo constante e presente apoio às minhas intenções e decisões.

"Viva num clima de otimismo, de tal forma que todos, ao se aproximarem de você,
sintam essa energia maravilhosa."

Humberto Pazian

Resumo

O desenvolvimento urbano das últimas décadas ocasionou uma elevação considerável no consumo energético das edificações, o que aumentou o interesse na melhoria da eficiência energética de edifícios justificando o uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edifícios comerciais, de serviços e públicos. O método do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) é usado para o processo de etiquetagem na construção de novos edifícios públicos federais e no *retrofit* daqueles já existentes. A Instrução Normativa Inmetro para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) visa substituir o método do RTQ-C. Nesse contexto, a presente pesquisa visa aplicar e comparar os métodos de simulação para classificação em termos de eficiência energética propostos pelo RTQ-C e pela INI-C em uma edificação da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Para tal, foram utilizados os programas *Energy Plus* e *SketchUP* e considerado o zoneamento bioclimático em que o edifício se insere, além de suas características construtivas. O resultado de eficiência energética segundo o modelo do RTQ-C classificou a edificação no nível “B”, entretanto a classificação final foi “C”, por não cumprir alguns dos seus pré-requisitos. O modelo da INI-C, por sua vez, classifica o edifício no nível “B” e apresenta 33,5% de redução do consumo estimado de energia nas condições atuais de funcionamento. Conclui-se que os procedimentos de simulação da metodologia da INI-C são, no geral, mais simples de serem realizados, por requererem a criação de um número menor de modelos que a metodologia do RTQ-C. Além disso, a INI-C apresentou uma precisão maior na classificação do edifício, por possuir parâmetros pré-estabelecidos para todas as variáveis necessárias para o desenvolvimento dos modelos. Portanto, pode-se dizer que há uma maior facilidade de se obter uma melhor classificação utilizando-se a metodologia da INI-C em comparação com a metodologia do RTQ-C.

Palavras-Chave: Eficiência Energética. RTQ-C. INI-C. ENCE.

Abstract

The urban development of the last decades has caused a considerable increase in the energy consumption of buildings, which increased the interest in improving the energy efficiency of buildings justifying the use of the National Energy Conservation Label (ENCE) for commercial, service and public buildings. The method of the Technical Regulation on the Quality of the Energy Efficiency Level of Commercial, Service and Public Buildings (RTQ-C) is used for the labeling process in the construction of new federal public buildings and in the retrofit of existing ones. The Inmetro Normative Instruction for the Energy Efficiency Level of Commercial, Service and Public Buildings (INI-C) aims to replace the RTQ-C method. In this sense, the present research aims to apply and compare the simulation methods for classification in terms of energy efficiency proposed by RTQ-C and INI-C in a building at the Federal University of São Carlos (UFSCar). To this end, the Energy Plus and SketchUP programs were used and the bioclimatic zoning in which the building is inserted, in addition to its constructive characteristics, were considered. The energy efficiency results according to the RTQ-C model classified the building at level "B", however the final classification was "C", because it didn't meet some of its prerequisites. The INI-C model, on the other hand, classifies the building at level "B" and presents a 33.5% reduction in estimated energy consumption under current operating conditions. In conclusion, the simulation procedures of the INI-C methodology are, in general, simpler to be performed, as they require the creation of a smaller number of models than the RTQ-C methodology. In addition, the INI-C showed greater accuracy in the classification of the building, as it has pre-established parameters for all the variables necessary for the development of the models. However, it can be said that it is easier to obtain a better classification using the INI-C methodology compared to the RTQ-C methodology.

Keywords: Energy Efficiency. RTQ-C. INI-C.

Lista de Figuras

Figura 1. Níveis de eficiência	37
Figura 2. Modelo da ENCE para edificações	41
Figura 3. Gerenciamento de Simulação por Módulos do <i>EnergyPlus</i>	49
Figura 4. Localização do município de São Carlos	51
Figura 5. Zoneamento bioclimático brasileiro.....	52
Figura 6. Grupos climáticos brasileiros.....	53
Figura 7. Vista externa da fachada norte do edifício 161 da UFSCar	62
Figura 8. Foto do bloco de concreto 19x19x39cm. O bloco apresenta 4 cm de concreto nas bordas e 3cm de espessura no centro	63
Figura 9. Esquema da composição da camada externa sendo 1) Reboco de 2,5cm; 2) Bloco de Concreto 19 cm e 3) Reboco de 2,5cm	64
Figura 10. Esquema dos elementos da cobertura sendo 1) Laje pré-fabricada do L20, 2) Câmara de ar e 3) telha metálica de 0,5mm zipada.....	65
Figura 11. Cálculo da transmitância térmica da cobertura suposto para laje pré-fabricada do tipo L20	65
Figura 12. Vista das fachadas Norte e Oeste da edificação no <i>SketchUp</i>	74
Figura 13. Vista das fachadas Sul e Leste da edificação no <i>SketchUp</i>	74
Figura 14. Schedule dos ambientes de longa permanência.....	76
Figura 15. Schedule dos ambientes de permanência esporádica.....	77
Figura 16. Exemplo de Nível “C” de eficiência da Envoltória obtido pelo webprescritivo	79
Figura 17. A. Vista das fachadas Norte e Oeste da edificação nível A no <i>SketchUp</i> ; B. Vista das fachadas Sul e Leste da edificação nível A no <i>SketchUp</i>	80
Figura 18. A. Vista das fachadas Norte e Oeste da edificação nível B no <i>SketchUp</i> ; B. Vista das fachadas Sul e Leste da edificação nível B no <i>SketchUp</i>	80
Figura 19. A. Vista das fachadas Norte e Oeste da edificação nível C no <i>SketchUp</i> ; B. Vista das fachadas Sul e Leste da edificação nível C no <i>SketchUp</i>	80

Figura 20. A. Vista das fachadas Norte e Oeste da edificação nível D no <i>SketchUp</i> ; B. Vista das fachadas Sul e Leste da edificação nível D no <i>SketchUp</i>	81
Figura 21. Cálculo da transmitância térmica da cobertura para modelo de referência nível “A”	82
Figura 22. Schedule dos ambientes	93
Figura 23. A. Vista das fachadas Norte e Oeste da edificação no <i>SketchUp</i> ; B. Vista das fachadas Sul e Leste da edificação no <i>SketchUp</i>	95
Figura 24. Esquema em planta da definição zonas primárias de iluminação natural para as aberturas laterais.....	99
Figura 25. Esquema em corte da definição zonas primárias de iluminação natural para as aberturas laterais.....	99
Figura 26. Consumo anual dos modelos simulados em kWh.....	104
Figura 27. Consumo mensal por nível para refrigeração em kWh	105
Figura 28. Consumo mensal por nível para aquecimento em kWh.....	106
Figura 29. Consumo mensal por nível para refrigeração e aquecimento em kWh..	107
Figura 30. Consumo mensal por nível para refrigeração e aquecimento, dos meses de menor consumo, em kWh	107
Figura 31. Consumo anual dos modelos simulados da INI-C em kWh.....	110
Figura 32. Consumo mensal para refrigeração em kWh	112
Figura 33. Consumo mensal para aquecimento em kWh.....	113
Figura 34. Consumo mensal para refrigeração e aquecimento em kWh	113
Figura 35. Esquema de composição da cobertura sugerida para o edifício	116

Lista de Tabelas

Tabela 1. Dados geométricos: volume, área de projeção da cobertura, área total construída e área de projeção da edificação.....	60
Tabela 2. Dados geométricos: Área total de fachada, área total da envoltória, área da fachada oeste e área da cobertura.....	60
Tabela 3. Dados geométricos para avaliação de área de aberturas, porcentagem de aberturas geral e na fachada oeste e, ângulos de sombreamento horizontal e vertical	61
Tabela 4. Limite mínimo da Transmitância Térmica para cada nível de eficiência para Zona Bioclimática 4	63
Tabela 5. Limite dos valores de absorvância para cada nível de eficiência energética, para a Zona Bioclimática 4.....	66
Tabela 6. Absorvância das fachadas	67
Tabela 7. Equipamentos do sistema de iluminação.....	68
Tabela 8. Definição dos ambientes, suas funções atividades e potência instalada ..	69
Tabela 9. Elementos construtivos e propriedades dos materiais presentes em cada camada	75
Tabela 10. Elementos construtivos e transmitância térmica.....	75
Tabela 11. Principais dados geométricos da edificação	78
Tabela 12. Valores limites do PAF_T por Nível	79
Tabela 13. Elementos construtivos e propriedades dos materiais presentes em cada camada para cada nível.....	83
Tabela 14. Elementos construtivos e transmitância térmica para cada nível	83
Tabela 15. Densidade de Potência de Iluminação (DPI), por atividade, para os modelos de referência.....	84
Tabela 16. Coeficiente de Desempenho (COP) em W/W para os modelos de referência	84
Tabela 17. Edificações de escritórios: coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A, com base no fator de forma e grupo climático correspondente.....	90

Tabela 18. Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral.	91
Tabela 19. Valores de referência para edificações de escritório.....	92
Tabela 20. Elementos construtivos e propriedades dos materiais presentes em cada camada	95
Tabela 21. Elementos construtivos e transmitância térmica.....	96
Tabela 22. Valores de potência de iluminação limite por tipo de ambiente	96
Tabela 23. Consumo anual total e por sistema dos modelos simulados em kWh...	103
Tabela 24. Consumo anual total e por sistema dos modelos simulados da INI-C em kWh	109
Tabela 25. Classificação de eficiência da edificação	111
Tabela 26. Consumo anual total e por sistema dos modelos da INI-C e do modelo de nível "A" do RTQ-C simulados pela INI-C em kWh	119

Lista de Quadros

Quadro 1. Legislações em vigência no Brasil para promoção de eficiência energética	34
Quadro 2. Comparativo entre INI-C e RTQ-C	43
Quadro 3. Critérios mínimos para a obtenção de uma classificação para o sistema de condicionamento artificial do ar.	86
Quadro 4. Critérios mínimos para a obtenção de uma classificação para o sistema de iluminação.....	87

Sumário

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	25
1.1 OBJETIVOS	27
1.2 JUSTIFICATIVA	27
1.3 CONTRIBUIÇÕES	29
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	29
CAPÍTULO 2. REGULAMENTO TÉCNICO E INSTRUÇÃO NORMATIVA PARA CLASSIFICAÇÃO DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS	31
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	31
2.2 RTQ-C	35
2.3 INI-C	42
2.4 PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA	44
2.5 ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA	49
2.6 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO	50
2.6.1 <i>Clima de São Carlos</i>	50
2.6.2 <i>Zonas Bioclimáticas</i>	51
2.6.3 <i>Grupos Climáticos</i>	52
2.6.4 <i>Arquivo Climático</i>	53
2.7 ESTADO DA ARTE NO USO DE RTQ-C E INI-C	54
2.8 CERTIFICADOS INTERNACIONAIS	57
2.8.1 <i>HQE – França</i>	57
2.8.2 <i>ENERGY STAR – Estados Unidos</i>	57
2.8.3 <i>EPCs – União Europeia</i>	58
CAPÍTULO 3. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	59
3.1 ENVOLTÓRIA	59
3.1.1 <i>Dados Geométricos</i>	59
3.1.2 <i>Transmitância Térmica</i>	62
3.1.3 <i>Absortância Térmica</i>	66
3.1.4 <i>Abertura Zenital</i>	67
3.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	67
3.3 PESSOAS E EQUIPAMENTOS	70
3.4 INFILTRAÇÃO DO AR	70
3.5 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DO AR	70
3.6 DIRETRIZES DE IMPLANTAÇÃO DE EDIFICAÇÕES	71
CAPÍTULO 4. MODELAGEM PELO MÉTODO DO RTQ-C	73
4.1 MODELAGEM DA EDIFICAÇÃO REAL	73
4.1.1 <i>Envoltória</i>	73
4.1.2 <i>Cargas Internas</i>	76
4.2 MODELAGENS DAS EDIFICAÇÕES DE REFERÊNCIA PELO MÉTODO DO RTQ-C	77
4.2.1 <i>Envoltória</i>	78
4.2.2 <i>Cargas Internas</i>	83
4.3 PRÉ-REQUISITOS	85
4.3.1 <i>Envoltória</i>	85
4.3.2 <i>Sistema de condicionamento artificial do ar</i>	85
4.3.3 <i>Sistema de iluminação</i>	86
4.3.4 <i>Programa de simulação</i>	87

4.3.5 Arquivo Climático	88
CAPÍTULO 5. MODELAGEM PELO MÉTODO DA INI-C	89
5.1 MODELAGEM DA EDIFICAÇÃO REAL.....	91
5.1.1 Envoltória	93
5.1.2 Cargas internas.....	93
5.2 MODELAGEM DA EDIFICAÇÃO DE REFERÊNCIA	94
5.2.1 Envoltória	94
5.2.2 Cargas Internas	96
5.3 PRÉ-REQUISITOS.....	97
5.3.1 Sistema de condicionamento de ar	97
5.3.2 Sistema de iluminação.....	98
5.3.2.1 Potencial de integração da luz natural	98
5.3.2.2 Contribuição da luz natural	100
5.3.2.3 Controle local.....	101
5.3.3 Sistema de aquecimento de água	101
5.3.4 Arquivo climático.....	102
CAPÍTULO 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	103
6.1 RTQ-C.....	103
6.1.1 Consumo do sistema de condicionamento do ar	105
6.1.2 Pré-requisitos.....	108
6.2 INI-C	109
6.2.1 Consumo do sistema de condicionamento do ar	111
6.2.2 Pré-requisitos.....	114
6.3 COMPARATIVO DOS MÉTODOS	115
6.3.1 Quanto aos Resultados.....	115
6.3.2 Quanto aos Procedimentos	117
6.3.3 Análise avaliativa	118
CAPÍTULO 7. CONCLUSÃO.....	121
7.1 TRABALHOS FUTUROS.....	122
7.2 PUBLICAÇÃO	122
REFERÊNCIAS.....	123
GLOSSÁRIO.....	133
ANEXO 1. PLANTA DE ILUMINAÇÃO DO TÉRREO.....	136
ANEXO 2. PLANTA DE ILUMINAÇÃO DO PRIMEIRO PAVIMENTO.....	137

Capítulo 1. Introdução

O uso crescente de energia tem motivado preocupações com dificuldades de abastecimento dos recursos energéticos e seu esgotamento, bem como com os impactos ambientais causados, como a destruição da camada de ozônio, aquecimento global, mudanças climáticas, entre outros (PÉREZ-LOMBARDI; ORTIZ; POUT, 2008). A contribuição das edificações para o consumo de energia, comercial e residencial, abrange valores situados na faixa compreendida entre 20% e 40% em países desenvolvidos, excedendo os setores que tradicionalmente demandam energia, como o de transporte e o industrial (PÉREZ-LOMBARDI; ORTIZ; POUT, 2008).

Diante disso, é importante enfatizar que a construção sustentável está comprometida com a redução do consumo de energia elétrica e de recursos ao longo das fases do ciclo de vida dos edifícios, abrangendo, portanto, desde o seu planejamento até a sua efetiva construção e posterior uso, reforma e eventual demolição (GEORGI, 2015).

Em geral, o crescimento populacional pode ser visto como a fonte do aumento da demanda por serviços de construção civil e consumo de energia. A aplicação de novas tecnologias e conceitos é fundamental para atender à necessidade de redução da demanda por energia elétrica em edificações (GUEDES; BUORO, 2015).

Nesse sentido, tem-se a eficiência energética relacionada ao fornecimento de condições ambientais desejadas, consumindo ao mesmo tempo uma quantidade mínima de energia. Esta é tida como sendo a mais eficaz de redução das emissões de dióxido de carbono, promovendo melhorias tanto para as famílias como para as empresas (GUEDES; BUORO, 2015; ABREU, 2015).

As medidas convencionais passíveis de serem utilizadas para fins de melhorias no desempenho energético de edifícios classificam-se naquelas que possuem relação imediata com a envoltória do edifício. É o caso, por exemplo, dos elementos de

construção, bem como daqueles que estão relacionados à operação dos sistemas de energia usada para aquecimento, refrigeração, abastecimento de água quente, ventilação, etc. (MARANGONI et al., 2015).

A energia elétrica demandada para a parte operacional dos edifícios pode ser reduzida significativamente com a adoção de soluções técnicas diversas, como, por exemplo, melhorar o isolamento térmico aplicado na envoltória do edifício (ABREU, 2015). De igual modo, pode-se reduzir a energia incorporada com a realização de uma reestruturação/remodelação apropriada, por meio da reciclagem e do reuso de componentes e materiais. Contudo, para que isso possa ocorrer, é preciso elaborar estudos sobre o impacto ambiental dos edifícios, a fim de evitar problemas de mudanças de uma para outra parte do ciclo de vida ou de uma para outra área geográfica (TSAI, 2013).

Um aspecto crítico que abrange tanto o projeto como a fase operacional de um edifício é a etapa necessária para se tomar decisão sobre a implementação de ações voltadas à reabilitação ou renovação da edificação, na qual é feita a avaliação e adaptação das medidas alternativas a partir de um conjunto de critérios, como fatores sociais, segurança, qualidade do ambiente interior, custo operacional e de investimento, desempenho ambiental, consumo de energia, dentre outros (MARANGONI et al., 2015).

Para auxiliar nessa tomada de decisão existem métodos que podem ser utilizados para avaliação da eficiência energética de uma edificação, destacando-se o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética (RTQ-C) e a Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), ambos lançados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), sendo a segunda mais recente, devendo substituir a primeira em um prazo de dois anos.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é realizar uma análise comparativa dos métodos de eficiência energética propostos pelo RTQ-C e pela INI-C, aplicando-os em uma edificação da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Para o alcance do objetivo principal, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a eficiência energética predial usando o RTQ-C.
- Reavaliar a eficiência energética predial baseado nos moldes da INI-C.
- Fazer uma análise comparativa entre os métodos RTQ-C e INI-C.

1.2 Justificativa

O RTQ-C, em vigor desde o ano de 2009, trata-se de um método prescritivo que utiliza um indicador de consumo para classificar a edificação nos níveis de “A” a “E”, conforme Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), em 2014 passou a ser obrigatória para as edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofit* (BRASIL, 2014).

Para fins de análise da classificação de eficiência energética de uma edificação, o RTQ-C considera: sistemas de envoltória, de iluminação e de condicionamento de ar, usando o método prescritivo ou o de simulação. Todavia, ao longo dos anos tem apresentado limitações e imprecisões para sua aplicabilidade, principalmente por não estar associado a um consumo energético real ou potencial da edificação analisada, o que impede a quantificação da economia gerada pela implementação de medidas energeticamente eficientes (PIMENTEL et al., 2021).

As limitações de aplicabilidade apresentadas pelo RTQ-C motivaram sua atualização e conseqüente surgimento da INI-C, que se trata de um método mais atual que traz como proposta corrigir as falhas verificadas no seu antecessor. Aprovada em 2021, a INI-C classifica as edificações com base na energia primária, a partir da

comparação do consumo da edificação real com a mesma edificação em uma condição de referência em nível “D” (BRASIL, 2021a). Importante mencionar que essa instrução, para avaliação da classificação de eficiência energética, considera a envoltória, condicionamento de ar, iluminação, equipamentos instalados, aquecimento de água e, apenas para fins informativos, percentual de economia devido ao uso racional de água (PIMENTEL et al., 2021).

Considerando que a INI-C veio para aprimorar a análise e classificação da eficiência energética das edificações, com a proposta de corrigir as falhas do RTQ-C, levantou-se o interesse em comparar esses dois métodos, buscando identificar as diferenças nos resultados apresentados pelos mesmos. Para tanto, optou-se pela aplicação desses métodos na classificação da eficiência energética no prédio 161 da UFSCar, no campus de São Carlos, o qual foi escolhido pela familiaridade e disponibilidade de acesso as suas dependências, bem como ao material descritivo.

Para desenvolvimento da pesquisa foram utilizados os softwares *SketchUp* (SKETCHUP, 2021), para modelação geométrica da edificação, e *EnergyPlus* (ENERGYPLUS, 2021), para realização dos cálculos pertinentes e apresentação dos relatórios finais do consumo de energia elétrica. Os referidos softwares foram escolhidos por serem os mais utilizados no setor de construção civil, com o *EnergyPlus* apresentando vantagens frente a softwares similares como a solução simultânea e integrada em que sistemas primários e secundários estão acoplados e o *SketchUp* apresentando um plug-in do *EnergyPlus*, o que facilita a integração do modelo geométrico com o sistema de cálculos.

Diante do exposto, a presente pesquisa visa explorar as diferenças nos resultados apresentados pelos métodos RTQ-C e INI-C na análise da eficiência energética das edificações, se caracterizando como um tema de relevância profissional e acadêmica, considerando que a INI-C irá substituir o RTQ-C em um prazo de 84 meses contando de 24 de fevereiro de 2021. Destaca-se ainda a relevância social visto que a correção das falhas na análise da eficiência energética, reflete diretamente nos impactos ambientais, já que possibilita melhoria dos aspectos que envolvem o consumo de energia e os danos ambientais.

1.3 Contribuições

Abaixo estão as principais contribuições deste trabalho:

- Compilação de uma revisão bibliográfica pertinente para pesquisas na área.
- Análise dos métodos de classificação da eficiência energética predial, RTQ-C e INI-C, executando ambos para a mesma construção e comparando-as.
- Publicação de resultados obtidos durante o período da pesquisa.

1.4 Estrutura da dissertação

Para melhor entendimento do estudo realizado, este trabalho foi estruturado em sete capítulos, sendo que o Capítulo 1 consiste nesta introdução que apresenta uma abordagem geral e os objetivos buscados durante a pesquisa realizada.

Por sua vez, o Capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica sobre o tema em estudo, iniciando com uma abordagem sobre a eficiência energética em edificações. Em seguida buscou-se descrever os métodos de análise da eficiência energética: RTQ-C e INI-C. Também foram abordados os programas de simulação termoenergética, enfatizando o *EnergyPlus*, software utilizado neste estudo. Esse capítulo traz ainda uma abordagem sobre o zoneamento bioclimático, arquitetura bioclimática e sobre o consumo de energia e eficiência de aparelhos de ar e iluminação. Por fim, foi realizada uma análise do estado da arte, descrevendo os resultados de estudos já realizados sobre o uso dos métodos RTQ-C e INI-C nas edificações.

No Capítulo 3 apresenta-se uma caracterização do edifício em estudo. A caracterização foi iniciada com a envoltória do edifício, onde descreveu-se os dados geométricos, a transmitância e absorvância térmica e a abertura zenital. O capítulo traz ainda a caracterização do sistema de iluminação do edifício, bem como das

peças e equipamentos que o compõem, da infiltração do ar e do seu sistema de condicionamento do ar.

Já o Capítulo 4 descreve e detalha a metodologia utilizada para o método RTQ-C, apresentando as modelagens de referência e real da edificação em estudo. Os pré-requisitos do sistema também são apresentados neste capítulo.

O Capítulo 5, ainda nesse processo de modelagem, apresenta a metodologia utilizada para desenvolvimento do método INI-C, também considerando a edificação real e de referência e os pré-requisitos desta etapa.

No Capítulo 6 são apresentados e discutidos os resultados verificados, sendo apresentado o comparativo realizado entre os métodos, além de discutir os resultados com base no que outros autores também encontraram sobre o assunto tratado.

Por fim, o Capítulo 7 apresenta a conclusão a que se chegou ao final do estudo realizado.

Capítulo 2. Regulamento Técnico e Instrução Normativa para Classificação de Edifícios Comerciais

O presente capítulo revisa a literatura publicada sobre a eficiência energética nas edificações, buscando abordar os temas diretamente relacionados com a pesquisa realizada. O intuito foi de apresentar o fundamento utilizado para a análise realizada. A partir disso, são estudados os regulamentos RTQ-C e INI-C. Em seguida, são descritos os programas de simulação termoenergética, enfocando no *EnergyPlus*. O zoneamento bioclimático também é trazido neste capítulo, finalizando com uma análise do estado da arte sobre o uso de RTQ-C e INI-C.

2.1 Eficiência Energética em Edificações

Atualmente, no contexto mundial, a cada dia são mais urgentes as preocupações demonstradas em relação ao processo do desenvolvimento sustentável, com disseminação da concepção de sustentabilidade na década de oitenta por meio do Relatório de Brundtland (BRUNDTLAND, 1991). Esse relatório apresenta que o desenvolvimento sustentável é aquele em que estão satisfeitas as necessidades atuais, da geração presente, sem que isso signifique um comprometimento da capacidade de satisfação, pelas gerações futuras, de suas próprias necessidades.

Ainda nessa vertente do desenvolvimento sustentável, teria surgido o conceito de construção sustentável. O objetivo principal de tal concepção é similar ao de sustentabilidade já apresentado, na medida em que corresponde à construção que atende as necessidades atualmente identificadas sem retirar e/ou comprometer o atendimento de possíveis necessidades apresentadas por gerações futuras (BRUNDTLAND, 1991).

Líderes de Estado de 193 países foram reunidos, no ano de 2015, pela Organização das Nações Unidas (ONU) para adotar uma agenda internacional, baseada na adoção de políticas públicas, com a finalidade de aumentar a qualidade de vida em nível mundial, trazendo maior dignidade às vidas humanas (MARQUES, 2021). Foram estabelecidos, então, os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), esses países se comprometeram em atingi-los até o ano de 2030. Alguns deles foram introduzidos tendo-se ciência da necessidade de se consumir menos energia elétrica e de se gerar energia limpa (ONU, 2015).

No conjunto de barreiras impostas ao desenvolvimento sustentável em nível global, é possível destacar o crescimento do consumo mundial de energia, em suas mais variadas formas de origens, como a de biomassa, a fóssil e a hídrica, e os impactos que o seu uso causam ao meio ambiente (VERBEECK; HENS, 2010).

Nesse contexto, vale ressaltar que, muito embora tenham sido experimentados importantes avanços tecnológicos, com diversos benefícios por eles proporcionados para fins de uso racional dos recursos naturais, cerca de um terço da população em todo o mundo não tem, ainda, acesso a eles, sendo que uma parcela bastante considerável tem o seu atendimento feito de forma bastante precária (BRUNDTLAND, 1991).

Em termos de Brasil, a situação é igualmente preocupante, já que, muito embora conte o país com grande extensão territorial e abundância de fontes de recursos naturais para a produção de tais energias, experimenta-se grande diversidade regional, com forte concentração de pessoas e de atividades econômicas em regiões que apresentam sérios problemas relacionados ao suprimento de energia (VERBEECK; HENS, 2010).

Especialmente em relação ao consumo de energia elétrica, verifica-se que, no país, este se revela como sendo um dos principais fatores para ser controlado ao se fazer menção à necessidade de se promover maior sustentabilidade ao setor da construção, razão pela qual é preciso adotar estratégias capazes de promover maior e melhor eficiência energética aos edifícios (BRUNDTLAND, 1991).

O elevado consumo de energia elétrica nos edifícios tem como uma de suas causas o fato de tais construções apresentarem comportamento dissipativo, em razão

da não utilização de soluções eficientes para a promoção de isolamento térmico. Com isso, experimenta-se uma utilização inadequada de equipamentos de climatização, fazendo com que o consumo de energia elétrica seja aumentado (BRUNDTLAND, 1991).

Desse modo, vislumbra-se a importância de contribuição, pelos profissionais do setor contribuam, para que essa tendência possa ser invertida. Isso poderá ser obtido a partir da adoção de concepções sustentáveis dos edifícios, fazendo uso de recursos e de técnicas ativas e/ou passivas capazes de promover melhorias em sua eficiência energética, sem que tais ações possam contribuir para que se aumente de forma significativa o custo de produção do edifício (BRUNDTLAND, 1991).

No Brasil, o Programa de Eficiência Energética em Prédios Públicos foi instituído em 1997 pela ELETROBRÁS / PROCEL com o objetivo de promover a eficiência energética em prédios públicos localizados nos diferentes níveis governamentais (municipal, estadual e federal). Com esse programa, buscou-se implementar medidas de eficiência energética, bem como difundir a informação junto aos agentes envolvidos com a administração pública (VERBEECK; HENS, 2010).

Para que isso ocorresse, porém, foi estabelecido que os prédios públicos deveriam promover: economia da energia utilizada; melhorias na qualidade dos sistemas de iluminação, refrigeração, forças-motrizes e outros sistemas que fossem relevantes para reduzir os gastos com energia elétrica; e atualização tecnológica em laboratórios de pesquisa que atuam neste segmento (VERBEECK; HENS, 2010).

Diferentes legislações vêm sendo promulgadas no decorrer dos anos com vistas a promover a eficiência energética no Brasil, estando apresentadas no Quadro 1 as legislações correlatas ao Programa de Eficiência Energética desde sua criação.

Quadro 1. Legislações em vigência no Brasil para promoção de eficiência energética

Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000	Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências.
Lei nº 11.465, de 28 de março de 2007	Altera os incisos I e III do caput do art. 1º da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, prorrogando, até 31 de dezembro de 2010, a obrigação de as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica aplicarem, no mínimo, 0,50% de sua receita operacional líquida em programas de eficiência energética no uso final.
Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010	Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica; altera as Leis nos 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.925, de 23 de julho de 2004, e 10.438, de 26 de abril de 2002; e dá outras providências.
Lei nº 13.203, de 08 de dezembro de 2015	Dispõe sobre a repactuação do risco hidrológico de geração de energia elétrica; institui a bonificação pela outorga; e altera as Leis nos 12.783, de 11 de janeiro de 2013, que dispõe sobre as concessões de energia elétrica, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, que disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica, 9.478, de 6 de agosto de 1997, que institui o Conselho Nacional de Política Energética, 9.991, de 24 de julho de 2000, que dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, 10.438, de 26 de abril de 2002, 10.848, de 15 de março de 2004, que dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, e 11.488, de 15 de junho de 2007, que equipara a autoprodutor o consumidor que atenda a requisitos que especifica.
Lei nº 13.280, de 3 de maio de 2016.	Altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, para disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética.

Fonte: Adaptado de Aneel (2021).

Recentemente, em 27 de junho de 2019, foi publicado o Decreto n. 9.864, que regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, instituindo a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, além de dispor sobre o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética. Trata-se de mais um esforço em busca de promover a eficiência energética no país.

Importante mencionar a Instrução Normativa n. 2, de 4 de junho de 2014, que dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, e uso da ENCE nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofit*. Em seu art. 5º, tornou obrigatório que os projetos de edificações públicas federais novos fossem desenvolvidos ou contratados com a obtenção de ENCE Geral de Projeto Classe A, sendo recomendado que a edificação seja completamente avaliada emitindo-se a ENCE Geral.

Apesar do país ter uma preocupação com o desenvolvimento de legislações específicas para promoção de eficiência energética ainda se verifica a necessidade de potencialização de seus resultados, sendo mencionado por Haddad (2002) ações

governamentais como linhas de crédito e incentivo para compra de máquinas e equipamentos que possam auxiliar na redução de desperdícios, bem como apoio às pesquisas em laboratórios. Nesse mesmo sentido, Altoé et al. (2017) destacam a necessidade de aprimorar os instrumentos legais de incentivo, bem como normas mais rigorosas para implantação de eficiência energética nas edificações.

2.2 RTQ-C

O Brasil está em 34^o lugar no ranking geral como país com o sistema de energia elétrica mais eficiente no mundo, segundo levantamento feito pelo Conselho Mundial de Energia (WEC, 2013). Em 2013, o Índice de Sustentabilidade Energética avaliou o desempenho de mais de 100 países em três quesitos, sendo eles: segurança energética, equidade no acesso à luz e redução do impacto ambiental. Nela, o Brasil apresentou as seguintes colocações Segurança energética (27^o), Equidade no acesso à energia (86^o), redução do impacto ambiental (17^o) (WEC, 2013). Esta avaliação visa ter um sistema elétrico confiável, de alta qualidade e baixo custo econômico e ambiental.

O estudo destaca a necessidade de se avaliar melhor os efeitos sobre o meio ambiente e trabalhar para reduzir os riscos. Sugere ainda que o Brasil explore melhor as possibilidades apresentadas pela biomassa, as quais devem trazer impactos positivos e mudar o papel do país no mercado global de energia. Uma das consequências naturais do progresso tecnológico é a busca por maior eficiência energética, pode ser até mesmo entendida como uma reação dos consumidores ao aumento de preços de energia e mesmo como parte dos esforços de redução de custos nos setores mais competitivos da economia (WEC, 2013).

Apesar do apoio governamental a essas atividades, tendo como principais participantes, os órgãos governamentais, como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), concessionárias públicas de eletricidade, Organizações não Governamentais (ONGs) e empresas privadas de serviços de eletricidade. Não parecem ser suficientes para sozinhos mobilizar as ações

necessárias para promoção de maior eficiência energética (MELO; WESTPHAL; MATOS, 2009).

De acordo com a *World Wildlife Fund - BRASIL* (WWF, 2020), os benefícios da eficiência energética são bastante conhecidos, podemos assim elencar alguns bem conhecidos: ajudam a reduzir gastos, evitar emissões e impactos ambientais, além de poderem ser implantadas mais rapidamente que o aumento da oferta de energia. Ainda quando se pensa no meio ambiente, temos a eficiência energética como componente importante das ações para estabilização de emissões de gases estufa.

Desta forma, uma maior eficiência e redução do desperdício no fornecimento e uso final de energia ajudariam a preservar o meio ambiente, na medida em que restringem a quantidade de energia que precisa ser gerada. O fornecimento e uso de energia afeta o meio ambiente em razão da extração de combustível e transporte, implantação de usinas de geração de eletricidade, refinarias e emissões na atmosfera. A redução do desperdício de energia elétrica e melhor gerenciamento do setor de transportes podem ajudar o Brasil a melhorar a qualidade do ar local, além de contribuir para os esforços globais visando a redução dos gases de efeito-estufa (SILVA, 2015).

Em contrapartida aos investimentos bilionários em novas fontes de energia limpa, a eficiência energética aparece como uma alternativa muito mais barata e como seu nome já diz mais eficiente. Poupano recursos naturais, diminuindo os custos de produção, bens e produtos serão cada vez mais baratos sem prejuízo de suas qualidades, e ainda reduz o investimento em geração de energia (SECHINI; FRIES, 2018).

Edifícios de comprovada eficiência devem ser capazes de, a qualquer momento, indicar padrões de consumo, como, onde e em que horas se consome mais energia elétrica. E isso só é possível com a presença de circuitos elétricos separados por uso final (iluminação, ar condicionado etc.), primeiro pré-requisito para a etiquetagem geral (SILVA, 2015).

O Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética (RTQ-C) reúne o conjunto de procedimentos necessários para a obtenção da ENCE do Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edificações (PBE Edifica), parceria do

INMETRO e Procel (ELETROBRÁS/PROCEL, 2010). A classificação das edificações do nível A (mais eficiente) até o E (menos eficiente) é feita com base nesse regulamento (Figura 1).

Figura 1. Níveis de eficiência



Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2010.

No RTQ-C estão identificados requisitos técnicos e métodos utilizados para classificar edifícios comerciais, públicos e de serviços em relação à eficiência energética. Cumpre ressaltar, contudo, que a obtenção de uma etiqueta de eficiência não é definitiva e pode ser continuamente melhorada com inovações tecnológicas ao longo dos anos, criando o hábito do aprimoramento constante em eficiência energética, da concepção ao uso da edificação. Além da ENCE, em 2014, foi lançado o Selo Procel Eletrobras, que é voluntário e reconhece um edifício como tendo o maior nível de eficiência em todos os requisitos avaliados (SECHINI; FRIES, 2018).

O objetivo do RTQ-C é criar condições para o procedimento de etiquetagem do nível de eficiência energética em edifícios comerciais, públicos e de serviços. No caso de edificações novas e existentes, a sua aplicação possui caráter voluntário. Contudo, no caso de edificações novas a sua observância passará a ser obrigatória em prazo a definir. De um modo geral será necessário, também, atender a todas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) aplicáveis e vigentes (SECHINI; FRIES, 2018).

Outro aspecto a salientar é que nenhuma regulamentação por si garante um edifício de qualidade. Maiores níveis de eficiência podem ser alcançados através de estratégias de projeto e por iniciativas e cooperação dos diversos atores ligados à construção dos edifícios (arquitetos, engenheiros civis, eletricitas, mecânicos e

empreendedores). Os usuários também têm participação decisiva no uso de edifícios eficientes através dos seus hábitos, que podem reduzir de forma significativa o consumo de energia, aumentando assim a eficiência das edificações e reduzindo desperdícios (SECHINI; FRIES, 2018).

Todos os envolvidos na concepção e utilização dos edifícios e seus sistemas podem contribuir para criar e manter edificações energeticamente eficientes. Um edifício eficiente com usuários ineficientes pode tornar-se um edifício ineficiente. Da mesma forma, edifícios ineficientes, podem aumentar de forma considerável a sua eficiência se houver um empenho dos seus usuários nesse sentido (SECHINI; FRIES, 2018).

O RTQ-C fornece uma classificação de edifícios através da determinação da eficiência de três sistemas: Envolvória; Iluminação e Condicionamento de Ar. Esses três itens, mais bonificações, são reunidos em uma equação geral de classificação do nível de eficiência da edificação. Este nível será condicionado ao atendimento dos pré-requisitos gerais e específicos. É possível também obter a classificação de apenas um sistema, deixando os demais em aberto. Neste caso, no entanto, não é fornecida uma classificação geral da edificação, mas apenas do(s) sistema(s) analisado(s) (ELETROBRÁS/PROCEL, 2010).

A classificação da envoltória faz-se através da determinação de um conjunto de índices referentes às características físicas da edificação. Componentes opacos e dispositivos de iluminação zenital são definidos em pré-requisitos enquanto as aberturas verticais são avaliadas através de equações. Estes parâmetros compõem a “pele” da edificação (como cobertura, fachada e aberturas), e são complementados pelo volume, pela área de piso da edificação e pela orientação das fachadas (ELETROBRÁS/PROCEL, 2010).

A eficiência da iluminação é determinada calculando a densidade de potência instalada pela iluminação interna, de acordo com as diferentes atividades exercidas pelos usuários de cada ambiente. Quanto menor a potência utilizada, menor é a energia consumida e mais eficiente é o sistema, desde que garantidas as condições adequadas de iluminação (ELETROBRÁS/PROCEL, 2010).

A classificação da eficiência do sistema de condicionamento de ar pode ser dividida em duas classes diferentes. Uma classe está relacionada aos aparelhos individuais e *split*, já classificados pelo INMETRO (ELETROBRÁS/PROCEL, 2010). Desta forma, deve-se apenas consultar os níveis de eficiência fornecidos nas etiquetas do INMETRO para cada um dos aparelhos instalados na edificação para posteriormente aplicar o resultado na equação geral da edificação.

E a outra classe que trata a eficiência de sistemas de condicionamento de ar como os centrais, que não são classificados pelo INMETRO, devem seguir prescrições definidas no texto do regulamento. Assim, a classificação do nível de eficiência destes sistemas é mais complexa, pois sua definição depende da verificação de um número de requisitos e não pode ser simplesmente obtida pela consulta da etiqueta (ELETROBRÁS/PROCEL, 2010).

O RTQ-C possui duas maneiras distintas de processos para a avaliação predial, um deles é o prescritivo e o outro é o de simulação. Ambos com a finalidade de se obter a ENCE, que possui três tipos distintos de acordo com o INMETRO (PBEEDIFICA, 2013):

a) Geral: Onde todos os sistemas são avaliados e a etiqueta geral é obtida pela ponderação de 40% para o sistema de condicionamento de ar, 30% para a envoltória e 30% para a iluminação no método prescritivo, ou comparando os consumos de modelos de referência com o modelo real, todos simulados por software, no método de simulação.

b) Declarada: Para edifícios que ainda estão em fase de projeto.

c) Parcial: Situação que permite que não seja feita a avaliação de todos os sistemas, porém é necessário no mínimo a obtenção da etiqueta da envoltória ou da envoltória mais um outro sistema.

No método prescritivo, após a finalização do cálculo da eficiência dos três sistemas: Envoltória, Iluminação e Condicionamento de Ar, os resultados parciais são inseridos na equação geral para verificar o nível de eficiência global da edificação, porém ele possui uma limitação por não poder avaliar a ventilação natural no edifício, como alternativa, o método de simulação é o indicado.

Já no método de simulação deve-se simular um modelo equivalente ao edifício real e um modelo de referência para cada nível, de “A” a “D” e então comparar o consumo anual de energia elétrica do modelo real com os de referência. O consumo do modelo real da edificação deve ser menor ou igual ao consumo de um modelo de referência para se atingir determinado nível.

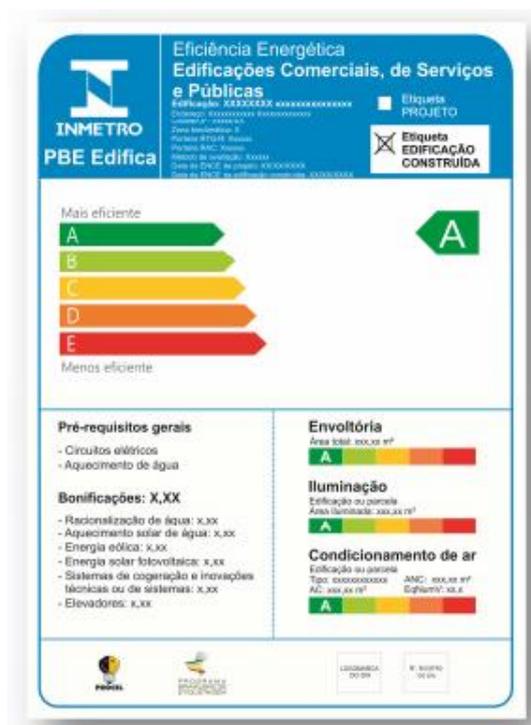
Deve-se, contudo, considerar que o cálculo dos níveis de eficiência parciais e do nível geral de eficiência pode ser alterado tanto por bonificações, que podem elevar a eficiência, quanto por pré-requisitos que, se não cumpridos, podem reduzir esses níveis. As bonificações constituem-se de pontos extras que visam incentivar o uso de energia solar para aquecimento de água, uso racional de água, cogeração, entre outros. Já os pré-requisitos são de caráter obrigatório, referem-se a cada sistema em particular e também ao edifício por completo (ELETROBRÁS/PROCEL, 2010).

O Programa Nacional de Etiquetagem de Edificações nasceu a partir da cooperação mútua entre a Eletrobrás/Procel, o Inmetro e a academia brasileira, notadamente a Universidade Federal de Santa Catarina, que, na figura do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE/UFSC), coordenou o desenvolvimento da parte técnica e metodológica da etiquetagem de eficiência energética por meio de convênios firmados com a Eletrobrás no âmbito do PROCEL Edifica (SECHINI; FRIES, 2018).

A eficiência energética, para ser realmente eficiente, deve estar presente desde o início do projeto de uma edificação ou do planejamento de um *retrofit*. E esse caminho passa por contemplar o maior número de requisitos que o RTQ-C prevê para uma obra (SILVA, 2015).

Em agosto de 2014, a Etiquetagem de Edificações tornou-se obrigatória em edifícios da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional. A Instrução normativa SLTI nº 2/2014, do Ministério de Planejamento Orçamento e Gestão – MPOG dispõem as regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia e o uso da ENCE, cujo formato, contendo os níveis finais e parciais da edificação, podem ser verificados na Figura 2, nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofit* (SECHINI; FRIES, 2018).

Figura 2. Modelo da ENCE para edificações



Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2010.

Como se pode perceber, a etiqueta de eficiência apresenta alguns dados da construção e um gráfico em barras, que aponta em qual “posição” de eficiência aquele eletrodoméstico se encontra. Os mais eficientes ganham conceito “A”, os menos eficientes ficam com “E”, dependendo do edifício (SILVA, 2015).

Os fatores que afetam o preço de uma etiquetagem incluem o tamanho e a complexidade da edificação; o escopo pretendido; e o método escolhido (prescritivo ou simulação). Deve-se somar também o valor dos custos de logística durante as inspeções do edifício construído. Depois de obtidos os selos, eles devem ser expostos em locais visíveis na obra ou na edificação, também segundo orientações do regulamento técnico (SILVA, 2015).

Para as edificações, segundo Instrução Normativa de Eficiência Energética IN 02-2014, os projetos devem ser desenvolvidos ou contratados visando, obrigatoriamente, à obtenção da ENCE Geral de Projeto classe “A”, assim como a construção da nova Edificação deve ser executada ou contratada de forma a garantir

a obtenção da ENCE Geral da Edificação Construída classe “A” (SECHINI; FRIES, 2018).

2.3 INI-C

A Instrução Normativa do Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) foi criada pela Portaria n. 248/2018 com o objetivo de aperfeiçoar o método utilizado pela RTQ-C. Também apresentando duas metodologias um método simplificado e um de simulação para determinar o consumo energético de edificações, considerando os sistemas de envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água e os classificando nos níveis de “A” a “E”.

Para sua aplicação, a INI-C necessita da criação de um modelo de referência com mesma geometria da edificação real, devendo-se considerar nessa modelagem os parâmetros pré-estabelecidos na norma. Além da criação de um modelo da edificação real, com alguns parâmetros também pré-estabelecidos na norma. E então se compara o consumo desse modelo real com uma escala gerada a partir do consumo de referência (PEREIRA; ANDRADE, 2021).

Para que se tenha uma melhor noção sobre o método INI-C, o Quadro 2 apresenta um comparativo com o RTQ-C, buscando identificar as alterações realizadas.

Quadro 2. Comparativo entre INI-C e RTQ-C

	RTQ-C (método prescritivo)	INI-C (método simplificado)
Sistemas avaliados	envoltória; iluminação; e ar-condicionado/ ventilação natural.	envoltória; iluminação; ar-condicionado/ ventilação natural e aquecimento de água.
Princípios	Regressão Linear (Equação)	Redes neurais artificiais Energia primária
Método de Cálculo	método prescritivo e simulação	método simplificado e - simulação
Etapas de etiquetagem	Projeto e Edificação construída	Projeto e Edificação construída
Limitações dos métodos de cálculo	Método prescritivo: não aplicável para: edificações com forma complexa; alto percentual de abertura das fachadas; vidros de alto desempenho; proteção solar diferenciada por fachada; ventilação natural.	Método simplificado: ambientes ventilados naturalmente ou híbridos precisam atender a critérios específicos; a edificação deve atender à limites de parâmetros construtivos.
Distribuição de cada sistema na classificação geral	30% envoltória, 30% sistema de iluminação e 40% sistema de condicionamento de ar	Somatório do consumo de energia primária de cada sistema.
Indicador de consumo	Pontuação de 1 a 5	Consumo de gás: m ³ /ano Consumo de energia elétrica: Kwh/ano Consumo de energia primária: kWh/m ²
Dados fornecidos na etiqueta	Classificação geral, indicador de consumo, classificação dos sistemas, área avaliada, pré-requisitos gerais, bonificações	Classificação geral, indicador de consumo, geração de energia renovável, uso racional de água, emissões de CO ₂ , classificação dos sistemas, informações sobre condição real e de referência de cada sistema
Pré-requisitos	Pré-requisitos gerais e específicos que podem reduzir o nível de eficiência	Pré-requisitos na avaliação dos sistemas para ser elegível ao nível A, não altera a classificação geral que avalia o consumo
Parâmetro climático	8 zonas bioclimáticas, conforme NBR 15.220	24 grupos climáticos, conforme Roriz, 2014
Plataforma online de cálculo	Webprescritivo	Metamodelo
Envoltória	Determinação da eficiência através de uma equação; análise da edificação como um todo, parâmetros para o edifício como um todo	Determinação da eficiência pelo cálculo da carga térmica para resfriamento da edificação real e de referência; separação da edificação em zonas térmicas; parâmetros para cada zona térmica
Sistema de iluminação	Determinação da eficiência pela densidade de potência instalada (W/m ²), conforme nível tabelados; não atendimento dos pré-requisitos de um ambiente reduz o nível de eficiência de todo o sistema	Determinação da eficiência pela densidade de potência instalada (W/m ²), cálculo da edificação real e de referência; Pelo menos 80% dos ambientes devem atender aos pré-requisitos; Redução da densidade de potência instalada em relação ao RTQ-C
Sistema de condicionamento de ar	Determinação da eficiência pela avaliação do desempenho dos equipamentos	Determinação da eficiência através da comparação entre a edificação real e a de referência; Determinação do consumo utilizando dados da carga térmica e desempenho dos equipamentos
Equipamentos	Não avaliado, porém no método de simulação há a determinação do consumo conforme a atividade da edificação	Determinação do consumo conforme a atividade da edificação
Aquecimento de água	Avaliado como pré-requisito	Determinação do consumo de energia elétrica e térmica, convertidas em energia primária
Geração local de energia	Avaliada como bonificação. Possibilita alterar o nível de eficiência da classificação geral	Integrante do cálculo da classificação geral
Uso racional de água	Avaliado como bonificação. Possibilita alterar o nível de eficiência da classificação geral	Descrito na etiqueta, caráter informativo
Emissões de CO ₂	Não avaliado	Descrito na etiqueta, caráter informativo
Climatização Forçada	Não avaliado	Utilizado para cálculo do conforto térmico

Fonte: adaptado de Loper (2019).

Conforme é possível verificar no Quadro 2, a INI-C diferencia-se em muitos pontos do seu antecessor, destacando-se se a forma de se avaliar a geração local de energia e o aquecimento de água (LOPER, 2019).

2.4 Programas de Simulação Termoenergética

A introdução de ferramentas de simulação computacional tem aumentado cada vez mais em projetos de engenharia e na construção de novos empreendimentos, isso ocorre devido a políticas públicas de incentivo à redução de consumo e ao uso de tecnologia de eficiência energética, aliadas ao crescente poder de publicidade obtido com certificações de conselhos do setor (MORAES et al., 2018).

O método de simulação é considerado no RTQ-C como a forma mais completa para avaliação do nível de eficiência energética e é indicado para casos de volumetrias, aberturas ou proteções solares complexas. Além disso, é o método que deve ser utilizado para avaliação de ambientes não condicionados, por meio da comprovação de horas de conforto. Pode ser utilizado para obtenção de ENCEs do edifício completo, e para ENCEs parciais apenas da envoltória; da envoltória e do sistema de iluminação; e da envoltória e do sistema de condicionamento de ar (SCHAEDLER, 2014).

Este método possui alguns pré-requisitos específicos para o programa de simulação e para o arquivo climático a ser utilizado. Em relação ao programa de simulação, este deve estar validado pela ASHRAE Standard 140, simular as 8.760 horas do ano e permitir a modelagem de multi-zonas térmicas, entre outros. No que tange ao arquivo climático, o Regulamento indica que este deve, no mínimo, fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa, e ser representativo da Zona Bioclimática onde o projeto será locado, além de ser indicado o uso dos arquivos climáticos publicados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos ou arquivos validados por um laboratório de referência (MORAES et al., 2018).

A avaliação da eficiência energética desta metodologia é feita a partir da comparação do consumo de energia elétrica de dois modelos: o edifício proposto (modelo real) e os modelos de referência, elaborados com base no método prescritivo,

cujas características devem estar alinhadas com o nível de eficiência ao qual se pretende atingir. O modelo de referência deve possuir ainda diversas características que devem ser idênticas às do modelo do edifício real, como forma do edifício, número de zonas térmicas, padrões de uso, ocupação e cargas internas de equipamentos (SCHAEDLER, 2014). Dentre os programas de simulação termoenergética, é possível destacar o Domus Procel Edifica, Daysim e o *EnergyPlus*.

O Domus Procel Edifica foi desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas Térmicos da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), composto por uma máquina de cálculo e uma interface própria, com comandos específicos e uma aba lateral contendo os projetos abertos e as simulações feitas. O referido programa tem se apresentado como vantajoso por ser adaptado à realidade brasileira, considerando os climas e as topografias presentes no país (EDIFICA, 2020).

Por sua vez, o Daysim foi desenvolvido pelo *National Research Council Canada* (NRCC), tendo como base o algoritmo RADIANCE¹, que é responsável pelo cálculo das iluminâncias internas de um ambiente. O referido programa considera dados anuais, com arquivos climáticos sendo considerados como base para tanto (DIDONÉ; PEREIRA, 2010).

O *EnergyPlus* é um programa de computador, que foi elaborado a partir de dois outros programas, quais sejam, o DOE-2, o primeiro focado em desempenho térmico e o segundo em consumo energético da edificação, e o BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*), e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (EUA). Seu desenvolvimento buscou atender necessidades de simular carga térmica, bem como proceder à análise energética de edifícios e de seus sistemas. Trata-se, pois, de um programa de simulação térmica e energética de edificações integrada com os seus sistemas, por meio do qual é possível desenvolver estudos para melhoria da eficiência energética de edificações existentes ou em fase de projeto (MORAES et al., 2018).

¹ Programa de simulação baseado no comportamento físico da luz, desenvolvido nos Estados Unidos, na Universidade da Califórnia. O programa prediz a distribuição de iluminâncias e luminâncias em edificações sob condições de céu definidas. Possui um mecanismo baseado no método de cálculo Ray-trace largamente utilizado e aceito na avaliação de iluminação natural em edificações.

É, portanto, um programa com recursos diferenciados utilizados para fins de simulação – como o *time-step*, que realiza cálculos em lapso temporal inferior a uma hora. Além disso, calcula os índices de conforto térmico e de integração com outros sistemas, como, por exemplo, os sistemas de aquecimento solar e fotovoltaico, dentre outros, podendo, ainda, calcular a infiltração de ar diferenciada considerando cada zona térmica distinta existente no edifício (MORAES et al., 2018).

O *EnergyPlus* pode fazer simulações relacionadas ao desempenho energético anual por meio de balanço térmico, de forma que o intervalo para cálculo pode ser de 15 em 15 minutos ou menos (SCHAEDLER, 2014). Para que seja possível a realização da simulação energética neste software, são necessários dados de entrada mínimos, como o arquivo climático da cidade na qual o projeto se insere e o arquivo contendo o modelo da edificação – *Input Data File* (IDF), que deve estar setorizado por zonas térmicas. Além disso são necessários dados adicionais como características relacionadas aos materiais construtivos da edificação, padrões de utilização (schedules) cargas internas instaladas e sistema de condicionamento de ar (MORAES et al., 2018).

Essencialmente, o *EnergyPlus* executa cálculos numéricos baseados nos princípios fundamentais de balanço de massa e energia (1ª Lei da Termodinâmica) e permite simulações integradas de cargas térmicas e sistemas em regime transiente. As três partes principais da simulação - edifício, sistema e planta - são solucionadas simultaneamente, o que proporciona resultados precisos de temperatura e predição de conforto (SCHAEDLER, 2014). Para fornecer o perfil de consumo energético e temperatura de uma edificação durante todo o ano, o *EnergyPlus* integra uma série de módulos de cálculo para cada ambiente e superfície e, assim, realiza uma simulação completa do balanço de massa e energia (MORAES et al., 2018).

O programa *EnergyPlus* possui recursos que o posicionam a frente de vários programas de simulação de energia térmica/termoenergéticas, tais como os adiante relacionados:

- a) Cálculo da energia necessária para resfriar ou aquecer um ambiente;
- b) Condução de calor transiente através dos elementos construtivos;

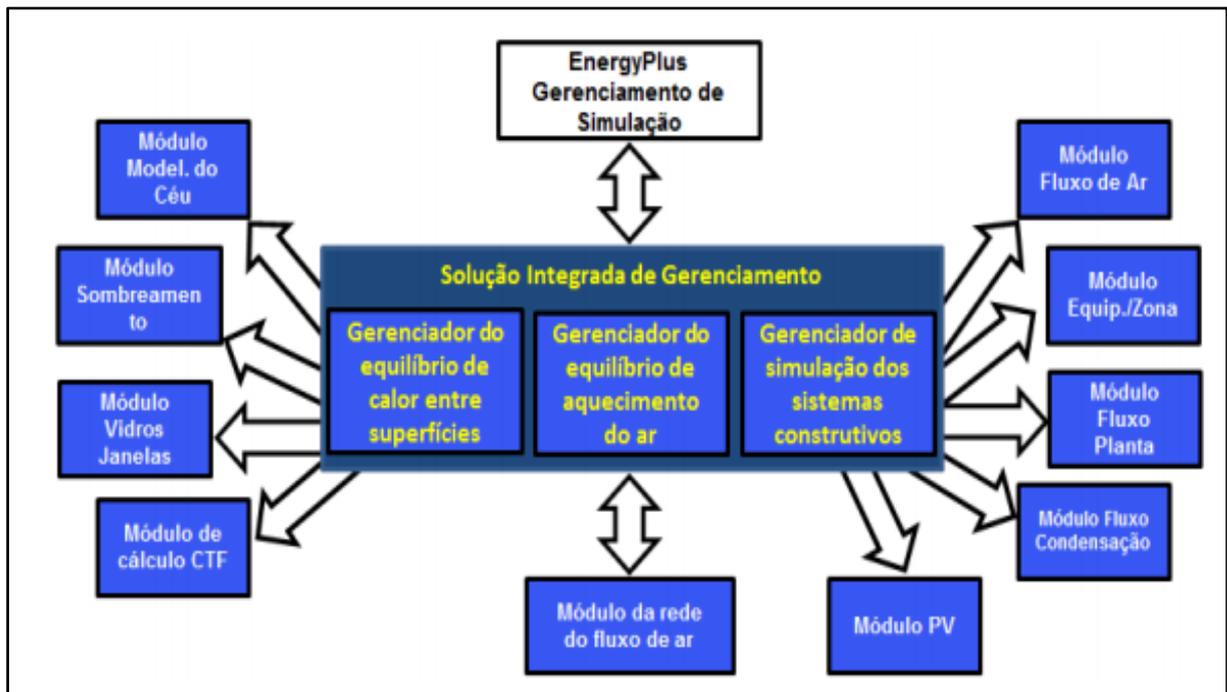
- c) Modelo de conforto térmico;
- d) Técnica de solução baseada no balanço de energia para as cargas térmicas prediais;
- e) Fornece dados de saída de cada componente inserido no programa, possibilitando analisar a influência de cada parâmetro individualmente de acordo com o intervalo definido pelo usuário;
- f) Analisa a influência dos parâmetros em diversos tipos de clima, uma vez que o programa possui uma biblioteca com um grande número de arquivos climáticos;
- g) Entrega uma solução integrada e simultânea, acoplando em sua *interface* sistemas primário e secundário do edifício, além da resposta que é entregue pela edificação ao sistema;
- h) Possibilidade de definição, pelo usuário, de intervalos de tempos que, em frações de hora, para interação entre o ambiente e as zonas térmicas, e intervalos de tempo variável nas interações ocorridas entre o sistema HVAC (que é automaticamente variável para garantir estabilidade na solução) e a zona térmica;
- i) Arquivos de entrada, de saída e climática que abrangem condições ambientais sub-horárias (até um quarto de hora) ou horárias, com a possibilidade de geração de relatórios-padrão que podem ser ajustados pelo usuário;
- j) Técnica de solução embasada no balanço de energia calculado para as cargas térmicas prediais, proporcionando, assim, um cálculo simultâneo dos efeitos convectivo e radiante na superfície exterior e interior, ao longo de cada intervalo de tempo;
- k) Condução de calor transitório a partir dos elementos do edifício, tais como pisos, tetos, paredes etc., aplicando funções de transferência;

- l) Modelo de conforto térmico baseado na umidade, temperatura do bulbo seco interno e atividade. Para cálculos mais complexos da radiação difusa sobre superfícies inclinadas, disponibiliza modelo de céu;
- m) Cálculo do balanço térmico das janelas, permitindo, assim, a realização de um controle eletrônico das persianas, bem como balanço térmico camada por camada. Esse tipo de cálculo permite identificar o comprimento da onda da energia solar que é absorvida pelos vidros da janela;
- n) Possui biblioteca bastante versátil, disponibilizando modelos comerciais variados de janela; controle dos efeitos da iluminação artificial e de luminárias; e controle da luz do dia, abrangendo, também, cálculos de iluminância interior;
- o) Sistemas configuráveis de condicionamento de ar que proporcionam ao usuário a facilidade de simular sistemas poucos modificados e sistemas típicos comuns sem a necessidade de recompilação do código fonte do programa;
- p) dentre outros (MORAES et al., 2018).

O programa *EnergyPlus* também integra módulos que atuam em conjunto para o cálculo da energia requerida para resfriamento ou aquecimento de um edifício fazendo uso de uma variedade de fontes e sistemas de energia. O seu mecanismo de atuação simula o edifício e os sistemas a ele associados em condições operacionais e ambientais diversas. A simulação tem a sua essência no modelo do edifício que faz uso de princípios fundamentais de balanço energético (MORAES et al., 2018).

Basicamente, são três módulos: o gerenciador de equilíbrio de calor entre superfícies, de aquecimento do ar e o de simulação dos sistemas construtivos, conforme demonstra a Figura 3.

Figura 3. Gerenciamento de Simulação por Módulos do *EnergyPlus*



Fonte: SCHAEGLER (2014).

O gerenciador de equilíbrio de calor entre superfícies e o de aquecimento do ar atua nos módulos de balanço térmico de superfícies e ar, como também como uma interface entre o balanço térmico. Enquanto que, o gerenciador de simulação dos sistemas construtivos encarrega-se da comunicação entre os cálculos de balanço térmico e vários módulos e “circuitos” do sistema de condicionamento de ar (SCHAEGLER, 2014).

2.5 Arquitetura Bioclimática

A arquitetura bioclimática se preocupa em aproveitar os recursos naturais da região, como, por exemplo, o sol, a quantidade de chuva e as correntes de ar, para promover iluminação, ventilação, umidificação, resfriamento e aquecimento, com o objetivo de proporcionar conforto térmico, acústico e visual (HARADA, 2018), sem o uso de recursos artificiais como sistemas de condicionamento de ar.

A sua concepção deve levar em conta a localização como ponto de referência, considerando a paisagem, o clima, fatores sociais, econômicos e políticos e os materiais construtivos disponíveis (HARADA, 2018).

2.6 Zoneamento Bioclimático

O conhecimento das condições climáticas é de extrema importância, pois representa os requisitos básicos para as simulações termoenergéticas de edificações.

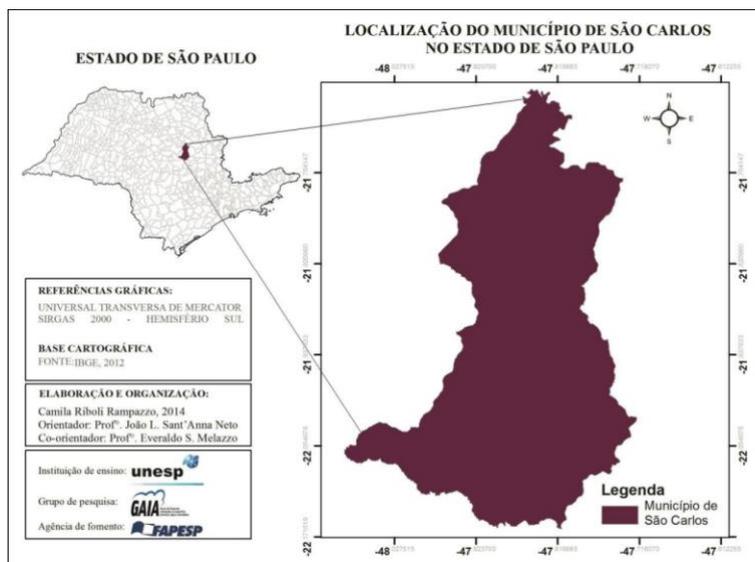
2.6.1 Clima de São Carlos

O município de São Carlos está localizado no centro do Estado de São Paulo, com uma extensão territorial de 1.137 km² e uma população estimada de 254.484 (IBGE, 2020). A cidade possui um clima ameno, apresentando uma temperatura média anual de 19°C com altitudes médias de 800 e 1000 metros. Fialho (2012, p. 85) destaca ser fundamental conhecer as características topográficas para que se compreenda o clima de uma cidade:

O conhecimento das feições topográficas do sítio é de extrema importância [...] porque, em pequenas distâncias dentro da própria estrutura interna das cidades, existem significativas diferenças de microclima, oriundas da morfologia da superfície e da presença ou não de vegetação. Tais fatores geram alterações do comportamento térmico que comprometem a qualidade de vida e o conforto térmico das cidades.

Em relação à cidade de São Carlos, apresenta-se na Figura 4 a base cartográfica da cidade para que seja possível entender seu clima e a influência no ambiente construído.

Figura 4. Localização do município de São Carlos



Fonte: Rampazzo e Sant'Anna Neto (2017).

Analisando as características climáticas da cidade, Rampazzo e Sant'Anna (2017, p. 1520) verificaram que “diferenças térmicas de até 5,5°C e correlação entre as áreas de ocorrência de bolsões de ar e resposta térmica dos alvos em distintos padrões geo-ambientais”.

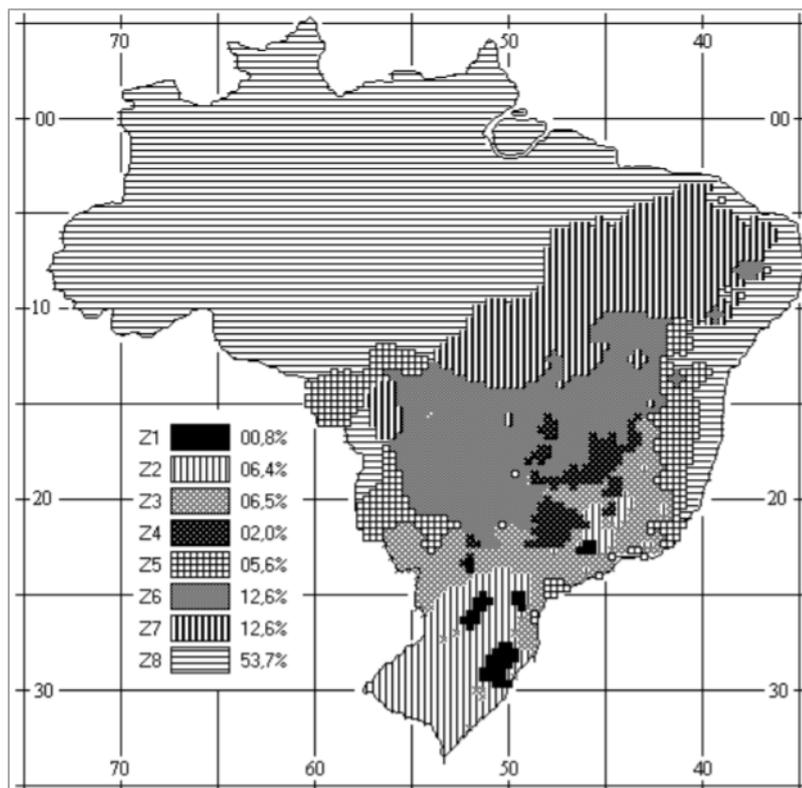
2.6.2 Zonas Bioclimáticas

A norma de desempenho térmico de edificações NBR-15220-3 (ABNT, 2005) subdividiu as condições climáticas brasileiras em 8 zonas bioclimáticas, de acordo com o clima e requisitos para o conforto humano (DESEMPENHO ..., 2016). A Figura 5 mostra o zoneamento bioclimático brasileiro proposto pelo Projeto de Norma – 135 (ABNT, 2004).

A importância do zoneamento bioclimático brasileiro para a arquitetura bioclimática são as estratégias bioclimáticas, orientações e diretrizes construtivas, que são condições para um projeto de arquitetura adaptada ao local de construção. Considerando a diversidade climática do Brasil, significa dizer que um prédio em Curitiba (Zona 1) deve usar uma linguagem arquitetônica diferente da cidade de São

Carlos (Zona 4), que também deve ser diferente da arquitetura de um prédio em Manaus (Zona 8). Quando, na realidade, há uma padronização no projeto arquitetônico que, para proporcionar conforto térmico, requerendo assim a utilização de condicionamento térmico ativo como, por exemplo, ar condicionado, aquecedores e umidificadores (HARADA, 2018).

Figura 5. Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: DESEMPENHO... (2016).

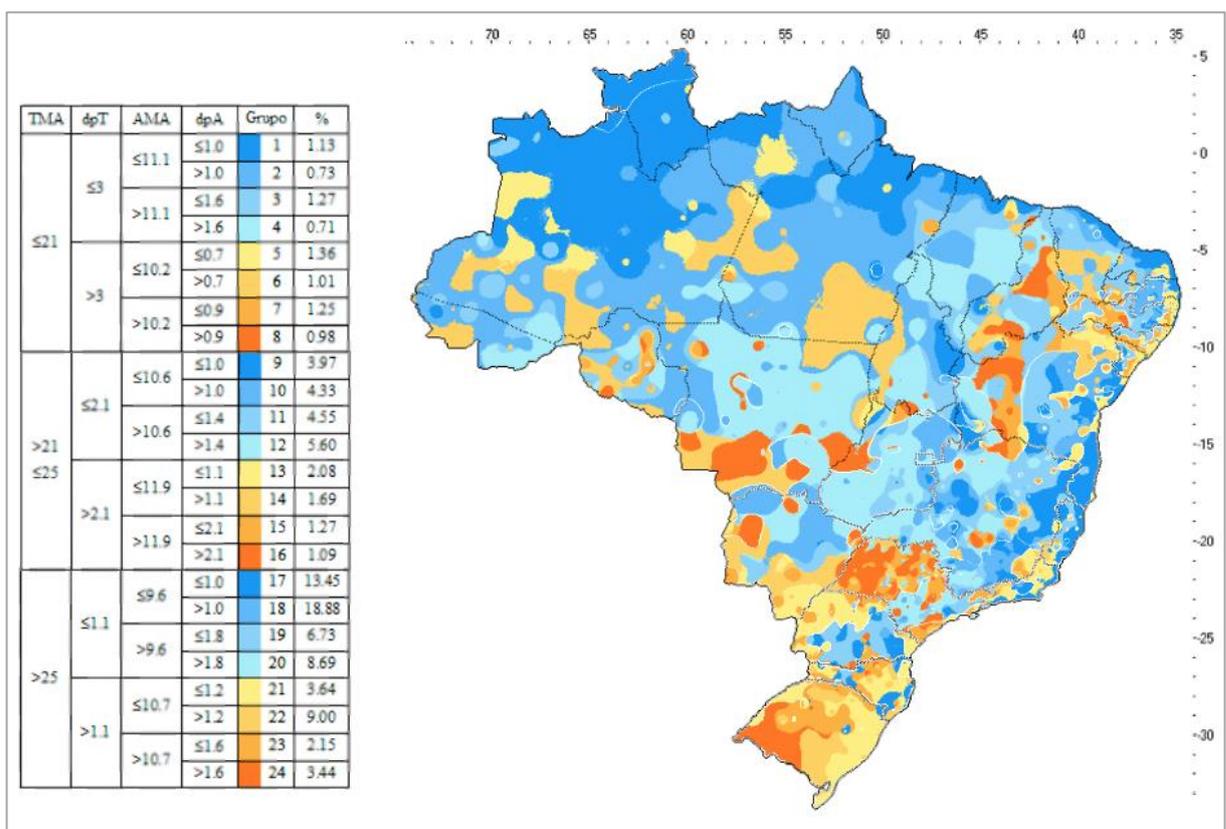
2.6.3 Grupos Climáticos

Grupos climáticos são definidos pelo agrupamento de cidades com realidades climáticas semelhantes quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações do ambiente construído. Os critérios estabelecidos referentes ao clima da cidade para a definição destes agrupamentos são: temperatura média anual (TMA), amplitude média anual (AMA), desvio padrão da média mensal das temperaturas médias diárias

(dpA), desvio padrão da amplitude média mensal (dpT) e a altitude das cidades (BRASIL, 2021a).

Essa classificação de climas foi proposta por Roriz (2014) e divide o território brasileiro em 24 Grupos Climáticos, como podem ser vistos na Figura 6. São Carlos pertence ao grupo 2.

Figura 6. Grupos climáticos brasileiros



Fonte: adaptado de RORIZ (2014).

2.6.4 Arquivo Climático

Existem diversas fontes de arquivos climáticos para serem utilizados nos programas de simulação computacional, porém, muitos deles apresentam dados somente para um país. No Brasil destacam-se: *Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)*, *Test Reference Year (TRY)*, *Typical Meteorological Year*

(TMY), *International Weather for Energy Calculations* (IWECC) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) com extensão *.epw* (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2015).

2.7 Estado da Arte no Uso de RTQ-C e INI-C

As primeiras aplicações do método do RTQ-C datam de sua implementação, realizada através da PORTARIA INMETRO nº 372/2010 (BRASIL, 2010) e tornam-se mais recorrentes a partir de 2014, quando a Instrução Normativa SLTI/MPOG nº 2/2014 regulamenta a avaliação de eficiência energética predial por este método para edifícios públicos federais em processo de construção ou de *retrofit* (BRASIL, 2014).

O método da INI-C, por sua vez, entra em vigor pela PORTARIA INMETRO nº 42, de fevereiro de 2021, e sua completa adoção está prevista para ocorrer nos próximos 84 meses a partir dessa data (BRASIL, 2021a). A regulamentação deste último, porém, já estava em discussão meses antes, fazendo com que sua ocorrência na literatura técnica e científica se tornasse mais frequente a partir do ano de 2019.

De lá para cá, podem ser observados alguns estudos de caso que comparam ambas as metodologias, além de uma inversão nas tendências de uso desses métodos, fazendo com que o emprego da INI-C se tornasse mais predominante, em detrimento da diminuição do uso do RTQ-C. A seguir é feito um panorama cronológico das aplicações desses métodos em pesquisas científicas no Brasil.

O método do RTQ-C foi também utilizado para classificar o prédio do Ministério Público do Trabalho, em Campo Mourão – PR, em termos de eficiência energética. O edifício obteve as seguintes avaliações em seus aspectos: Nível “A” para envoltória, Nível “D” para sistema de iluminação, Nível “B” para o sistema de condicionamento de ar, e nível “B” na classificação geral (SILVA, 2015).

Um estudo de caso também foi feito envolvendo edifícios pertencentes ao *campus* principal da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e prédios comerciais privados em Belo Horizonte, avaliados pelos métodos prescritivo e simplificado do RTQ-C. A comparação dos resultados obtidos indicou que as variações dos métodos não foram significativas em termos de alteração nos níveis de

eficiência energética. No que se refere ao tempo aplicado para avaliação dos edifícios, por sua vez, houve redução maior que 80% ao se aplicar os procedimentos simplificados (RIBEIRO, 2016).

A literatura também aponta que a obtenção da ENCE, cujo processo de avaliação é feito pelo método RTQ-C, deveria ser regulamentada e incentivada em todos os setores, não somente em edifícios públicos, dado seu potencial de redução nos impactos ambientais decorrentes de baixos índices de eficiência energética (GRÄFF et al., 2018).

Simulações paramétricas utilizando-se o método da INI-C e o programa *Energy Plus* foram realizadas para determinar as diretrizes construtivas de uma edificação do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), de modo a adequá-la para o recebimento da ENCE (QUEVEDO, 2019).

Também foi analisada a eficiência energética de um restaurante localizado em Mossoró – RN através de ambas as metodologias, método prescritivo do RTQ-C e método simplificado da INI-C, as quais classificaram o prédio no Nível “B”. Porém, observou-se que o método simplificado da INI-C se mostrou mais representativo nas análises por apresentar maior variedade de informações e mais parâmetros que proveram, além da classificação da eficiência energética, informações como carga térmica e consumo de energia da edificação (LIMA, 2020).

A eficiência energética de uma edificação de uso público da cidade de Joinville – SC foi avaliada considerando-se o critério parcial de envoltória utilizando-se os modelos do RTQ-C e da INI-C. Os autores destacaram que, embora o tempo de análise e a complexidade do modelo da INI-C fossem maiores, seus resultados são mais palpáveis, abrangentes e condizentes com a realidade, considerando-o um instrumento de melhoria para a obtenção da certificação (LEITE; HACKENBERG, 2020).

Esse mesmo estudo destaca como deficiência de ambos os métodos a impossibilidade de considerar a ventilação natural. Além disso, é citado que no método da INI-C a definição de parâmetros mínimos para desempenho dos materiais é muito branda, o que permitiu que a edificação classificada como Nível “C” pelo RTQ-C fosse classificada como Nível “B” pela INI-C (LEITE; HACKENBERG, 2020).

Outra comparação entre as aplicações dos modelos do RTQ-C e da INI-C, ainda fazendo-se uso dos seus métodos prescritivos, foi realizada em um estudo de caso envolvendo um prédio da UFMG. Concluiu-se que o sistema de envoltória foi o que apresentou maiores alterações entre os dois modelos, sendo que a INI-C permitiu a inclusão de parâmetros menos generalizados sobre a edificação analisada, além de trazer soluções para a maioria das limitações do modelo RTQ-C. Além disso, foi comparado o consumo previsto pela INI-C com o consumo real estimado do prédio, resultando em um valor 3,7 vezes maior. Isso indica, segundo a autora, eventual necessidade de aprimoramento dos dados de referência utilizados (RODRIGUES, 2020).

Almejou-se classificar o projeto de um Pavilhão do Exército Brasileiro, em Campo Grande – MS, pelo método da INI-C, o qual já obtinha a ENCE Nível A pelo RTQ-C. Após as análises, obteve-se ENCE Geral de Projeto Classe “A” pela INI-C e houve melhoramento da ENCE Parcial da Envoltória do Lado Leste do Pavilhão, de Nível “B” segundo o RTQ-C para Classe “A” segundo a INI-C. As outras ENCE parciais se mantiveram as mesmas por ambos os métodos. Em se tratando do critério “Aquecimento de Água”, o qual era analisado apenas para “bonificações” no RTQ-C, segundo a INI-C obteve-se ENCE Parcial Classe “D”. Concluiu-se que a metodologia simplificada da INI-C é mais completa que a prescritiva do RTQ-C (BARBOSA; PIMENTEL, 2020).

Foi proposto, sob a ótica apenas da INI-C, um *retrofit* energético para um edifício tombado pelo Patrimônio Histórico localizado na Região Sul do Brasil (CARVALHO, 2020), enquanto outro estudo analisou as condições de conforto térmico das salas de aulas de um edifício da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) antes e após as reformas. Para tal, foram feitas simulações computacionais com o programa *EnergyPlus*, além da classificação de ambas as situações segundo a metodologia do RTQ-C (MORAES, 2021).

Além disso, a eficiência energética de uma edificação do Exército Brasileiro foi avaliada segundo os modelos do RTQ-C e da INI-C, por meio do método hipotético-dedutivo. Pelo RTQ-C, a envoltória do edifício apresentou etiqueta “C”, enquanto pela INI-C ela obteve etiqueta “A”, com 17,11% de economia no consumo de energia (OLIVEIRA, 2021).

Por fim, almejou-se determinar o nível de eficiência energética de um edifício da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) sob a ótica da INI-C utilizando duas plataformas BIM (*Revit* e *Archicad*), as quais não permitiram a aplicação integral do método, não sendo recomendadas, portanto, para essa finalidade (PEREIRA; ANDRADE, 2021).

2.8 Certificados Internacionais

Neste item são apresentados alguns dos certificados de eficiência energética de outros países, assim como os internacionais.

2.8.1 HQE – França

O *Haute Qualité Environnementale* (HQE) é a certificação francesa concedida à construção e gestão de edifícios, bem como a projetos de planejamento urbano. Ele promove as melhores práticas, qualidade sustentável em projetos de construção e oferece orientação especializada durante toda a vida útil do projeto. Também pode certificar edificações internacionalmente. (HQE, 2022)

2.8.2 ENERGY STAR– Estados Unidos

Edifícios com certificação ENERGY STAR economizam energia, economizam dinheiro e ajudam a proteger o meio ambiente ao gerar menos emissões de gases de efeito estufa do que edifícios típicos. Para ser certificado como ENERGY STAR, um edifício deve atender aos rigorosos padrões de desempenho energético (ENERGY STAR, 2022).

A certificação é dada anualmente, portanto, um edifício deve manter seu alto desempenho para ser certificado ano a ano. As informações enviadas no pedido de certificação devem ser verificadas por um engenheiro ou arquiteto licenciado para ser elegível para aprovação (ENERGY STAR, 2022).

2.8.3 EPCs – União Europeia

Os Energy performance certificates (EPCs) são os certificados de desempenho energético, que fornecem informações aos consumidores sobre os edifícios que pretendem comprar ou alugar. Eles incluem uma classificação de desempenho energético e recomendações para melhorias econômicas (European Commission, 2022).

Os certificados devem ser incluídos em todos os anúncios em mídia comercial quando um edifício é colocado para venda ou aluguel. Eles também devem ser mostrados a possíveis inquilinos ou compradores quando um edifício estiver sendo construído, vendido ou alugado (European Commission, 2022).

Os EPCs também devem divulgar formas rentáveis e, quando apropriado, instrumentos financeiros disponíveis para melhorar o desempenho energético do edifício aos proprietários ou inquilinos dos edifícios (European Commission, 2022).

Capítulo 3. Caracterização da Edificação

A metodologia empregada neste trabalho foi dividida em 3 etapas, a primeira etapa foi a coleta de dados e caracterização do edifício, caracterizando-se a edificação alvo do estudo, através de visitas ao local, uma auditoria energética dos sistemas de iluminação e dos equipamentos e uma análise dos projetos executivos e plantas existentes. Esses dados foram obtidos através de buscas na Secretaria Geral de Gestão do Espaço Físico da UFSCar (SEGEF, 2022).

Avaliou-se neste trabalho o edifício 161/UFSCar no campus de São Carlos. A edificação apresenta funções administrativas e salas de professores dos departamentos de Elétrica e Mecânica, possui dois pavimentos, com uma área de projeção da cobertura (A_{pcob}) de 265,7 m² e composto de 38 ambientes: dezoito salas de professores, duas secretarias, uma sala de reuniões, uma sala da coordenação, duas copas, oito banheiros, um depósito, duas circulações e duas sacadas.

3.1 Envoltória

A envoltória trata dos planos que separam o ambiente interno do ambiente externo. São avaliadas diversas características físicas e termofísicas da envoltória, como forma, percentual de aberturas, transmitância térmica das paredes externas, entre outras que serão apresentadas a seguir.

3.1.1 Dados Geométricos

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os principais dados geométricos extraídos da edificação e os dados utilizados em seus cálculos. Especial atenção é dada para a Tabela 2 no item com ID de projeto SE (sem especificação). Como apresentado na Figura 7, o conjunto de janela ao norte na região de escada não está presente no projeto, porém foi considerada. Nos cálculos de ângulos de sombreamento horizontal

e vertical, os brises da fachada oeste não foram utilizados, enquanto se adotou toda a área dos caixilhos como envidraçada.

Tabela 1. Dados geométricos: volume, área de projeção da cobertura, área total construída e área de projeção da edificação

Nº de Pav.:	2		A_{tot}:	531,4	m ²		
Volume:	1966,18	m ³	A_{pe}:	265,7	m ²		
A_{pcob}:	265,7	m ²					
Pav.	Área de Projeção do Pavimento (m²)		Área de piso do pavimento (m²)		Altura (m)	Volume (m³)	
1	265,7		265,7		3,7	983,09	
2	265,7		265,7		3,7	983,09	

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Tabela 2. Dados geométricos: Área total de fachada, área total da envoltória, área da fachada oeste e área da cobertura

Área de Fachadas total:	632,11	m ²	AF Oeste:	129,65	m ²
Área da envoltória (A_{env}):	897,81	m ²	A_{cob}:	265,7	m ²
ID da fachada	Orientação	Perím. (m)	Altura (m)	Área da Fachada (m²)	
Fl.1(dois andares)	Leste	9,6	7,4	71,04	
Fs.1(dois andares) - sala de reunião	Sul	7,61	7,4	56,31	
Fl.2(dois andares) banh	Leste	1,35	7,4	9,99	
Fs.2 (dois andares) banh-copa	Sul	10,15	7,4	75,11	
Fo.1(dois andares) banh	Oeste	1,35	7,4	9,99	
Fs.3(dois andares) sala prof	Sul	7,61	7,4	56,31	
Fo.2 (dois andares)	Oeste	9,6	7,4	71,04	
Fn.1(dois andares) sala prof	Norte	7,58	7,4	56,09	
Fl.3(dois andares) entr	Leste	2,47	7,4	18,28	
Fn.2(dois andares) entr	Norte	2,08	7,4	15,39	
Fo.3(dois andares) ent-escad	Oeste	2,47	7,4	30,34	
Fn.3(dois andares) escad	Norte	5,69	7,4	42,11	
Fl.4 (dois andares) escad	Leste	4,1	7,4	30,34	
Fn.4(dois andares) entr	Norte	2,08	7,4	15,39	
Fo.4(dois andares) ent-secr	Oeste	4,1	7,4	30,34	

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Tabela 3. Dados geométricos para avaliação de área de aberturas, porcentagem de aberturas geral e na fachada oeste e, ângulos de sombreamento horizontal e vertical

AF total	632,11 m ²	AF total	632,11 m ²	Total	169,4 m ²	PAFT	26,79 %	FS das Aberturas:	0,87	Ângulos:	Utilizado						
AF oeste	129,65 m ²	AF oeste	129,65 m ²	Oeste	6,3 m ²	PAFO	4,86 %			AVS	24,38						
Apcob	265,7 m ²	Apcob	265,7 m ²	Zenital	0 m ²	PAZ	-			AHS	13,87						
PAV.	ID Abert.	ID Proj.	PAV.	ID Abert.	ID Proj.	Orient.	Qtde	"Larg.	Alt. vidro (m)	Área Ab (m ²)	Área total aberturas (m ²)	Tipo do vidro	FS	AVS vidro (m)	AHS 1 (°)	AHS 2 (°)	AHS Média (°)
1L.1	PA02	PA02	1L.1	PA02	PA02	Leste	1	1,3	2,7	3,51	3,51	Vidro Liso	0,87	0	0	0	0
2L.2	J05	J05	2L.2	J05	J05	Leste	1	1,3	2,15	2,8	2,8	Vidro Liso 6mm	0,87	0	0	0	0
1O.1	PA02	PA02	1O.1	PA02	PA02	Oeste	1	1,3	2,7	3,51	3,51	Vidro Liso	0,87	0	0	0	0
2O.2	J05	J05	2O.2	J05	J05	Oeste	1	1,3	2,15	2,8	2,8	Vidro Liso 6mm	0,87	0	0	0	0
1N.1	J01	J01	1N.1	J01	J01	Norte	2	7,23	1,9	13,74	27,47	Vidro Liso 4mm	0,87	16	10	13	11,5
1N.2	PA01	PA01	1N.2	PA01	PA01	Norte	2	1,7	2,7	4,59	9,18	Vidro Liso	0,87	30	66	55	60,5
2N.3	J01	J01	2N.3	J01	J01	Norte	2	7,23	1,9	13,74	27,47	Vidro Liso 4mm	0,87	38	10	13	11,5
2N.4	PA01	PA01	2N.4	PA01	PA01	Norte	2	1,7	2,71	4,61	9,21	Vidro Liso	0,87	50	66	55	60,5
1N.5	SE	SE	1N.5	SE	SE	Norte	1	5	0,8	4	4	Sem	0,87	0	0	0	0
1S.1	J01	J01	1S.1	J01	J01	Sul	2	7,23	1,9	13,74	27,47	Vidro Liso 4mm	0,87	14	11	11	11
1S.2	J02	J02	1S.2	J02	J02	Sul	2	3,38	1,3	4,39	8,79	Vidro Liso 4mm	0,87	15	0	0	0
1S.3	J03	J03	1S.3	J03	J03	Sul	1	2,65	1,3	3,45	3,45	Vidro Liso 4mm	0,87	15	0	0	0
1S.4	J01	J01	1S.4	J01	J01	Sul	2	7,23	1,9	13,74	27,47	Vidro Liso 4mm	0,87	31	11	11	11
1S.5	J02	J02	1S.5	J02	J02	Sul	2	3,38	1,3	4,39	8,79	Vidro Liso 4mm	0,87	40	0	0	0
1S.6	J03	J03	1S.6	J03	J03	Sul	1	2,65	1,3	3,45	3,45	Vidro Liso 4mm	0,87	40	0	0	0

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Figura 7. Vista externa da fachada norte do edifício 161 da UFSCar



Fonte: Acervo do autor (2021).

3.1.2 Transmitância Térmica

A transmitância térmica é a propriedade que mede a resistência do calor de atravessar a envoltória e é um dos pré-requisitos para os níveis de eficiência. Seus valores limites para cada elemento da envoltória variam conforme a zona bioclimática que se encontra a edificação. Para a cidade de São Carlos-SP, localizada na zona 4, os limites da transmitância térmica para cobertura e paredes mínimas para cada eficiência para o RTQ-C são apresentados na Tabela 4, a INI-C não possui pré-requisitos referentes à transmitância.

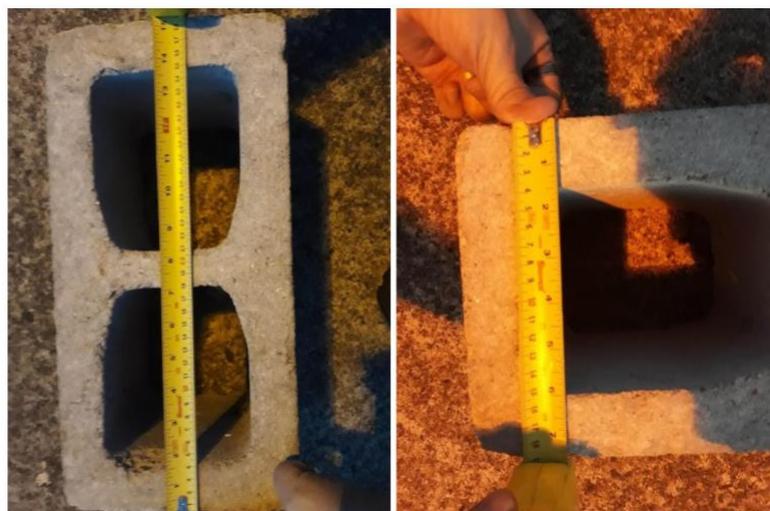
Tabela 4. Limite mínimo da Transmitância Térmica para cada nível de eficiência para Zona Bioclimática 4

Parâmetro	Sigla	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Transmitância da cobertura em área condicionada [W/(m ² K)]	U _{cob cond}	1	1,5	2	2
Transmitância da cobertura em área não condicionada [W/(m ² K)]	U _{cob n cond}	2	2	2	2
Transmitância paredes [W/(m ² K)]	U _{par}	3,7	3,7	3,7	3,7

Fonte: adaptado de BRASIL (2014).

Para as paredes externas são fornecidas as seguintes características: Bloco de concreto 19x19x39 cm com assentamento com argamassa de cimento, cal hidratada e areia média, com revestimento externo com chapisco de 0,5cm e emboço paulista com argamassa de 2cm perfazendo 2,5cm e com revestimento interno de gesso de 2,5cm. São também fornecidos revestimentos do tipo azulejos e revestimentos cerâmicos. A Figura 8 apresenta as medidas de um bloco de concreto similar ao utilizado que foi obtido em outra construção na UFSCar.

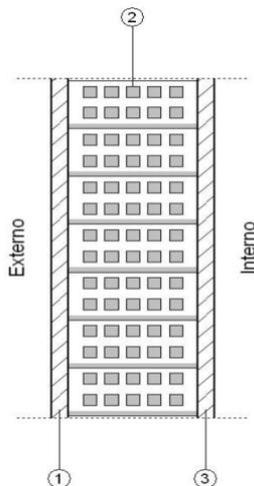
Figura 8. Foto do bloco de concreto 19x19x39cm. O bloco apresenta 4 cm de concreto nas bordas e 3cm de espessura no centro



Fonte: Acervo do autor (2021).

Na Figura 9 é fornecido um esquema da composição da parede externa que foi suposta ser formada por 2,5cm de reboco no lado interno e externo mais bloco de concreto com 19cm perfazendo uma espessura total da parede de 24 cm.

Figura 9. Esquema da composição da camada externa sendo 1) Reboco de 2,5cm; 2) Bloco de Concreto 19 cm e 3) Reboco de 2,5cm



Fonte: ABNT NBR 15220:2005.

Para a composição da cobertura, são descritos o uso de laje pré-fabricadas do tipo L12, L16 e L20, com capa de concreto de 4 cm de espessura e lajota cerâmica, mais câmara de ar ventilada e telhas metálicas zipada, com 0,5mm e de cor branca na face externa, e inclinação de 5%.

Percebe-se do desenho *dwg* em corte, que existe uma composição de lajes do tipo LJ13 na área de escadas do térreo com primeiro andar e a existência de uma casa de reservatório acima da área do corredor do primeiro andar. Devido ao fato que a área abaixo da escada e do corredor não ser uma área de permanência prolongada, supõe-se que toda a cobertura possui laje do tipo LJ20 como apresentada na Figura 10.

Figura 10. Esquema dos elementos da cobertura sendo 1) Laje pré-fabricada do L20, 2) Câmara de ar e 3) telha metálica de 0,5mm zipada



Fonte: SEGEF (2021).

Figura 11. Cálculo da transmitância térmica da cobertura suposto para laje pré-fabricada do tipo L20



Fonte: Brasil (2021).

Na falta de dados do tipo da lajota cerâmica utilizou-se do banco de dados do site do PROJETEEE (PROJETEEE, 2021). Nesta configuração adotou-se os seguintes elementos: 1) Telha metálica, 2) Câmara de ar com espessura superior a 5cm, 3) laje pré-moldada com lajota com 12cm e 4) camada de concreto de 8 cm perfazendo espessura da lajota de 20cm. A Figura 11 proporciona dados da transmitância térmica suposta da laje pré-fabricada do tipo L20 que é de 1,7 W/m²K ($U_{cob n cond}$).

3.1.3 Absortância Térmica

A absortância é o percentual, medido de 0 a 1 ou de 0 a 100%, da possibilidade da parede externa e da cobertura em absorver a radiação solar. Valores próximos de 1 aproximam-se de um corpo negro, enquanto as cores claras tendem para valores próximos de zero (DORNELLES, 2008). A Tabela 5 fornece os limites de valores para a absortância para paredes externas e coberturas para atendimento dos pré-requisitos do RTQ-C devido a absortância, a INI-C não possui pré-requisitos para a absortância.

Tabela 5. Limite dos valores de absortância para cada nível de eficiência energética, para a Zona Bioclimática 4

Parâmetro	Sigla	Nível A	Nível B
Absortância da envoltória	α_{par}	0,5	-
Absortância das coberturas	α_{cob}	0,5	0,5

Fonte: adaptado de BRASIL (2014).

Na falta de dados do tipo de pinturas e acabamentos utilizados nas paredes externas e/ou de laudos técnicos descrevendo os valores de suas absortâncias, utilizou-se de procedimento proposto por Dornelles (2008) com auxílio de espectrômetro ALTA II. A Figura 7 proporciona uma vista externa da face norte já construído para análise de suas cores externas, que são compostas basicamente por uma pintura da cor bege claro ocupando a maior parte das paredes, de azulejo cerâmico cor marrom claro na face norte e de concreto aparente próximo a cobertura e prolongamento das paredes.

Deve-se ressaltar que existe uma inconsistência entre projeto e edifício construído. No projeto, a parede norte da escadaria é composta de revestimento cerâmico de cor vermelha e de pintura de cor bege clara. No edifício construído, como apresentado na Figura 7, a parede da escadaria é composta apenas de revestimento cerâmico e há uma janela ocupando toda a largura na parte superior. Nestas análises foram consideradas as modificações do edifício real e as absortâncias das paredes claras e do revestimento cerâmico.

A Tabela 6 apresenta os valores da absorvência dos revestimentos externos do edifício, área de cada revestimento e a absorvência final. No total, foram utilizadas oito medidas para obtenção da absorvência média das paredes de cor bege claro, sendo empregados duas medidas para cada orientação do edifício. Para o revestimento cerâmico foram empregadas duas medidas para obtenção de sua absorvência média. Posteriormente, a absorvência média das paredes é calculada pela média ponderada das áreas das paredes expostas.

Tabela 6. Absorvência das fachadas

Revestimento/ Fachada	Área (m ²)	α_{par}	α_{par} final
Pintura Bege – SUVINIL A103	432,7	0,133	0,16
Revestimento cerâmico marrom	38,1	0,478	

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Para a cobertura, é informado no memorial descritivo, que as telhas metálicas devem ser pré-pintadas na face superior na cor branca. Segundo Anexo da Portaria INMETRO N°50/2013, em seu item b, a cor branca possui uma absorvência de 0,36 (Branco gelo no acrílico semibrilho).

3.1.4 Abertura Zenital

As aberturas zenitais da edificação devem atender ao fator solar mínimo do vidro (FS) e da porcentagem da abertura zenital (PAZ). Os regulamentos permitem um determinado nível de PAZ conforme o fator solar do material transparente, porém no edifício 161 devido a inexistência de PAZ, este pré-requisito não se aplica.

3.2 Sistema de Iluminação

Para o sistema de iluminação é avaliada a densidade de potência instalada de iluminação (DPI) e os seus pré-requisitos, tais como: desligamento automático para o

sistema de iluminação, uso adequado da iluminação natural e divisão dos circuitos de acionamentos.

A avaliação do nível de eficiência energética do sistema de iluminação abrange apenas as parcelas de iluminação no interior do edifício e abaixo da cobertura. Para este trabalho adotou-se o método de atividades, o qual estabelece valores limitantes para cada ambiente separadamente.

Os equipamentos de iluminação utilizados nesta avaliação são os apresentados nos projetos de iluminação e do documento memorial. O nome do conjunto e suas potências são detalhados na Tabela 7.

Tabela 7. Equipamentos do sistema de iluminação

Nome do conjunto/Características	Potência(W)
Luminária Fluorescente de sobrepor 2x32W P=65W	65
Luminária Fluorescente de sobrepor 2x16W P=33W	33
Luminária 2x26W	52

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Na falta destes dados ou na dificuldade de interpretação do projeto elétrico, adotou-se uma potência de iluminação instalada nestes ambientes variando-se a equação (4.30) do manual RTQ-C (BRASIL, 2014), conforme (1).

$$DPI_{\text{ambiente sem projeto}} = DPI_D + (DPI_D - DPI_C) / 2 \quad (1)$$

Sendo DPI a densidade de potência instalada, os subscritos D e C os níveis mínimos para ambientes com etiquetas “D” e “C” respectivamente. Observa-se que, o uso da equação acima, automaticamente classifica a área como nível “E”. Na Tabela 8 são apresentadas as identificações dos ambientes, sua função atividade e a potência instalada.

Tabela 8. Definição dos ambientes, suas funções atividades e potência instalada

ID do Ambiente	Função Atividade	Potência Instalada (W)
SD01	Escritório	130
SD02	Escritório	130
SD03	Escritório	130
SD04	Escritório	130
SD05	Escritório	130
SD06	Escritório	130
CIRCULAÇÃO T	Circulação	455
SANIT. MASC.	Banheiros	65
SANIT. MASC. ESP.	Banheiros	33
COPA	Cozinhas	65
SANIT. FEMIN.	Banheiros	65
SANIT. FEMIN. ESP.	Banheiros	33
SECRETARIA 1	Escritório	260
SECRETARIA 2	Escritório	130
REUNIÃO	Escritório	260
COORDENAÇÃO	Escritório	130
DML	Depósitos	106
ESCADAS	Circulação	156
SD07	Escritório	130
SD08	Escritório	130
SD09	Escritório	130
SD10	Escritório	130
SD11	Escritório	130
SD12	Escritório	130
CIRCULAÇÃO 1	Circulação	455
SANIT. MASC.	Banheiros	65
SANIT. MASC. ESP.	Banheiros	33
COPA	Cozinhas	65
SANIT. FEMIN.	Banheiros	65
SANIT. FEMIN. ESP.	Banheiros	33
SD13	Escritório	130
SD14	Escritório	130
SD15	Escritório	130
SD16	Escritório	130
SD17	Escritório	130
SD18	Escritório	130
SACADA 1	Circulação	60
SACADA 2	Circulação	60

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

3.3 Pessoas e Equipamentos

Adotou-se, também, como cargas térmicas internas as pessoas e equipamentos que ocupam os ambientes, além da iluminação já discutida anteriormente. Para pessoas, tomou-se uma pessoa por ambiente de permanência prolongada, com exceção da secretária, que foi adotado 3 pessoas, com uma taxa metabólica de 130W/pessoa, que representa uma atividade leve de escritório (ABNT, 2008). A carga térmica devido aos equipamentos, adotou-se um gasto médio de 75W/pessoa, representando a média da carga recomendada para um computador de mesa (ABNT, 2008).

3.4 Infiltração do Ar

Por não estar disponível dados precisos dos fatores de perda de carga das portas e janelas, adotou-se na simulação que a taxa de infiltração de ar é 1 troca de ar por hora. Para os ambientes de pouca permanência, como copa, banheiros, corredores e escadas, considerou-se também uma taxa de renovação de ar de 1 troca por hora. Para o forro, devido a possibilidade de ventilação constante, adotou-se um valor de 8 trocas de ar por hora.

3.5 Sistema de Condicionamento do Ar

O sistema de Condicionamento de ar avalia a eficiência energética dos equipamentos de climatização e o atendimento de diversos pré-requisitos como isolamento correto dos dutos de refrigeração, as normas e legislação vigentes, possua memorial de cálculo da carga térmica e um projeto técnico do sistema.

Em nenhum dos documentos apresentados foram encontrados o projeto do sistema de ar condicionado ou suas especificações. Porém, para alcançar o objetivo deste trabalho será considerado que todos os ambientes de permanência prolongada possuem um equipamento de condicionamento de ar com velocidade fixa etiquetado

com ENCE nível “A” (COP de resfriamento igual a 3,20 W/W) e atendendo os pré-requisitos de isolamento de dutos e de aquecimento.

3.6 Diretrizes de Implantação de Edificações

A UFSCar possui diretrizes de implantação de edificações, que são definições de como se constrói novos edifícios, alguns exemplos de diretrizes são: planos maiores voltados para norte e sul; ventilação no forro; ventilação entre paredes; corredores na fachada norte; uso de esquadrias de alumínio. (SEGEF, 2022)

Capítulo 4. Modelagem pelo método do RTQ-C

Após a caracterização, iniciou-se a segunda etapa. Para se determinar o nível de eficiência energética da edificação real pelo método de simulação, deve-se criar 5 modelos do edifício, sendo um representando o edifício real e os outros 4 sendo modelos de referência para cada nível de eficiência, do “A” ao “D”, não sendo necessário a criação do nível “E”.

Então deve-se comparar o consumo anual de energia elétrica do modelo real com os modelos de referência. Para se atingir um nível o consumo da edificação deve ser menor ou igual ao consumo do edifício de referência, por exemplo: para que a edificação seja classificada como nível B, o consumo da simulação do modelo real deve ser menor ou igual ao resultado da simulação do modelo de referência “B” e deve ser maior do que o consumo do modelo de referência “A”.

Como citado anteriormente, não há a necessidade de se criar um modelo de nível “E”, uma vez que, caso o modelo real consuma mais que o modelo de nível “D”, ele se enquadra como um edifício nível “E” automaticamente.

4.1 Modelagem da Edificação Real

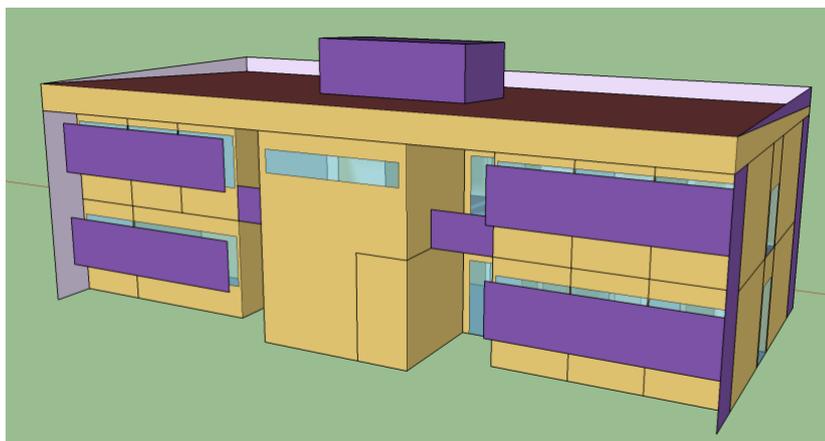
Foi feita a modelagem do edifício seguindo toda a caracterização mostrada a cima, utilizando os programas *SketchUp* 2015 (SKETCHUP, 2021) e *EnergyPlus* 8.4 (ENERGYPLUS, 2021).

4.1.1 Envoltória

As Figuras 12 e 13 mostram as vistas da edificação simulada. As propriedades necessárias dos materiais construtivos para a simulação no programa *EnergyPlus* são a condutividade térmica (λ), a densidade (ρ), o calor específico (C_p), a espessura da

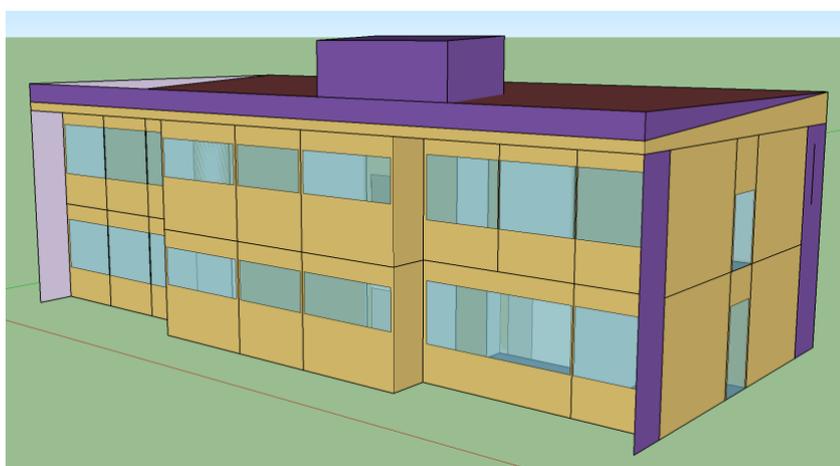
camada do material (l), a absorvência solar (α) e, para as camadas de ar, a resistência térmica (R).

Figura 12. Vista das fachadas Norte e Oeste da edificação no *SketchUp*



Fonte: Adaptado de SEGEF (2022).

Figura 13. Vista das fachadas Sul e Leste da edificação no *SketchUp*



Fonte: Adaptado de SEGEF (2022).

Os materiais presentes na edificação, identificados na caracterização, tiveram as suas propriedades estimadas através da ABNT NBR 15220-2:2005, mostradas na Tabela 9. A transmitância total de cada estruturas é mostrada na Tabela 10.

Tabela 9. Elementos construtivos e propriedades dos materiais presentes em cada camada

Estrutura	Camada/ Materiais	Propriedades					
		ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	Cp (J/kgK)	l (m)	α	R (m ² K/W)
Parede externa de bloco concreto 14x19x39 c/ gesso interno e argamassa externa	Argamassa	2000	1,15	1000	0,025	0,133	
	Concreto	2400	1,75	1000	0,030	0,9	
	Camada de ar						0,127
	Concreto	2400	1,75	1000	0,030	0,9	
	Gesso	900	0,35	870	0,020	0,9	
Parede externa de bloco concreto 14x19x39 c/ gesso interno e azulejo externo	Argamassa com azulejo	2000	1,15	1000	0,025	0,478	
	Concreto	2400	1,75	1000	0,030	0,9	
	Camada de ar						0,127
	Concreto	2400	1,75	1000	0,030	0,9	
	Gesso	900	0,35	870	0,020	0,9	
Parede interna de bloco concreto 14x19x39 c/ gesso interno e externo	Gesso	900	0,35	870	0,020	0,9	
	Concreto	2400	1,75	1000	0,030	0,9	
	Camada de ar						0,127
	Concreto	2400	1,75	1000	0,030	0,9	
	Gesso	900	0,35	870	0,020	0,9	
Laje pré-moldada com tavela cerâmica	Concreto	2200	1,75	1000	0,040	0,9	
	Cerâmica laje tavela 24x7x20	2000	1,05	920	0,012	0,9	
	Camada de ar						0,081
	Cerâmica laje tavela 24x7x20	2000	1,05	920	0,012	0,9	
	Argamassa	2000	1,15	1000	0,010	0,9	
Telha metálica	Telha metálica	460	0,55	7800	0,0005	0,36	

Fonte: ABNT NBR 15220-2:2005.

Tabela 10. Elementos construtivos e transmitância térmica

Estrutura	Transmitância (W/m ² K)
Parede externa com argamassa externa	$U_{par} = 2,62$
Parede externa com azulejo externo	$U_{par} = 2,62$
Cobertura	$U_{cob} = 1,7$

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

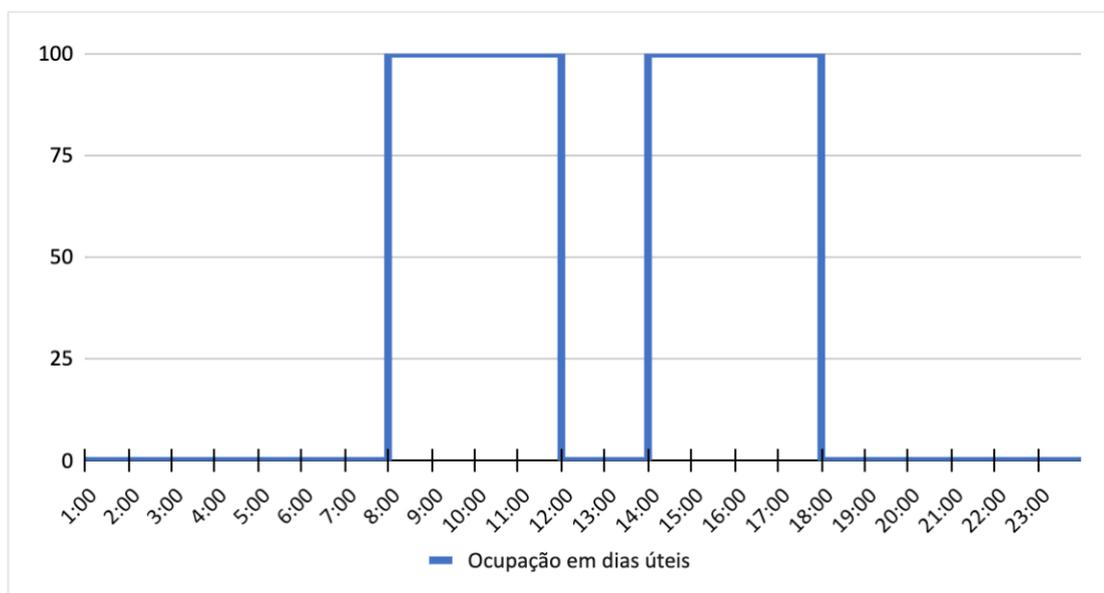
O vidro utilizado em todas as janelas do modelo real é de 4mm e as portas de vidro são de 6mm, todos com Fator Solar igual a 0,75.

4.1.2 Cargas Internas

No *EnergyPlus*, deve-se inserir os valores das frações radiante e visível referentes aos sistemas de iluminação. Adotou-se neste trabalho os valores padrões de 72% para a fração radiante e de 18% para a visível (MELO; WESTPHAL; MATOS, 2009). A seguir, nas Figuras 14 e 15, estão os períodos de ocupação dos ambientes de longa permanência e de permanência esporádica (banheiros comuns e copas), respectivamente. Para os banheiros comuns e as copas, adotou-se o uso por uma pessoa por meia hora em intervalo de aproximadamente duas horas.

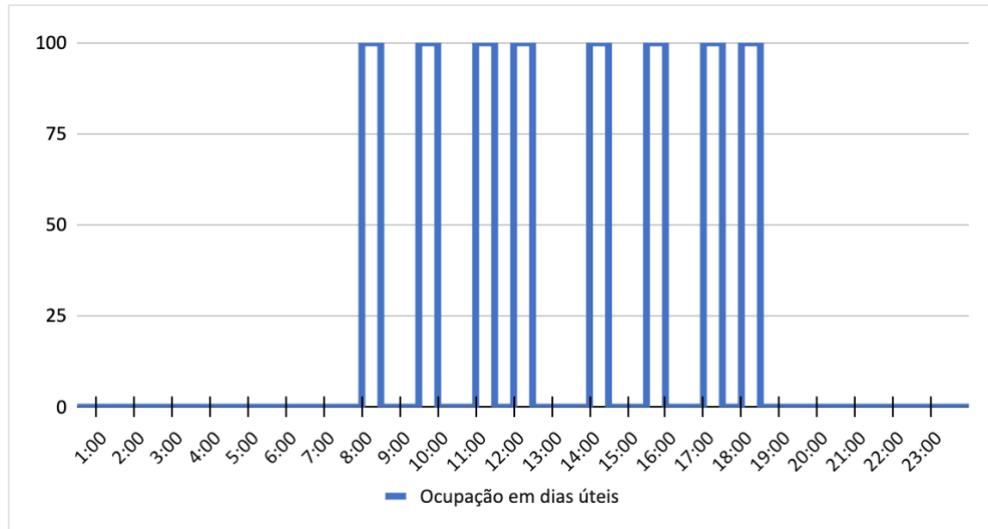
Foi considerado que os equipamentos, a iluminação e os condicionadores de ar, para os ambientes que os possuem, só ficam ligados nos períodos mencionados acima. As cargas dos equipamentos, da iluminação e dos ocupantes, assim como o número de ocupantes por zona térmica, foram consideradas as estabelecidas nas seções 3.2 e 3.3.

Figura 14. Schedule dos ambientes de longa permanência



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Figura 15. Schedule dos ambientes de permanência esporádica.



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Todos os condicionadores de ar foram considerados independentes e apresentando um coeficiente de performance (COP) igual a 3,20 W/W equivalente ao nível A de Eficiência Energética. Foi estabelecido um termostato de 18°C para aquecimento e de 24°C para resfriamento. Utilizou-se do módulo “HVACTemplate:Zone:IdelLoadsAirSystem” do *EnergyPlus* para simular o sistema de condicionamento do ar, esse módulo estipula a potência térmica total do sistema para manter os ambientes dentro do estabelecido pelo termostato. Ao dividir esta potência pelo COP se obtém o consumo energético (WEBARCONDICIONADO, 2015).

4.2 Modelagens das Edificações de Referência pelo método do RTQ-C

Para desenvolver os quatro modelos de referência, seguiu-se as considerações quanto à geometria, envoltória, sistemas de iluminação e de condicionamento de ar do RTQ-C. Os níveis de eficiência energética estarão sempre referenciados com a sua respectiva cor, ou seja, nível “A” em verde escuro, nível “B” em verde claro, nível “C” em amarelo e nível “D” em laranja.

4.2.1 Envoltória

A Geometria dos modelos de referência deve permanecer semelhante ao modelo real. A envoltória, no entanto, deve atingir o nível de eficiência pretendido para cada caso. Dessa forma, o RTQ-C propõe o cálculo do Índice de Consumo da envoltória (IC_{env}) da edificação real e dos modelos de referência. O IC_{env} obtido é comparado a uma escala numérica que descreve a classificação do desempenho energético, que varia de “A” a “E”. Quanto menor o indicador obtido, mais eficiente energeticamente será a envoltória da edificação.

A Tabela 11 apresenta os principais dados geométricos extraídos do edifício para cálculo do IC_{env} .

Tabela 11. Principais dados geométricos da edificação

Área total construída (m ²)	A_{tot}	531,40
Área de projeção da cobertura (m ²)	A_{pcob}	265,70
Área de projeção da edificação(m ²)	A_{pe}	265,70
Volume total da edificação (m ³)	V_{tot}	1966,18
Área da envoltória (m ²)	A_{env}	897,81
Fator solar (adm.)	FS	0,87
Porcentagem de abertura nas fachadas	PAF_T	26,79
Porcentagem de aberturas nas fachadas oeste	PAF_{TO}	4,86
Ângulo vertical de sombreamento (graus)	AVS	24,38
Ângulo horizontal de sombreamento (graus)	AHS	13,87

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Esses princípios foram inseridos no webprescritivo (LabEEE, 2021) para avaliação do nível da envoltória sem avaliação dos pré-requisitos e, então, feitas iterações substituindo o valor do Percentual de Abertura na Fachada total (PAF_T), e considerando os ângulos de sombreamento igual a 0,0 como pede o RTQ-C, para se descobrir os limites do PAF_T para cada nível, como pode ser visto um exemplo do nível “C” na Figura 16.

Figura 16. Exemplo de Nível “C” de eficiência da Envoltória obtido pelo webprescritivo

Envoltória

Localização

Zona Bioclimática ZB 4 Cidade Água Branca AL

Pré-requisitos

Dados Dimensionais da Edificação

A_{TOT} 531.40 m² ?

A_{PCOB} 265.70 m² ?

A_{PE} 265.70 m² ?

V_{TOT} 1966.18 m³ ?

A_{ENV} 897.81 m² ?

Características das Aberturas

FS 0.87 ?

PAF_T 20.37 % ?

PAF_O 4.86 % ?

AVS 0 ° ?

AHS 0 ° ?

* Desde que observados os pré-requisitos da envoltória para o nível de eficiência pretendido.

Calcular Eficiência Limpar

C

Fonte: LabEEE (2021)

Os valores limites do PAF_T para cada nível, que serão usados na simulação, encontram-se na Tabela 12.

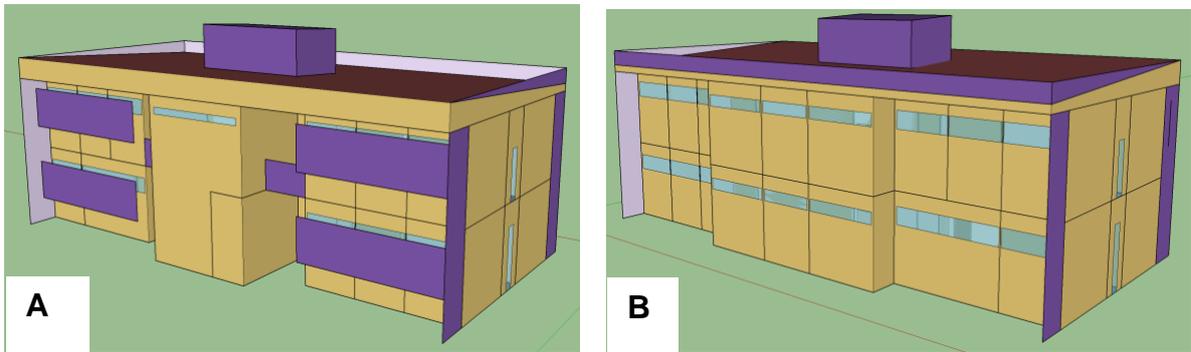
Tabela 12. Valores limites do PAF_T por Nível

A	B	C	D
10,21%	15,29%	20,37%	25,32%

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

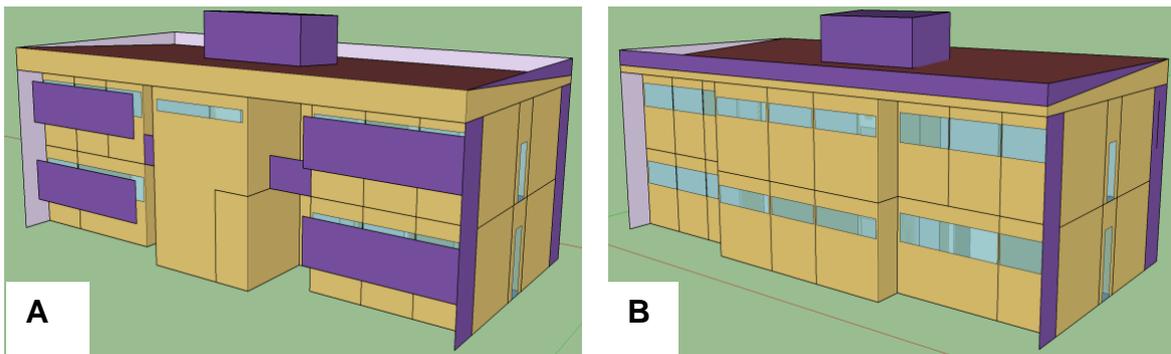
Apesar de possuírem um PAF_T diferente, os modelos de referência devem possuir aberturas distribuídas de acordo com o modelo real, ou seja, respeitando as suas proporções de abertura por fachada. Os quatro modelos, desenhados no *SketchUp*, estão representados nas Figuras 17, 18, 19 e 20.

Figura 17. A. Vista das fachadas Norte e Oeste da edificação nível A no *SketchUp*; B. Vista das fachadas Sul e Leste da edificação nível A no *SketchUp*



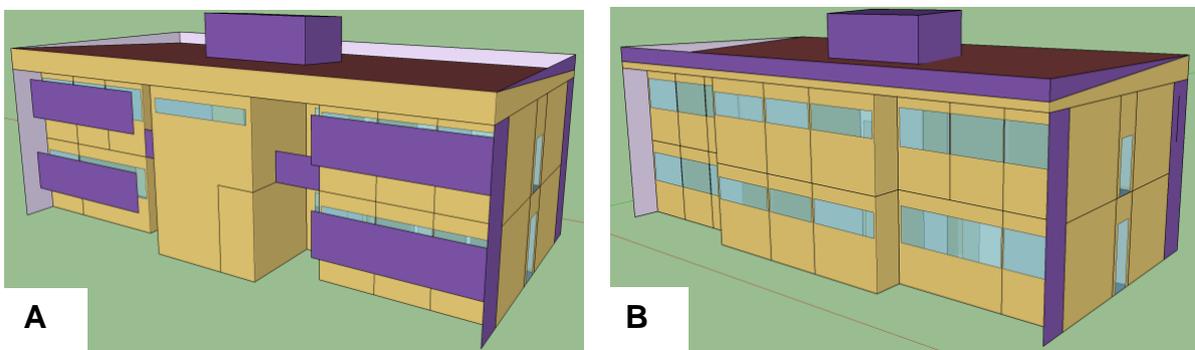
Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Figura 18. A. Vista das fachadas Norte e Oeste da edificação nível B no *SketchUp*; B. Vista das fachadas Sul e Leste da edificação nível B no *SketchUp*



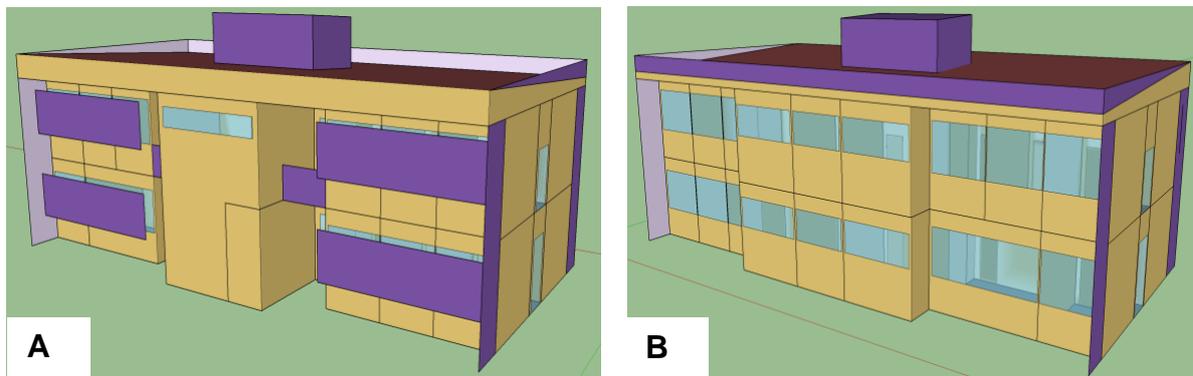
Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Figura 19. A. Vista das fachadas Norte e Oeste da edificação nível C no *SketchUp*; B. Vista das fachadas Sul e Leste da edificação nível C no *SketchUp*



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Figura 20. A. Vista das fachadas Norte e Oeste da edificação nível D no SketchUp; B. Vista das fachadas Sul e Leste da edificação nível D no SketchUp



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

O RTQ-C estabelece parâmetros para os elementos da envoltória dos modelos de referência. Todo nível possui valores de transmitância térmica e absorptância solar específicos para cada elemento construtivo e variam de acordo com a zona bioclimática brasileira. Entretanto, o RTQ-C não estabelece a tipologia de material que deve ser empregado.

Os materiais dos elementos construtivos utilizados nos modelos de referência foram baseados nos já existentes no modelo real, porém alterando-se algumas propriedades para atingir os valores pretendidos de transmitância e absorptância para as paredes e a cobertura de cada nível. Para o cálculo da transmitância da cobertura foi utilizada a ferramenta Projeteer a fim de se descobrir os materiais corretos para utilizar e seus parâmetros, como mostrado no exemplo da Figura 21 para a cobertura de nível “A”.

Figura 21. Cálculo da transmitância térmica da cobertura para modelo de referência nível “A”

EXTERIOR		
CAMADA	MATERIAL	RESISTÊNCIA TÉRMICA
⊗ 1	Telha metálica 0.1	0
⊗ 2	Poliestireno expandido (EPS) 2	0,5000
⊗ 3	Câmara de ar > 5cm Fluxo Descendente 0	0.21
⊗ 4	Concreto maciço 10	0.057

[ADICIONAR CAMADA NA BASE](#)

SEU MATERIAL

Resistência Térmica Total: **0,98**

Atraso Térmico ϕ (horas): **8,9**

Capacidade Térmica (kJ/m²K): **244,6**

Transmitância Térmica (W/m²K): **1,0**




Fonte: PROJETEEE (2021)

A camada de ar da cobertura não foi adicionada como material construtivo no *EnergyPlus*, pois no modelo utilizado no *SketchUp* o detalhamento da cobertura já apresenta essa camada na separação entre telha e laje. Todos os materiais e suas propriedades encontram-se na Tabela 13 e a transmitância total de cada estruturas é mostrada na Tabela 14. Por fim, para toda a envoltória, deve ser adotado um vidro simples de 3mm, com um fator solar de 0,87.

Tabela 13. Elementos construtivos e propriedades dos materiais presentes em cada camada para cada nível

Nível	Estrutura	Camada/ Materiais	Propriedades					
			ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	Cp (J/kgK)	l (m)	α	R (m ² K/W)
A	Parede externa	Concreto	2300	1,75	1000	0,090	0,5	
		Camada de ar						0,02
		Concreto	2300	1,75	1000	0,090	0,5	
	Laje	Concreto	2200	1,75	1000	0,100	0,9	
	Telha	Telha metálica	460	0,55	7800	0,001	0,5	
		Poliestireno	25	0,04	1420	0,020	0,5	
B	Parede externa	Concreto	2300	1,75	1000	0,090	0,9	
		Camada de ar						0,02
		Concreto	2300	1,75	1000	0,090	0,9	
	Laje	Concreto	2200	1,75	1000	0,100	0,9	
	Telha	Telha metálica	460	0,55	7800	0,001	0,5	
		Poliestireno	25	0,04	1420	0,007	0,5	
C, D	Parede externa	Concreto	2300	1,75	1000	0,090	0,9	
		Camada de ar						0,02
		Concreto	2300	1,75	1000	0,090	0,9	
	Laje	Concreto	2200	1,75	1000	0,100	0,9	
	Telha	Telha metálica	460	0,55	7800	0,001	0,5	
		Poliestireno	25	0,04	1420	0,0008	0,5	

Fonte: ABNT NBR 15220-2:2005.

Tabela 14. Elementos construtivos e transmitância térmica para cada nível

Nível	Estrutura	Transmitância (W/m ² K)
A	Parede externa	$U_{par} = 3,7$
	Cobertura	$U_{cob} = 1$
B	Parede externa	$U_{par} = 3,7$
	Cobertura	$U_{cob} = 1,5$
C, D	Parede externa	$U_{par} = 3,7$
	Cobertura	$U_{cob} = 2$

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

4.2.2 Cargas Internas

As cargas térmicas internas devem apresentar a mesma potência instalada, assim como o padrão de uso, frequência com que estes são utilizados e horas de uso, ou seja, os mesmos schedules utilizados na simulação do modelo real. Os modelos

de referência, então, contêm os mesmos valores de calor dissipado pelo mesmo número de pessoas e os mesmos valores de potência dos equipamentos. As infiltrações nos modelos de referência foram consideradas as mesmas do modelo real.

No entanto, os sistemas de iluminação devem possuir a densidade de potência de iluminação (DPI) especificada para cada o nível de eficiência energética, conforme mostrado na Tabela 15. Como foi adotado neste trabalho o método de atividades cada tipo de ambiente tem sua própria DPI.

Tabela 15. Densidade de Potência de Iluminação (DPI), por atividade, para os modelos de referência

Ambiente	DPI (W/m ²)			
	A	B	C	D
Banheiros	5	6	7	8
Circulação	7,1	8,52	9,94	11,36
Cozinhas	10,7	12,84	14,98	17,12
Escadas	7,4	8,88	10,36	11,84
Escritório	11,9	14,28	16,66	19,04

Fonte: adaptado de BRASIL (2014).

Para o sistema de condicionamento de ar dos modelos de referência, o RTQ-C diz que deve se considerar a mesma tipologia do modelo real, alterando somente o COP de acordo com os valores estabelecidos pelo INMETRO para o nível pretendido, disponíveis na Tabela 16. Os COP para o aquecimento foram ajustados para 90% do COP de resfriamento, de acordo com o Manual do RTQ-C. Por fim, o sistema deve utilizar o mesmo termostato do modelo real (BRASIL, 2014).

Tabela 16. Coeficiente de Desempenho (COP) em W/W para os modelos de referência

A	B	C	D
3,2	3,0	2,8	2,6

Fonte: adaptado de BRASIL (2014).

4.3 Pré-requisitos

Para a avaliação da edificação deve-se atender aos pré-requisitos estabelecidos. Estas exigências têm a intenção de garantir a obtenção de resultados coerentes.

4.3.1 Envoltória

Os pré-requisitos para a classificação da envoltória estão nas Tabelas 4 e 5 representando os limites para transmitância e absortância, respectivamente, da zona bioclimática 4. Como o edifício em análise não possui abertura zenital, seus pré-requisitos não terão influência aqui.

4.3.2 Sistema de condicionamento artificial do ar

No Quadro 3, abaixo, estão os requisitos a serem atingidos pelo sistema para a obtenção de cada classificação. Todas as faixas e níveis mencionados no quadro podem ser encontrados em tabelas específicas no manual do RTQ-C (BRASIL, 2014).

Quadro 3. Critérios mínimos para a obtenção de uma classificação para o sistema de condicionamento artificial do ar.

Indicador	Nível de eficiência	Descrição
Isolamento térmico para dutos de ar	A	De acordo com a faixa de temperatura do fluido, condutividade térmica e temperatura de ensaio do isolamento e diâmetro nominal da tubulação tem-se a espessura mínima em centímetros necessária para que atinja o nível A.
Condicionamento de ar por aquecimento artificial	A	Onde há a necessidade de adotar um sistema de aquecimento artificial, tem-se que: a. Para sistemas com bomba de calor, o coeficiente de desempenho (COP) para aquecimento deve ser maior ou igual a 3,0 W/W; b. Para sistemas unitários de condicionamento com ciclo reverso, o COP para aquecimento deve ser maior ou igual a 3,0 W/W; c. Caldeiras a gás devem possuir capacidade maior que 22,98 kW, subcategoria menor que 309,75 W/L e eficiência mínima de 80%.
Sistemas de condicionamento de ar regulamento pelo INMETRO	A	Condicionadores de ar do tipo Janela ou Split devem possuir eficiência nível A de acordo com o Programa Brasileiro de Etiquetagem.
Sistemas de condicionamento de ar não regulamento pelo INMETRO	A, B e C	Devem ser respeitados os níveis mínimos de eficiência para condensadores e torres de resfriamento.
	A e B	Devem ser respeitados os níveis mínimos para condicionadores de ar e resfriadores de líquido
	A	Devem ser respeitados os níveis mínimos para condicionadores de ar do tipo VRF (Fluxo de refrigerante variável)
	C	Devem ser respeitados os níveis mínimos para condicionadores de ar e resfriadores de líquido.
	D	Devem ser respeitados os níveis mínimos para condicionadores de ar, resfriadores de líquido, condensadores e torres de resfriamento.
Carga térmica	Todos	Deve ser calculada de acordo com os padrões estabelecidos na ASHRAE e NBR 16401
Controle da temperatura por zona	Todos	Obrigatória a presença de termostato

Fonte: Costa (2021).

4.3.3 Sistema de iluminação

O Quadro 4 apresenta os requisitos mínimos para a obtenção de cada classificação, por ambiente, tanto de permanência prolongada quanto esporádica.

Quadro 4. Critérios mínimos para a obtenção de uma classificação para o sistema de iluminação.

Indicador	Nível de eficiência	Descrição
Divisão dos circuitos	A, B e C	Ambientes fechados, com área de até 250 m ² , devem possuir, pelo menos, um dispositivo de controle manual que seja de fácil acesso e permita visualizar todo o sistema que está sendo controlado. Para áreas maiores que 250 m ² e menores 1000 m ² , deve-se ter um dispositivo a cada 250 m ² . Para áreas maiores que 1000 m ² , deve-se ter um dispositivo a cada 1000 m ² .
Contribuição da luz natural	A e B	Para ambientes com abertura voltada para o ambiente externo, para átrio não coberto ou de cobertura translúcida e que possuam mais de uma fileira de luminárias paralelas à abertura, é necessária a presença de controle manual ou automático a fim de aproveitar a luz natural.
Desligamento automático do sistema de iluminação	A	Para áreas maiores que 250 m ² é obrigatória a presença de dispositivos automáticos para controlar a iluminação, podendo ser desligado em um horário pré-determinado; sensor de presença que desligue a luz após 30 minutos sem atividades; sinal de outro controle ou sistema de alarme indicando que a área está desocupada.

Fonte: Costa (2021).

4.3.4 Programa de simulação

No mínimo, o programa computacional de simulação termoenergética deve possuir as seguintes características (RTQ-C, 2014):

- ser um programa para a análise do consumo de energia em edifícios;
- ser validado pela ASHRAE Standard 140;
- modelar 8760 horas por ano;
- modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos e sistemas de ar condicionado, definidos separadamente para cada dia da semana e feriados;
- modelar efeitos de inércia térmica;
- permitir a modelagem de multi-zonas térmicas;
- deve ter capacidade de simular as estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
- caso o edifício proposto utilizar sistema de condicionamento de ar, o programa deve permitir modelar todos os sistemas de condicionamento de ar listados no Apêndice G da ASHRAE 90.1;

- determinar a capacidade solicitada pelo Sistema de Condicionamento de Ar;
- produzir relatórios horários do uso final de energia.

4.3.5 Arquivo Climático

No mínimo, o arquivo climático utilizado deve possuir as seguintes características (RTQ-C, 2014):

- fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura e umidade, direção e velocidade do vento e radiação solar;
- os dados climáticos devem ser representativos da Zona Bioclimática onde o projeto proposto será locado e, caso o local do projeto não possuir arquivo climático, deve-se utilizar dados climáticos de uma região próxima que possua características climáticas semelhantes;
- devem ser utilizados arquivos climáticos e formatos publicados no www.eere.energy.gov (TRY, TMY, SWEC...). Caso contrário o arquivo climático deve ser aprovado pelo laboratório de referência.

Neste trabalho, utilizou-se o arquivo climático no formato INMET da cidade de São Carlos do ano de 2018, disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Os arquivos climáticos do Instituto Nacional de Metrologia possuem as seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, pluviosidade e irradiância global sobre o plano horizontal (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2015).

Capítulo 5. Modelagem pelo Método da INI-C

Na terceira etapa, criou-se um novo modelo que representa a situação real do edifício com as edições necessárias para a análise pelo método proposto da INI-C. Então foi criado o modelo único de referência, usando os valores tabelados para um edifício de escritórios. Não é necessário criar um modelo para cada nível, uma vez que serão feitos cálculos baseados na comparação entre o consumo do modelo real e de referência. A modelagem, o detalhamento e as comparações desses modelos serão abordados neste capítulo.

Para se obter a classificação de eficiência energética da edificação, deve ser obtido o seu percentual de redução do consumo estimado de energia primária (RedC_{EP}), da edificação real em relação ao da edificação de referência. Esse percentual deve ser calculado com base na equação 8.1 do manual da INI-C (BRASIL, 2021b), representada em (2).

$$\text{RedC}_{EP} = ((C_{EP,ref} - C_{EP,real}) / C_{EP,ref}) \times 100 \quad (2)$$

O C_{EP,real} é o consumo de energia primária da edificação em sua condição real em kWh/ano e é definido pela soma de seu consumo estimado de energia elétrica (C_{EE,real}) e térmica (C_{ET,real}), multiplicados pelos respectivos fatores de conversão (f_{CE} e f_{CT}) e, quando existente, descontando-se a parcela de energia primária referente à geração local de energia renovável (G_{EE}), conforme (3).

$$C_{EP,real} = (C_{EE,real} \cdot f_{CE}) + (C_{ET,real} \cdot f_{CT}) - (G_{EE} \cdot f_{CE}) \quad (3)$$

O C_{EP,ref} é o consumo de energia primária da edificação de referência em kWh/ano e é definido pela soma de seu consumo estimado de energia elétrica (C_{EE,ref}) multiplicado pelo fator de conversão (f_{CE}), conforme (4), não é considerado geração local de energia e é considerado que o aquecimento da água é feito com o uso de energia elétrica.

$$C_{EP,ref} = (C_{EE,ref} \cdot f_{CE}) \quad (4)$$

Para definir a escala de eficiência energética, e classificação geral da edificação, é necessário determinar os intervalos entre as classificações, de “A” à “E”.

Para isso, deve ser obtido o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A ($CRCE_{PD-A}$) para o tipo de edificação em análise neste trabalho, presentes na Tabela 17. Este coeficiente é baseado no fator de forma da edificação, juntamente com o grupo climático de onde se encontra. O fator de forma é calculado dividindo a área da envoltória em m^2 (A_{env}) pelo volume total construído da edificação em m^3 (V_{tot}), conforme descrito em (5).

$$FF = A_{env} / V_{tot} \quad (5)$$

Tabela 17. Edificações de escritórios: coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A, com base no fator de forma e grupo climático correspondente

Grupo Climático	Coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a classificação A ($CRCE_{PD-A}$)							
	$FF \leq 0,20$	$0,20 < FF \leq 0,30$	$0,30 < FF \leq 0,40$	$0,40 < FF \leq 0,50$	$FF > 0,50$			
GC 1 - A	0,30	0,33	0,35	0,36	0,36			
GC 1 - B			0,34	0,35				
GC 2					0,29	0,33	0,34	0,35
GC 3								
GC 4								
GC 5								
GC 6	0,30	0,34	0,33	0,34	0,36			
GC 7			0,35	0,36				
GC 8								
GC 9	0,31	0,34	0,36	0,37	0,38			
GC 10	0,30	0,33	0,35	0,36	0,36			
GC 11								
GC 12		0,32						
GC 13								
GC 14	0,29	0,31	0,33	0,34	0,35			
GC 15								
GC 16	0,28	0,30	0,32	0,33	0,33			
GC 17								
GC 18		0,31				0,34		
GC 19								
GC 20	0,29	0,32	0,34	0,35	0,36			
GC 21								
GC 22		0,31				0,33	0,34	
GC 23								
GC 24	0,31	0,33	0,34	0,35				

Fonte: BRASIL (2021).

Os intervalos de classificação do consumo de energia primária são definidos a partir da variável “i”, determinada por meio de (6). O valor de “i” é utilizado então para se montar a escala de eficiência energética, conforme apresentado na Tabela 18. A classificação geral da edificação é determinada por meio da comparação entre os valores de consumo de energia primária da edificação real ($C_{EP,real}$) e os intervalos calculados da Tabela 18, identificando assim a classificação de eficiência energética geral.

$$i = (C_{EP,ref} \cdot CRC_{EPD-A}) / 3 \quad (6)$$

Tabela 18. Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral

Classif. EE	A	B	C	D	E
Limite superior	–	$> C_{EP,ref} - 3i$	$> C_{EP,ref} - 2i$	$> C_{EP,ref} - i$	$> C_{EP,ref}$
Limite inferior	$\leq C_{EP,ref} - 3i$	$\leq C_{EP,ref} - 2i$	$\leq C_{EP,ref} - i$	$\leq C_{EP,ref}$	–

Fonte: BRASIL (2021).

5.1 Modelagem da Edificação Real

Foi feita a modelagem do edifício seguindo toda a caracterização mostrada no Capítulo 3, utilizando a mesma envoltória e elementos construtivos da seção 4.1. Todos os parâmetros para esse modelo foram estabelecidos seguindo a Tabela 19, tirada do manual da INI-C (BRASIL, 2021b), onde se encontram os valores de referência para edificações de escritório.

Tabela 19. Valores de referência para edificações de escritório

USO TÍPICO	Edificações de escritórios	
	Condição real	Condição de referência
Geometria		
Área (m ²)		Condição real
Orientação solar		Condição real
Pé-direito (piso a teto) (m)		Condição real
Aberturas		
PAF - Percentual de área de abertura da fachada (%)	Condição real	50 (0,50)
Componentes construtivos		
Parede	Condição real	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)
U _{par} - Transmitância da parede externa (W/m ² K)	Condição real	2,39
α _{PAR} - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5
CT _{par} - Capacidade térmica da parede externa (kJ/m ² K)	Condição real	150
Cobertura	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)
U _{cob} - Transmitância da cobertura (W/m ² K)	Condição real	2,06
α _{COB} - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8
CT _{cob} - Capacidade térmica da cobertura (kJ/m ² K)	Condição real	233
Vidro	Condição real	Vidro simples incolor 6mm
FS – Fator solar do vidro (adimensional)	Condição real	0,82
U _{vid} - Transmitância do vidro (W/m ² K)	Condição real	5,7
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0
AOV - Ângulo de obstrução vizinha (°)		Condição real
Iluminação e ganhos		
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	Condição real	14,1*
Ocupação (m ² /pessoa)		10
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ²) **		15
Horas de ocupação (horas)		10
Dias de ocupação (N _{ano})		260
Situação do piso		Condição real
Situação da cobertura		Condição real
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento
Condicionamento de ar (refrigeração)		
COP - Coeficiente de performance (W/W)	Condição real	2,6
Temperatura <i>setpoint</i> (°C)		24
Aquecimento de água		
		-

* Adotar este valor para realizar a avaliação parcial da envoltória no caso da utilização do método do edifício completo, já para o método da atividade dos edifícios e potência ajustada, devem ser adotados os valores de potência de iluminação limite (DPI_L) para a classificação D.

** Em casos em que se deseje utilizar os valores reais ou levantados por meio de projeto, a DPE para a condição real e de referência devem ser iguais.

Fonte: BRASIL (2021).

5.1.1 Envoltória

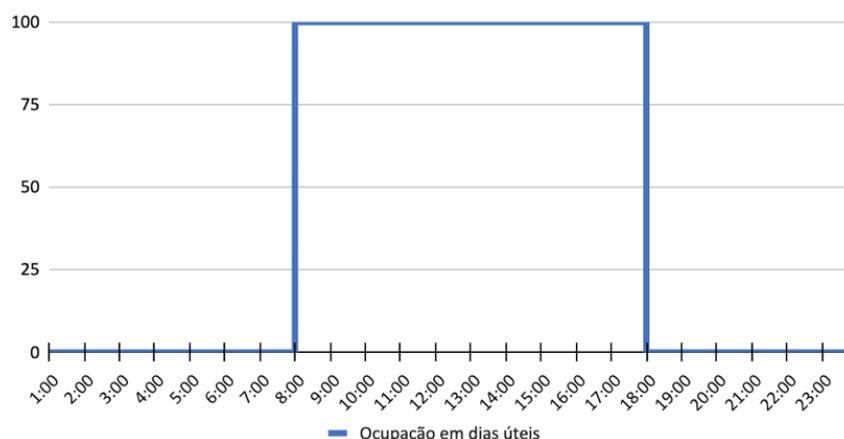
A envoltória do modelo real não se diferencia entre os métodos RTQ-C e INI-C, portanto as fachadas desse modelo são as mesmas das apresentadas nas Figuras 11 e 12, mostradas anteriormente, e os materiais presentes na edificação, identificados na caracterização, são os mesmos da Tabela 9.

5.1.2 Cargas internas

Neste modelo também foram adotados os valores padrões de 72% para a fração radiante e de 18% para a fração visível referentes aos sistemas de iluminação. E sua densidade de potência foi a mesma da caracterização do edifício feita na seção 3.2, já para a ocupação e a densidade de potência dos equipamentos foi utilizado os valores estabelecidos na Tabela 19, que são 10 m²/pessoa e 15 W/m² respectivamente. A taxa metabólica das pessoas se manteve em 130W/pessoa.

A seguir, na Figura 22, está o período de ocupação dos ambientes, tanto os de longa permanência quanto os de permanência esporádica (banheiros comuns e copas), de 10 horas, como é exigido e mostrado na Tabela 19. Foi considerado que os equipamentos, a iluminação e os condicionadores de ar, para os ambientes que os possuem, também ficam ligados nesse período.

Figura 22. Schedule dos ambientes



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Todos os condicionadores de ar foram considerados independentes com COP de 3,20 W/W equivalente ao nível “A” de Eficiência Energética. Foi estabelecido um termostato de 18°C para aquecimento e de 24°C para resfriamento, respeitando o mínimo de 3°C de faixa de temperatura do ar (*deadband*).

Utilizou-se também o módulo HVACTemplate:Zone:IdeILoadsAirSystem do *EnergyPlus* para simular o sistema de condicionamento do ar. Ao dividir a carga térmica total anual da edificação real ($C_{gTT_{real}}$) em kWh/ano, obtida por este módulo, pelo Coeficiente de Eficiência Energética do sistema de condicionamento de ar para Refrigeração (CEE_R) se obtém o consumo de refrigeração da edificação real ($C_{R,real}$), conforme a equação B.II.2 do manual da INI-C (BRASIL, 2021b), representada por (7) abaixo. O CEE_R é obtido multiplicando-se o COP do sistema por 1,062, ou seja, o CEE_R deste modelo será 3,3984. O CEE_R para o aquecimento do ar foi considerado o mesmo que o para a refrigeração.

$$C_{R,real} = C_{gTT_{real}} / CEE_R \quad (7)$$

5.2 Modelagem da Edificação de Referência

Na INI-C deve-se desenvolver somente um modelo de referência, para tal, seguiu-se às considerações quanto à geometria, envoltória, sistemas de iluminação e de condicionamento de ar da INI-C, apresentados na Tabela 19.

5.2.1 Envoltória

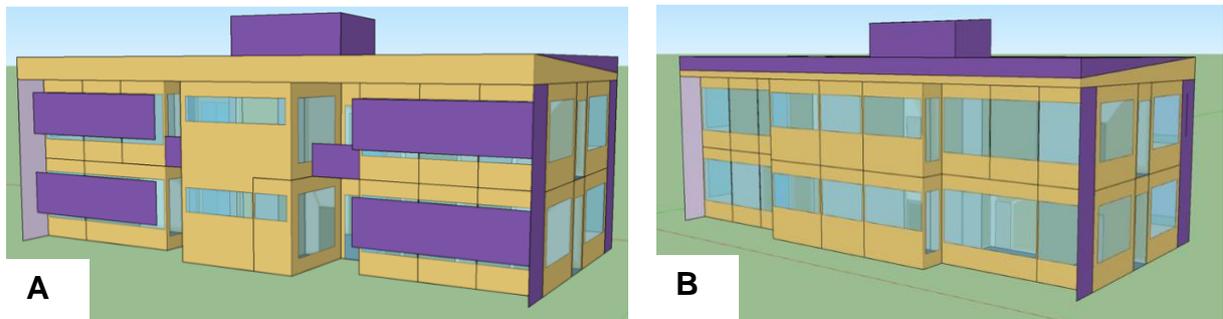
A Geometria do modelo de referência deve permanecer semelhante ao modelo real. A envoltória, no entanto, deve ser considerada construída com argamassa interna de 2,5 cm, bloco cerâmico furado de 9 cm e argamassa externa também de 2,5 cm. Já a cobertura deve ser considerada como se fosse de Telha de fibrocimento com câmara de ar maior que 5 cm e laje maciça de concreto de 10 cm. O PAF_T da envoltória deve ser de 50% e deve respeitar a proporcionalidade de cada fachada.

A Figura 23 mostram as vistas das fachadas resultantes e a Tabela 20 possui as estruturas, os materiais construtivos e as propriedades desses materiais. As

transmitâncias e as capacidades térmicas das estruturas estão destacadas na Tabela 21. Nesse modelo, como no modelo de referência do RTQ-C, a camada de ar da cobertura, também, não foi adicionada como material construtivo no *EnergyPlus*, pois no modelo utilizado no *SketchUp* o detalhamento da cobertura já apresenta essa camada na separação entre telha e laje.

Por fim, para todo vidro na envoltória, deve ser adotado um vidro simples e incolor de 6mm, com um fator solar de 0,82 e uma transmitância de 5,7 W/m²K.

Figura 23. A. Vista das fachadas Norte e Oeste da edificação no SketchUp; B. Vista das fachadas Sul e Leste da edificação no SketchUp



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Tabela 20. Elementos construtivos e propriedades dos materiais presentes em cada camada

Estrutura	Camada/ Materiais	Propriedades					
		ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	C_p (J/kgK)	l (m)	α	R (m ² K/W)
Parede externa	Argamassa	1700	1,15	1000	0,025	0,5	0,169
	Cerâmica	1400	0,9	920	0,025	0,5	
	Camada de ar						
	Cerâmica	1400	0,9	920	0,025	0,5	
	Argamassa	1700	1,15	1000	0,025	0,5	
Laje	Concreto	2200	1,75	1000	0,100	0,9	
Telha	Telha Fibrocimento	2000	0,95	840	0,008	0,8	

Fonte: ABNT NBR 15220-2:2005.

Tabela 21. Elementos construtivos e transmitância térmica

Estrutura	Transmitância (W/m²K)	Capacidade Térmica (kJ/m²K)
Parede externa	$U_{PAR} = 2,39$	$CT_{PAR} = 150$
Cobertura	$U_{COB} = 2,06$	$CT_{COB} = 233$

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

5.2.2 Cargas Internas

As cargas térmicas internas do modelo de referência devem apresentar as mesmas características utilizadas no modelo real. O modelo de referência contém, então, os mesmos valores de calor dissipado pelo mesmo número de pessoas por metro quadrado e os mesmos valores de potência dos equipamentos. As infiltrações nos modelos de referência foram consideradas as mesmas do modelo real.

No entanto, os sistemas de iluminação devem possuir a densidade de potência de iluminação (DPI) especificada para cada tipo de ambiente, pois foi adotado neste trabalho o método de atividades, portanto devem ser adotados os valores de potência de iluminação limite (DPI_L) para a classificação D, conforme mostrado na Tabela 22.

Tabela 22. Valores de potência de iluminação limite por tipo de ambiente

Ambiente	DPI_L (W/m²)
Banheiros	13,73
Circulação	11,36
Cozinhas	17,12
Escadas	11,84
Escritório	19,04

Fonte: BRASIL (2021)

Para o sistema de condicionamento de ar desse modelo, a INI-C diz que deve se considerar a mesma tipologia do modelo real, alterando somente o CEE_R para 2,6. O CEE_R para o aquecimento do ar foi considerado o mesmo que o para a refrigeração. Por fim, o sistema deve utilizar o mesmo termostato do modelo real.

5.3 Pré-Requisitos

Na INI-C (BRASIL, 2021b) os pré-requisitos são condições para a elegibilidade da classificação “A”. Dentre essas condições estão requisitos que não estão contemplados na avaliação do sistema, mas que contribuem para a eficiência do sistema.

5.3.1 Sistema de condicionamento de ar

Para diversos tipos de condicionadores de ar o manual na INI-C possui tabelas com os requisitos de eficiência e/ou carga mínimas para se obter a classificação “A”. Caso os dados dos equipamentos não se enquadrarem na respectiva tabela, a classificação de eficiência do sistema avaliado será no máximo “B”.

Para ser elegível à classificação “A” de eficiência energética, o sistema de condicionamento de ar do tipo Split deve atender ao requisito do isolamento térmico de tubulações para a condução de fluídos. Este requisito deve ser avaliado por equipamento.

Já para os sistemas centrais serem elegíveis à classificação “A” de eficiência energética, os requisitos específicos são indicados em função do sistema, onde os requisitos específicos serão alguns entre: cálculo da altura manométrica das bombas; controle de temperatura por zona; faixa de temperatura de controle; aquecimento suplementar; evitar aquecimento e refrigeração simultâneo; sistema de desligamento automático; agrupamento de zonas; controles e dimensionamento do sistema de ventilação; controles e dimensionamento dos sistemas hidráulicos; equipamentos de rejeição de calor; isolamento térmico de tubulações com fluxo de fluidos.

5.3.2 Sistema de iluminação

5.3.2.1 Potencial de integração da luz natural

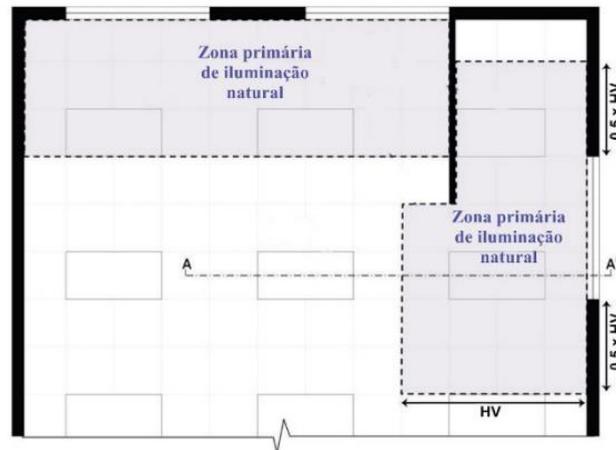
O potencial de integração entre o sistema de iluminação e a luz natural disponível pode ser obtido por meio do método simplificado ou do método de simulação. Este potencial é informativo, não havendo limite para o valor máximo ou mínimo a ser alcançado, mas a sua determinação é obrigatória para a classificação do sistema "A". Neste trabalho será utilizado o método simplificado.

5.3.2.1.1 Determinação do potencial de integração a partir do método simplificado

Neste trabalho, será utilizado um método simplificado. A razão entre a soma de todas as áreas principais de luz natural e a área total do edifício deve ser considerada para calcular o potencial de integração entre o sistema de iluminação e a luz natural disponível. Deve-se levar em consideração todas as aberturas laterais e zenitais que são projetadas para iluminar o ambiente e estão totalmente voltadas para o exterior.

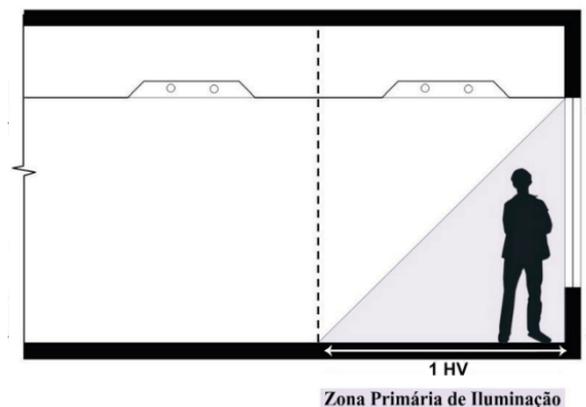
As zonas primárias de iluminação natural para as aberturas laterais são compostas pelas áreas adjacentes a cada abertura vertical definida na planta. Sua profundidade corresponde à altura da verga (HV) da janela, e a largura corresponde à largura da superfície translúcida da janela, somando-se metade da altura da verga da janela para cada um dos lados. Quaisquer porções da área atrás de qualquer obstáculo permanente, de 1,80 m ou mais, medido a partir do nível do piso acabado, devem ser descontadas. Um exemplo de definição das zonas primárias de iluminação natural para aberturas laterais é mostrado nas Figuras 24 e 25.

Figura 24. Esquema em planta da definição zonas primárias de iluminação natural para as aberturas laterais



Fonte: Brasil (2021)

Figura 25. Esquema em corte da definição zonas primárias de iluminação natural para as aberturas laterais



Fonte: Brasil (2021)

Não devem ser contabilizadas no potencial de integração entre o sistema de iluminação e a luz natural disponível, e não estão sujeitas a controle independente do requisito mínimo da seção 5.3.2.2 as áreas que atendam aos itens a seguir:

a) Zonas primárias de iluminação natural para as aberturas laterais em que o topo de qualquer estrutura adjacente existente, ou de objetos naturais, é pelo menos duas vezes mais alto que o topo das referidas aberturas, bem como de sua distância horizontal à frente das janelas;

b) Espaços destinados a áreas de varejo;

c) Zonas primárias de iluminação natural adjacentes às aberturas laterais que possuem projeções externas (projeções estas sem nenhuma outra abertura acima dela) com fator de projeção (FP) maior que 1,0 para projeções orientadas para o sul, ou maior que 1,5 para todas as outras orientações.

5.3.2.2 Contribuição da luz natural

Ambientes com aberturas voltadas para o exterior, átrio não coberto, ou de cobertura translúcida e que contenham em sua iluminação geral mais de uma fileira de luminárias paralelas às aberturas, devem possuir um controle instalado - manual ou automático - para o acionamento independente do conjunto de luminárias mais próximo das aberturas, de forma a propiciar o aproveitamento da luz natural disponível.

Consideram-se como luminárias mais próximas às aberturas todas aquelas localizadas nas zonas primárias de iluminação natural, sendo elas laterais ou zenitais. As zonas primárias de iluminação natural devem ser definidas conforme definido pela seção 5.3.2.1.

Destaca-se que essa condição se aplica somente à iluminação geral, não incluindo a iluminação decorativa, iluminação de tarefa, complementar e *wallwash*.

Devem ser consideradas exceções:

- a) unidades de edifícios de meios de hospedagem;
- b) auditórios;
- c) primeira fileira de luminárias paralelas ao quadro em salas de aula;
- d) circulações;
- e) garagens que possuam sensores de presença.

5.3.2.3 Controle local

Cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto deve possuir pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento da iluminação interna do ambiente de forma independente. Cada dispositivo de controle manual deve controlar:

- a) Uma área de até 250 m² para ambientes de até 1.000 m²;
- b) Uma área de até 1.000 m² para ambientes maiores do que 1.000 m².

Os dispositivos instalados para cumprir esse requisito devem ser facilmente acessíveis e localizados de tal forma que o usuário possa ver o conjunto de luminárias que está sendo controlado por ele.

Devem ser consideradas exceções:

- a) Ambientes cujo uso justifique a locação dos dispositivos de controle manual em local de acesso restrito aos funcionários por questões de segurança. A justificativa deve acompanhar a documentação para a solicitação da etiqueta;
- b) Ambientes com dispositivos de controle automático vinculados à ocupação dos ambientes, como sensores de presença;
- c) Circulações e garagens que possuam sistema de automação estão dispensadas de apresentar o controle manual local.

5.3.3 Sistema de aquecimento de água

Para que o sistema de aquecimento de água da edificação em avaliação possa ser elegível à classificação “A”, é necessário atender aos requisitos de automação para o sistema de recirculação, de controle de acionamento de múltiplos aquecedores e de isolamento térmico de tubulações e reservatórios, quando existentes.

5.3.4 Arquivo climático

Para a INI-C foi utilizado o mesmo arquivo climático do RTQ-C, pois aqui não é pedido nenhum pré-requisito específico para este arquivo (BRASIL, 2021b).

Capítulo 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 RTQ-C

Para se definir o nível de eficiência energética da edificação pelo método do RTQ-C, deve-se inicialmente comparar o consumo anual de energia elétrica do modelo real com os modelos de referência. Um determinado nível de eficiência é atingido quando o valor da energia consumida é menor ou igual ao consumo do edifício de referência nesse nível e maior que o do nível imediatamente posterior, por exemplo: para que uma edificação seja classificada como nível “B”, o consumo energético da simulação do modelo real deve ser menor ou igual ao resultado da simulação do modelo de referência “B” e deve ser maior do que o consumo do modelo de referência “A”.

Assim, foi calculado os consumos totais dos modelos para a edificação analisada por nível de eficiência energética, o que pode ser observado na Tabela 23, a qual também apresenta os consumos da edificação de maneira segmentada, em termos de iluminação, equipamentos, e tanto aquecimento quanto refrigeração do sistema de ar condicionado.

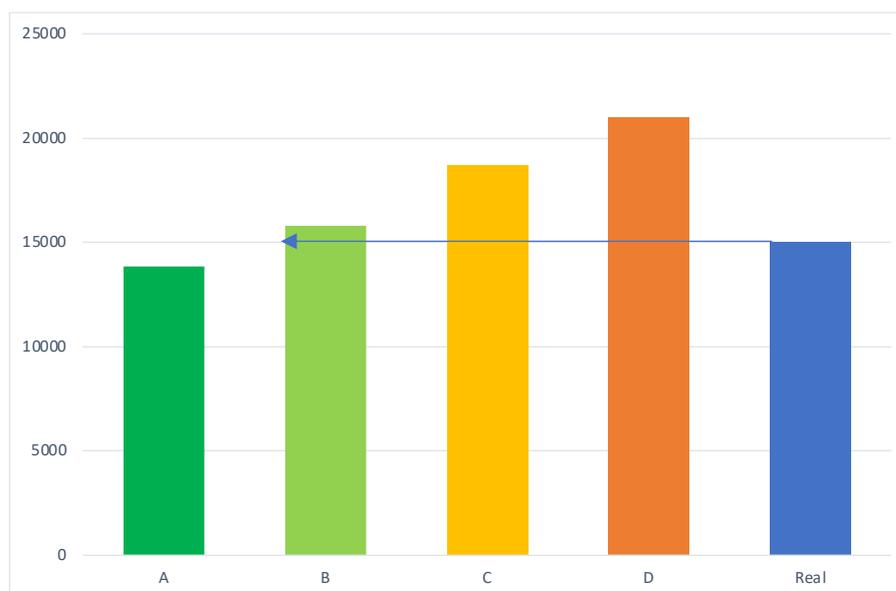
Tabela 23. Consumo anual total e por sistema dos modelos simulados em kWh

Nível	Eletricidade		Condicionamento do ar		Total
	Iluminação	Equipamentos	Refrigeração	Aquecimento	
A	8.331,67	3.729,60	1.760,27	15,41	13.836,95
B	9.998,01	3.729,60	2.048,97	35,22	15.811,80
C	11.664,34	3.729,60	3.266,35	37,01	18.697,31
D	13.330,67	3.729,60	3.904,91	37,27	21.002,45
Real	8.757,57	3.729,60	2.498,24	21,37	15.006,77

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Os valores simulados totais do consumo energético anual para todos os modelos aplicados ao edifício deste estudo, bem como o valor real consumido podem ser observados no gráfico da Figura 26.

Figura 26. Consumo anual dos modelos simulados em kWh



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Analisando de maneira integrada o gráfico da Figura 26 e a Tabela 23, nota-se que os valores dos consumos de energia total relativos aos modelos de referência seguem uma progressão crescente no sentido de “A” a “D”, pois suas métricas são alteradas a cada nível, conforme a metodologia do modelo.

Assim, é possível concluir que o modelo real se enquadra no nível “B” de eficiência, pelo fato de seu consumo total ser menor que esse nível e maior que o nível “A”, imediatamente posterior a ele. Vale ressaltar que o modelo real está considerando todo ambiente de longa permanência com condicionador de ar de nível “A”, o que, não necessariamente, corresponde à realidade. Porém, além disso ainda devem ser feitas as análises de pré-requisitos para se determinar o nível final de consumo energético da edificação, pois dependendo desses parâmetros ele pode ter

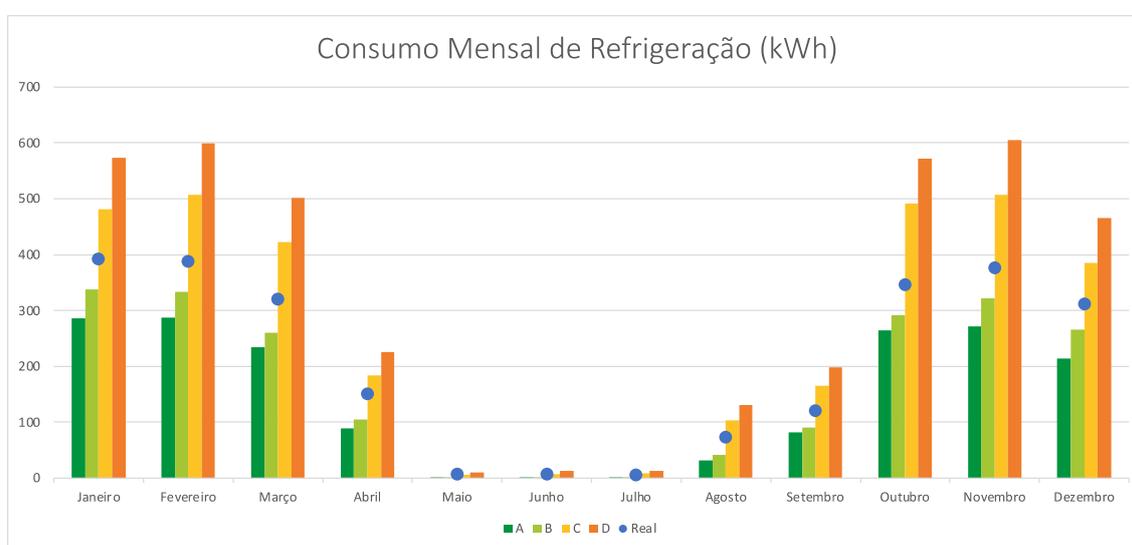
classificação alterada para algum nível inferior (referente à maior gasto energético) que o classificado.

6.1.1 Consumo do sistema de condicionamento do ar

Uma análise importante de ser realizada é a do consumo energético mensal do sistema de condicionamento do ar, por se tratar de um sistema com alto impacto no consumo, que varia muito conforme as estações do ano e de extrema necessidade para o conforto térmico dos ocupantes do ambiente em questão.

Na Figura 27 são exibidos os consumos mensais reais e por nível do sistema de refrigeração para o edifício analisado.

Figura 27. Consumo mensal por nível para refrigeração em kWh



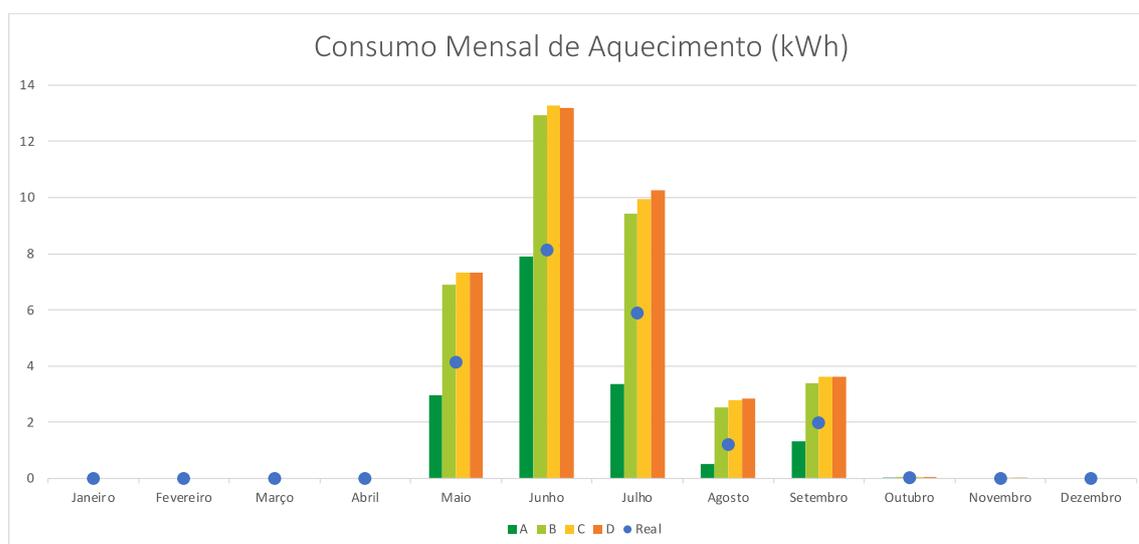
Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Nota-se que os consumos energéticos da edificação em questão, tanto os reais quanto os referentes aos níveis de classificação do RTQ-C, apresentam valores muito mais elevados de janeiro a março e de outubro a dezembro, resultando em uma curva teórica semelhante a uma cossenoide.

Isso ocorre devido ao fato de esses serem os meses mais quentes do ano, demandando maior refrigeração artificial para se atingir um nível razoável de conforto térmico no ambiente em questão.

Já na Figura 28, são mostrados os consumos mensais reais e por nível do sistema de aquecimento para o edifício analisado.

Figura 28. Consumo mensal por nível para aquecimento em kWh



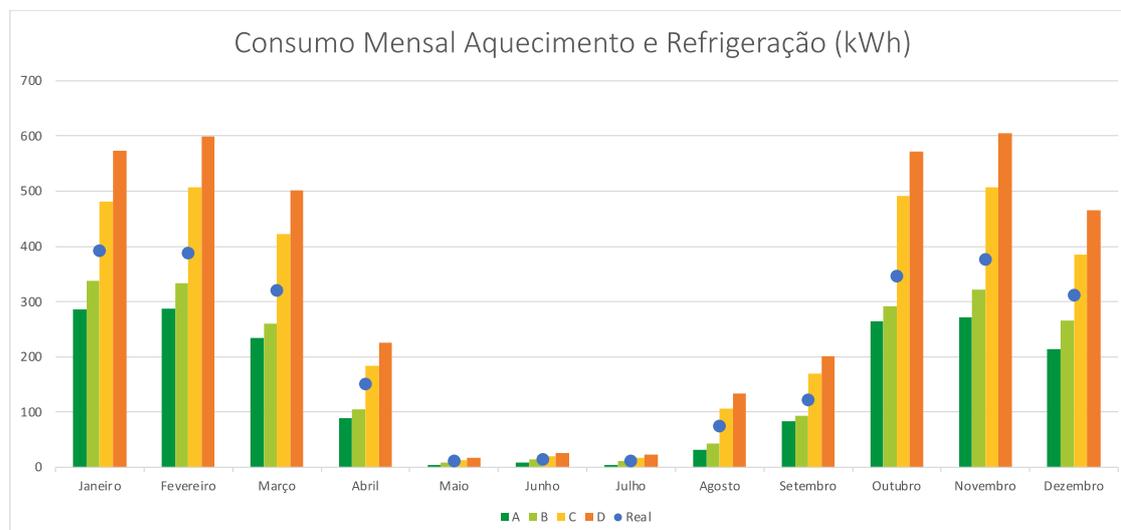
Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Esse gráfico assemelha-se visualmente com uma curva de distribuição normal, concentrando seus maiores valores na região central, referente aos meses de inverno em que ocorre essa demanda por aquecimento artificial, os quais vão diminuindo conforme se afasta do centro, por entrar novamente em meses nos quais o aquecimento natural é suficiente.

Porém, cumpre destacar que os valores referentes ao consumo energético de aquecimento são praticamente insignificantes em comparação com o consumo para refrigeração, o que pode ser observado analisando-se as diferentes escalas dos gráficos das Figura 27 e Figura 28.

Na Figura 29, os consumos mensais com refrigeração e aquecimento são somados e exibidos no gráfico, porém não se observa uma alteração significativa com relação ao gráfico da Figura 27, uma vez que o consumo para refrigeração é muito mais expressivo do que o para aquecimento.

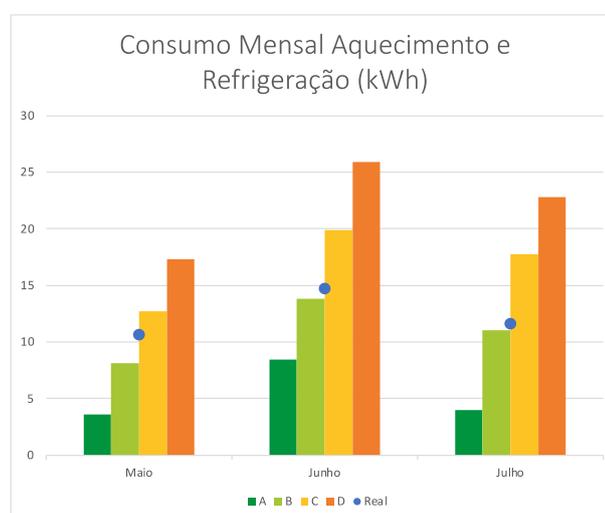
Figura 29. Consumo mensal por nível para refrigeração e aquecimento em kWh



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

A Figura 30 apresenta os meses de menor consumo energético total do edifício analisado (de maio a julho) em outra escala para melhor visualização. Assim, pode-se observar que o consumo que se enquadrava no nível “B” somente para o aquecimento, passa a ser classificado como “C” ao se somar ao de refrigeração, reforçando o contraste entre os consumos e quão menor é o consumo para aquecimento relativo ao de refrigeração na região em que se encontra o edifício.

Figura 30. Consumo mensal por nível para refrigeração e aquecimento, dos meses de menor consumo, em kWh



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Um ponto interessante a ser observado em todos os meses considerados nos gráficos anteriores é a variação elevada entre os consumos dos níveis “A” e “B” para os níveis “C” e “D” no sistema de resfriamento; essa discrepância também pode ser observada no sistema de aquecimento entre o nível “A” e os demais.

Essas diferenças de valores podem ser explicadas pelo fato de que, à medida em que a eficiência da edificação vai diminuindo, o sistema de ar condicionado precisa gastar menos energia para aquecer os ambientes, ou muito mais energia para resfriá-los, fazendo com que o consumo não cresça uniformemente.

6.1.2 Pré-requisitos

O valor médio da absorvância das paredes (α_{par}) é 0,16, como mostra a Tabela 7, que é menor do que 0,5 atendendo, assim, o pré-requisito, disponível na Tabela 5, para obtenção de nível de etiqueta nível “A”. A absorvância da cobertura (α_{cob}) é 0,36 e, como este valor é inferior a 0,5, o pré-requisito de absorvância para a cobertura também é atendido para obtenção da etiqueta de nível “A” e, conseqüentemente, “B”.

Como identificado na Tabela 14, a transmitância térmica da parede externa é de 2,62 W/m²K (U_{par}) o que satisfaz o pré-requisito para todos os níveis, mostrado na Tabela 4. Já a transmitância da cobertura é de 1,7 W/m²K (U_{cob}) o que não satisfaz o pré-requisito para nível “B”, porém satisfaz para o nível “C”.

Para o sistema de iluminação, como o edifício analisado não possui ambientes com mais de 250m², não se aplica o pré-requisito de desligamento automático das luzes. As salas de secretaria 1, de reunião e o hall das escadas, em destaque nas plantas de iluminação do pavimento térreo e do primeiro pavimento, disponíveis nos Anexos 1 e 2 respectivamente, por não apresentarem dispositivo de acionamento independente próximo às janelas que fazem divisa com o ambiente externo, limitam o nível máximo para “C”. Para as sacadas do pavimento superior existe a falta de divisão do circuito detalhado no projeto o que limitaria o nível máximo para “D”, porém com a visita ao local, é possível avaliar que eles possuem, sim, acionamento de iluminação individual, o que satisfaz o pré-requisito para todos os níveis.

Os pré-requisitos para o sistema de condicionamento de ar são automaticamente atingidos, porque neste trabalho foi considerado que todos os ambientes de permanência prolongada possuem um equipamento de condicionamento de ar etiquetado com ENCE nível “A” e atendendo os pré-requisitos de isolamento de dutos e de aquecimento.

O *software EnergyPlus* e o arquivo bioclimático de São Carlos utilizado atendem aos pré-requisitos estabelecidos para a simulação. Portanto, devido à transmitância térmica da cobertura e da inexistência de acionamento separado de lâmpadas próximas a janelas de 3 cômodos, o edifício passa a ser classificado com o nível “C”.

6.2 INI-C

Para uma comparação simples, a Tabela 24 mostra o consumo total dos modelos e expõe, também, os consumos em iluminação, equipamentos, e tanto aquecimento quanto refrigeração do sistema de ar condicionado e os valores totais do consumo anual dos modelos encontram-se no gráfico da

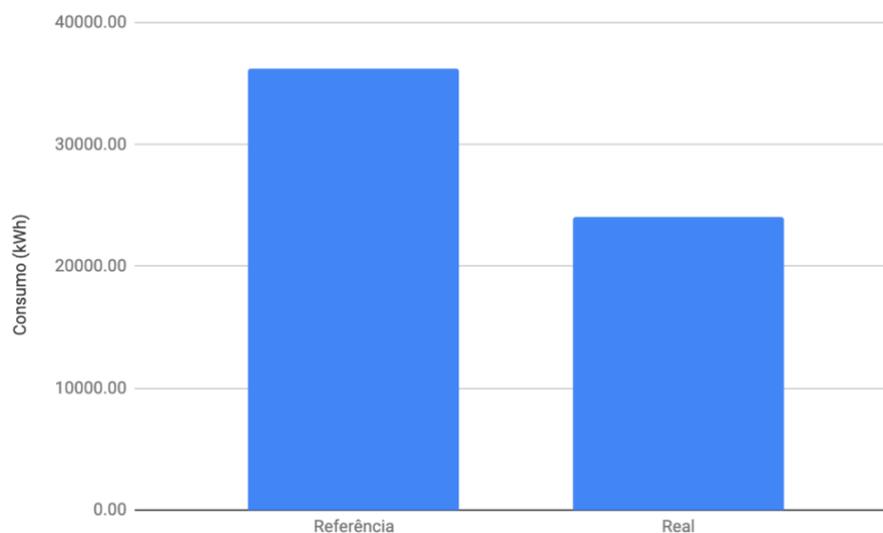
Figura 31, visto que no método da INI-C a metodologia para a classificação não se resume a mera comparação dos valores de consumo total dos modelos. É possível observar que o consumo com aquecimento é muito pouco significativo em relação aos outros consumos. Nota-se também que o consumo do modelo real está aproximadamente 40% menor do que o do modelo de referência.

Tabela 24. Consumo anual total e por sistema dos modelos simulados da INI-C em kWh

Modelo	Eletricidade		Condicionamento do ar		Total
	Iluminação	Equipamentos	Refrigeração	Aquecimento	
Referência	18.213,46	9.043,16	8.951,77	11,30	36.219,70
Real	10.858,58	9.043,16	4.162,72	8,43	24.072,90

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Figura 31. Consumo anual dos modelos simulados da INI-C em kWh



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Para se obter a tabela de classificação de eficiência da edificação, é necessário encontrar o fator de forma. Substituindo os valores em (5), tem-se:

$$FF = 897,81 / 1.966,18$$

$$FF = 0,456 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

Analisando a Tabela 17 encontra-se o CRC_{EPD-A} de 0,35 para este fator e o grupo climático de São Carlos, que no caso é o grupo 2, como visto anteriormente. Como esse edifício não possui consumo de energia térmica (aquecimento de água) nem geração de energia local, a equação para se obter o consumo de energia primária total da edificação real ($C_{EP,real}$), derivada da Equação 3, é mostrada abaixo na Equação 8, a equação para o consumo de referência se mantém a mesma. O fator de conversão de energia elétrica em energia primária (f_{CE}) é de 1,6 (média entre os anos de 2014 a 2018 retirado de <http://www.pbeedifica.com.br/node/134> em 22 de outubro de 2021).

$$C_{EP,real} = (C_{EE,real} \cdot f_{CE}) \quad (8)$$

Assim, com o uso das Equações 8 e 4, se obtém os valores de $C_{EP,real}$ e de $C_{EP,ref}$ que valem 38.516,64 kWh/ano e 57.951,51 kWh/ano respectivamente. Agora para os intervalos de classificação, seguindo a Equação 6, tem-se:

$$i = (57.951,51 \times 0,35) / 3$$

$$i = 6.761,009$$

Com essas informações é possível se obter a tabela de classificação de eficiência, baseada na Tabela 18, mostrada a seguir na Tabela 25. E o percentual de redução do consumo estimado de energia primária (RedC_{EP}), da Equação 2, é de 33,536%, como mostrado a baixo.

$$\text{RedC}_{EP} = ((57.951,51 - 38.516,64) / 57.951,51) \times 100$$

$$\text{RedC}_{EP} = 33,536\%$$

Tabela 25. Classificação de eficiência da edificação

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> 37.668,48	> 44.429,49	> 511.90,50	> 57.951,51
Limite inferior	≤ 37.668,48	≤ 44.429,49	≤ 51.190,50	≤ 57.951,51	-

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

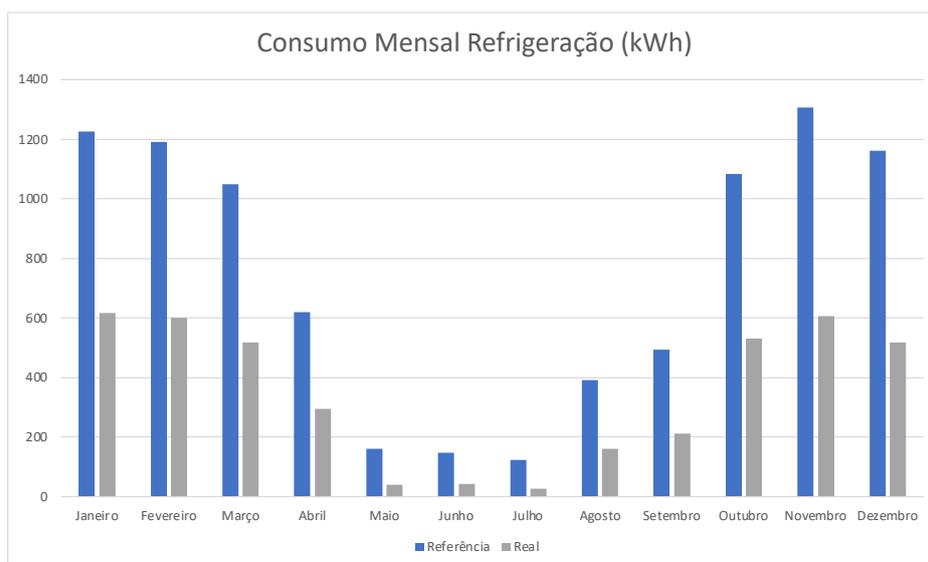
A classificação deste edifício será “B”, uma vez que o valor de C_{EP,real}, que é 38.516,64, está entre os valores limitantes desta classificação.

6.2.1 Consumo do sistema de condicionamento do ar

Conforme citado nos resultados do RTQ-C, a análise do consumo mensal do sistema de condicionamento do ar é importante por ser significativa com relação ao consumo energético total. Na análise da INI-C, essa informação é igualmente relevante, pelo mesmo motivo.

Foi produzido, então, um gráfico em que é mostrado os consumos mensais de referência e reais do sistema de refrigeração do edifício em questão, exibido na Figura 32.

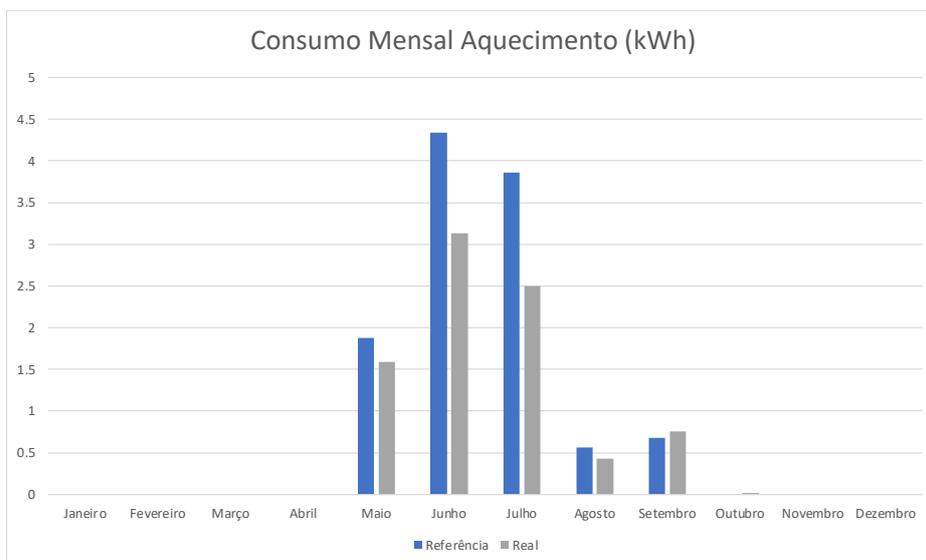
Figura 32. Consumo mensal para refrigeração em kWh



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

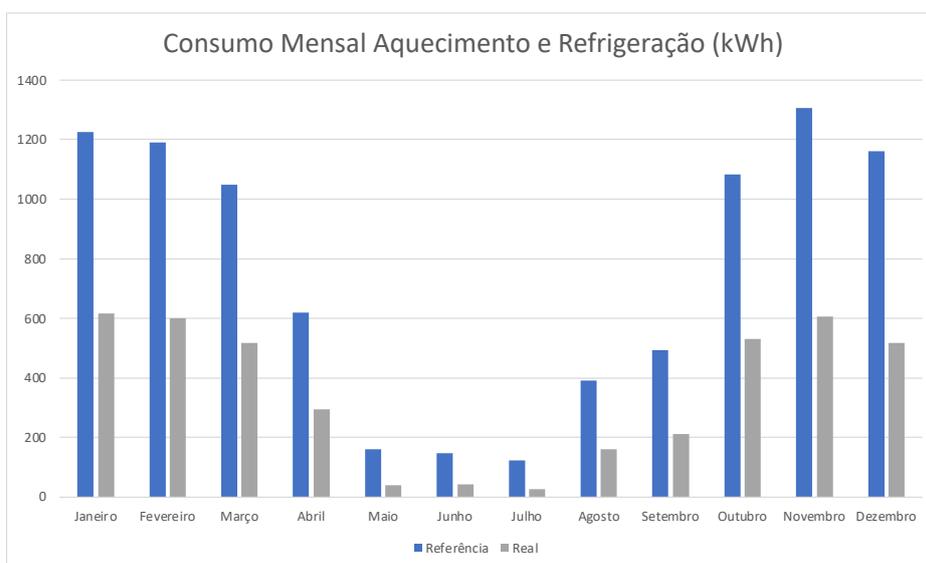
Nota-se que esse consumo também é muito mais acentuado de janeiro a março e de outubro a dezembro, indo ao encontro da distribuição dos consumos do RTQ-C da Figura 27. Além disso, é possível observar que os consumos mensais para o modelo real são um pouco menores do que a metade do consumo do modelo de referência.

Já na Figura 33, são mostrados os consumos de referência e reais de aquecimento para o edifício nos meses considerados, formando um formato de gráfico similar ao da Figura 28, referente aos consumos do RTQ-C. Porém, é notório que seus valores de energia consumida são muito inferiores em comparação tanto com o consumo para refrigeração do INI-C (Figura 32) quanto com o consumo de aquecimento do RTQ-C (Figura 28).

Figura 33. Consumo mensal para aquecimento em kWh

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Na Figura 34, os dois consumos são somados, porém não se observa alteração significativa em relação ao gráfico da Figura 32, uma vez que os consumos com aquecimento são irrisórios em comparação aos totais. Esses valores extremamente baixos de consumo com aquecimento na região podem ser explicados considerando-se o grupo bioclimático de São Carlos - SP.

Figura 34. Consumo mensal para refrigeração e aquecimento em kWh

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

6.2.2 Pré-requisitos

Como na INI-C os pré-requisitos se aplicam somente ao nível “A”, essa análise não alterará a classificação do edifício em estudo, visto que se classificou com nível “B”, porém é uma análise de extrema importância para o caso de se desejar alcançar uma melhor categoria.

Neste trabalho foi considerado que todos os ambientes de permanência prolongada possuem um equipamento de condicionamento de ar etiquetado com ENCE nível “A” e atendendo os pré-requisitos de isolamento de dutos e de aquecimento, portanto os pré-requisitos para esse sistema são automaticamente atingidos.

Analisando as plantas de iluminação do pavimento térreo e do primeiro pavimento, disponíveis nos Anexos 1 e 2 respectivamente, tem-se em destaque os ambientes que não possuem controle instalado para o acionamento independente do conjunto de luminárias mais próximo das aberturas, localizadas nas zonas primárias de iluminação natural, de forma a propiciar o aproveitamento da luz natural disponível. Fazendo com que o nível “B” seja o maior possível para este edifício.

Para o controle do sistema de iluminação, o edifício analisado não possui ambientes com mais de 250m², porém para o depósito e as sacadas do pavimento superior existe a falta de divisão do circuito detalhado no projeto o que impediria a classificação em nível “A”, entretanto, com uma visita ao local, é possível avaliar que eles possuem, sim, acionamento da iluminação interna do ambiente de forma independente. Os dispositivos de acionamento instalados são facilmente acessíveis e localizados de modo que o usuário pode ver o conjunto de luminárias que está sendo controlado, satisfazendo, então, os pré-requisitos.

Como o edifício em estudo não possui aquecimento de água, esse pré-requisito não foi analisado.

6.3 Comparativo dos métodos

Neste item, os resultados obtidos para cada método são comparados, bem como a metodologia para a obtenção de cada um, sendo feita uma análise do que se pode inferir deles.

6.3.1 Quanto aos Resultados

Pelo consumo energético, o RTQ-C, classifica o edifício no nível “B” com um consumo real de 15.006,77 kWh/ano, enquadrando-se entre os limites de consumo de 13.836,95 kWh/ano e 15.811,80 kWh/ano para os níveis “A” e “B”, respectivamente. Entretanto, a classificação final é “C” devido ao descumprimento de 2 pré-requisitos: elevada transmitância da cobertura, conforme Tabela 14, e ausência de dispositivo de acionamento independente próximo às luminárias conforme Anexos 1 e 2.

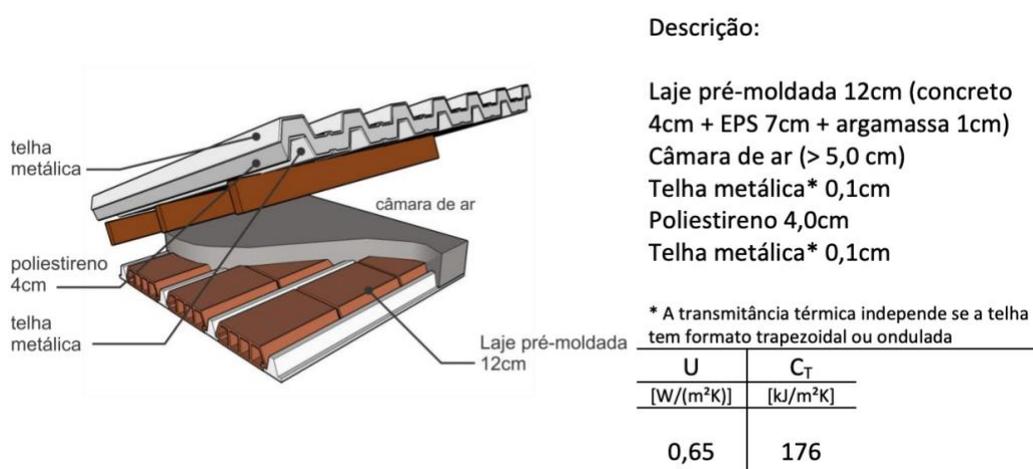
Considerando-se uma situação hipotética de geração local de energia através de painéis solares fotovoltaicos de aproximadamente 1.170 kWh/ano para esse edifício, o que é possível segundo o trabalho de Andrade (ANDRADE et al., 2021), para que o consumo energético da edificação diminua para o limite do nível “A”, a sua classificação segundo o nível de eficiência energética permaneceria inalterada. Isso ocorre devido ao não cumprimento dos pré-requisitos acima citados, o que manteria a classificação como nível “C”.

Uma maneira de se conseguir obter o nível “B” para o edifício estudado seria realizando-se uma reforma de sua cobertura, o que resolveria a questão da transmitância elevada da cobertura. Sugere-se a adição de uma camada de 4 cm de poliestireno para diminuir a transmitância para algo próximo de 0,65 W/m²K. Além disso, deve-se fazer uma alteração no acionamento das luminárias dos três cômodos em destaque nos Anexos 1 e 2, para que as que estão perto das janelas sejam acionadas independentemente.

A Figura 35 apresenta um esquema similar à cobertura atual do edifício com adição de 4,0cm de poliuretano abaixo da telha metálica, o que custaria R\$204,81/m².

resultando um valor de R\$54.500,00 considerando-se somente o preço do material (BOLD, 2021).

Figura 35. Esquema de composição da cobertura sugerida para o edifício



Fonte: BRASIL (2017).

Pelo método da INI-C, o edifício também foi classificado no nível “B”, assumindo um consumo real de 38.516,64 kWh/ano, o qual está entre os valores 37.668,48 kWh/ano e 44.429,49 kWh/ano, limitantes de máximo e mínimo, respectivamente, desse nível.

Considerando-se os resultados da INI-C envolvendo a mesma situação hipotética de geração local de energia citada anteriormente, de aproximadamente 850 kWh/ano (ANDRADE et al., 2021), essa edificação já atingiria o nível “A” de classificação, não fosse o descumprimento do pré-requisito das luminárias na zona primária de iluminação natural.

Para resolver esse empecilho, pode-se fazer uma alteração no acionamento das luminárias dos três cômodos em destaque nos Anexos 1 e 2, de modo que as que estão perto das janelas sejam acionadas independentemente.

6.3.2 Quanto aos Procedimentos

Além das diferenças já citadas no Quadro 2, uma grande diferença entre as metodologias utilizadas neste estudo é o número de modelos de referência, já que no RTQ-C são quatro distintos e na INI-C é somente um, o que facilita muito o processo de classificação do edifício e reduz o tempo gasto para tal.

Outra diferença a ser citada entre os métodos em questão e que se mostrou altamente relevante neste estudo é a determinação da capacidade térmica da envoltória e da cobertura, a qual no modelo anterior (RTQ-C) não era pré-definida.

Considera-se como melhoria significativa no modelo de referência da INI-C a existência de valores estabelecidos para todos os parâmetros da simulação, diferentemente do método do RTQ-C, para o qual se dispunha somente dos pré-requisitos como base para os parâmetros, os quais deixam de existir a cada nível. A partir do nível “B”, por exemplo, a absorvância da envoltória deixa de ser um requisito mínimo, ficando a critério de quem está trabalhando nos modelos decidir qual valor utilizar para cada nível subsequente. Esse parâmetro pode ser o mesmo ou um valor diferente, o que alteraria o consumo energético da simulação, não existindo então um valor único para o consumo total de cada nível de eficiência.

Assim, pode-se dizer com base no desenvolvimento deste trabalho que a INI-C apresentou uma precisão maior que o RTQ-C, considerando-se os procedimentos de classificação do edifício, além de maior simplicidade das simulações, por conta da definição de parâmetros, dispensando a adoção de valores arbitrados no processo de cálculo.

Essa vantagem da INI-C referente à sua maior precisão no que se refere aos seus parâmetros também foi observada por autores de outros trabalhos comparativos dessas duas metodologias (RODRIGUES, 2020); (LEITE; HACKENBERG, 2020); (LIMA, 2020).

Em ambos os casos, foi preciso criar modelos reais, os quais mostraram-se similares entre si. As diferenças deles residem na definição explícita das horas de ocupação, do número de ocupantes em cada zona térmica e da densidade de potência dos equipamentos, a qual pode ser substituída pela real, como é utilizado no RTQ-C.

Essas diferenças não representaram dificuldade no desenvolvimento do projeto, porém elas requereram maior capacidade energética do edifício. Isso ocorreu, pois o funcionamento por 10 horas consecutivas, como foi o caso pela INI-C por ser um edifício de escritórios, em comparação com um funcionamento de 8 horas com 2 de intervalo, como foi o utilizado pelo RTQ-C, fez com que o aquecimento gerado internamente fosse maior e, conseqüentemente, o consumo energético com a refrigeração para manter os ambientes em temperatura de conforto também.

No momento da classificação da eficiência da edificação pelo RTQ-C, só se comparou o consumo do modelo real com os modelos de referência, já pela INI-C se criou uma escala levando em consideração em qual grupo climático se insere esse edifício e qual o seu fator de forma. Isso gerou uma escala mais condizente com as reais necessidades para a eficiência do edifício em estudo.

6.3.3 Análise avaliativa

Uma análise relevante a se fazer é usar o modelo de nível “A” do RTQ-C como base para verificar se ele também se classificaria como tal no método da INI-C. Para isso, o modelo de referência de nível “A” detalhado no item 4.2 Modelagens das Edificações de Referência pelo método do RTQ-C foi utilizado, alterando-se somente a ocupação, a densidade de potência dos equipamentos e as horas em que o edifício está ocupado para se enquadrar como modelo real da INI-C, como exibido na Tabela 19.

A Tabela 26 apresenta os valores obtidos anteriormente dos consumos dos modelos padrão para a INI-C e o novo modelo criado para comparar os dois métodos. Como pode ser observado, o modelo de nível “A” do RTQ-C é mais eficiente do que o modelo real, afinal, o edifício real é classificado com o nível “B” pela INI-C.

Tabela 26. Consumo anual total e por sistema dos modelos da INI-C e do modelo de nível “A” do RTQ-C simulados pela INI-C em kWh

Modelo	Eletricidade		Condicionamento do ar		Total
	Iluminação	Equipamentos	Refrigeração	Aquecimento	
Referência	18.213,46	9.043,16	8.951,77	11,30	36.219,70
Real	10.858,58	9.043,16	4.162,72	8,43	24.072,90
RTQ-C A	10.325,39	9.043,16	3.341,23	5,74	22.715,53

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Utilizando-se a Equação 8 para o consumo de energia primária total deste modelo ($C_{EP,RTQ-C A}$) e o f_e de 1,6, como feito previamente para o $C_{EP,real}$, obtém-se o valor de 36.344,84 kWh/ano, classificando esse modelo no nível “A” da Tabela 25, referente ao modelo da INI-C.

A classificação do modelo do “RTQ-C A” como nível “A” ao se aplicar a metodologia da INI-C, resultou em uma discrepância energética de mais de 1.000 kWh/ano, o que sugere que a metodologia da INI-C oferece maiores chances de se obter uma classificação melhor em comparação com a da metodologia do RTQ-C. Isso vai ao encontro do que foi observado por outros autores (LEITE; HACKENBERG, 2020); (OLIVEIRA, 2021); (BARBOSA; PIMENTEL, 2020), mesmo que neste trabalho tenha sido utilizado o método de simulação e não o prescritivo ou simplificado.

Capítulo 7. Conclusão

O desenvolvimento urbano nas últimas décadas resultou em um aumento dramático no consumo de energia dos edifícios, o que aumentou o interesse em melhorar a eficiência energética dos edifícios, justificando o uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edifícios comerciais, de serviços e do setor público. A metodologia do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) é utilizada no processo de etiquetagem na construção de novos prédios públicos federais e na reforma de prédios públicos existentes. A Instrução Normativa Inmetro para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), a qual visa substituir o método do RTQ-C.

Este trabalho apresentou o estudo para análise de eficiência energética de um edifício da UFSCar, classificando-o em níveis de eficiência energética de acordo com as metodologias do RTQ-C e da INI-C, pelos métodos de simulação. Estudos envolvendo esses métodos ainda representam lacuna na literatura científica, pois o comum é a realização de comparação entre os métodos prescritivo e simplificado das metodologias supracitadas. Assim, foram realizadas simulações de consumo para ambos os casos utilizando-se os programas *EnergyPlus* e *SketchUP*. Os resultados obtidos segundo o método do RTQ-C classificaram o edifício estudado no nível “C”. A metodologia da INI-C, por sua vez, classificou o edifício no nível “B” e apresentou um percentual de redução do consumo estimado de 33,5% nas condições atuais de funcionamento. Essa porcentagem de economia do consumo de energia fornecida pelo método da INI-C é uma informação que pode ser de grande relevância para projetistas e consumidores finais.

Foi possível, também, realizar uma comparação de ambas as metodologias em termos de resultados obtidos e procedimentos utilizados para tal. Nesse sentido, conclui-se que os procedimentos de simulação da metodologia da INI-C foram mais simples de serem realizados, por requererem a criação de um número menor de modelos que a metodologia do RTQ-C. Além disso, a INI-C apresentou uma precisão maior na classificação do edifício, por possuir parâmetros pré-estabelecidos para

todas as variáveis necessárias para o desenvolvimento dos modelos. No entanto, pode-se dizer que há uma maior facilidade de se obter uma melhor classificação utilizando-se o método da INI-C em comparação com a metodologia do RTQ-C.

O estudo também ofereceu um panorama comparativo para o período de um ano dos consumos mensais do sistema de condicionamento de ar para o edifício em questão, podendo-se observar as variações desses consumos segundo as diferentes metodologias utilizadas. Como esperado para o local em que insere a edificação, os consumos mais representativos, independente da metodologia aplicada na simulação, referem-se à refrigeração dos ambientes tendo em vista o seu conforto térmico, especialmente nos meses de outubro a março.

7.1 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, sugere-se a análise de viabilidade de inserção de um sistema fotovoltaico e posterior classificação pela INI-C. Também pode ser realizada uma comparação de todos os níveis do RTQ-C inseridos como modelos da INI-C para verificar se suas classificações se mantêm, além de comparações dos consumos energéticos e suas respectivas classificações obtidos pelo método simplificado e de simulação da INI-C. Um outro trabalho importante é a estimativa da ação de procedimentos de manutenção da edificação, pois, à medida que o edifício e seus equipamentos se desgastam, o nível de eficiência diminui.

7.2 Publicação

Em termos de contribuição científica, este trabalho possibilitou a criação de um artigo denominado “Impacto do Uso de Painéis Solares na Carga Térmica de um Edifício Público” apresentado no XVII CONBRAVA (Congresso Brasileiro de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação, Aquecimento e Tratamento do Ar) em novembro de 2021 (ANDRADE et al., 2021).

Referências

ABREU, Chrystyane Gerth Silveira. Eficiência Energética Em Edificações: O Caso Dos Prédios Públicos Existentes. **ENEGEP-Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Fortaleza, Ceará, 2015, 13.

ANDRADE, H. J. C. de; NASCIMENTO, C. F. do; MORAES, A. A. U. de; CHVATAL, K. M. S. Impacto do Uso de Painéis Solares na Carga Térmica de um Edifício Público. **XVII CONBRAVA: CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR**, São Paulo, 25 nov. 2021.

ALTOÉ, Leandra et al. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, v. 31, p. 285-297, 2017.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401 I, II e III**. Rio de Janeiro. 2008.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Norma 02- 135: Desempenho Térmico de Edificações**. Rio de Janeiro. 2004

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15220-3:2005**. Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2005

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Regulamentação: Leis e Normas**. 2021.

BOLD. **Catálogo**. [S. l.], 6 dez. 2021. Disponível em: https://loja.bold.net/produtos/departamento/chapas-de-poliestireno/?gclid=CjwKCAiAhreNBhAYEiwAFGGKPGrlukE42oRW02vL4UxwOagOGh-WJC3PQdhbeHB03P-7CkDoFYNToxoCRtYQAvD_BwE. Acesso em: 6 dez. 2021.

BRASIL. **Lei n. 10.295**, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasília, DF, 2001.

BRASIL, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Anexo Geral V – Catálogo De Propriedades Térmicas De Paredes, Coberturas E Vidros**. Rio de Janeiro, 27 nov. 2017.

BRASIL, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Portaria n° 372**, 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). **Portaria n. 42**, de 24 de fevereiro de 2021a. Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), especificando os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética. DOU: 09/03/2021.

BRASIL. **Instrução Normativa SLTI/MPOG nº 2/2014**. 02/ 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Relatório das Atividades do Comitê Gestor dos Indicadores de Eficiência Energética**. Comitê Gestor dos Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE), 2014a.

BRASIL. **Manual para Aplicação do RTQ-C: Comercial, de Serviço e Público**. 2. ed., 03/2014b.

BRASIL. **Manual de aplicação da INI-C: Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. 1. ed., 06/2021b.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Nosso futuro comum**: comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CARVALHO, Amanda Rosa de. **Discussão das possibilidades de Retrofit energético no Casarão 2 segundo os critérios da INI-C e EnerPHit Standard**. 2020. 124f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

COSTA, V. H. da. **Análise da etiqueta Geral do edifício de Engenharia Elétrica e Mecânica da UFSCar pelo método RTQ-C**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.

DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES. 7. ed. Florianópolis: 2016. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf. Acesso em: 6 dez. 2021.

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

DORNELLES, Kelen Almeida et al. **Absortância solar de superfícies opacas**: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. 2008. Campinas, SP: [s.n.], 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

ELETROBRÁS / PROCEL. **Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica**. Guia Técnico – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (IBAM). Rio de Janeiro, 2010.

ENERGYPLUS. **EnergyPlus**. Disponível em: <https://energyplus.net/>. Acesso em: 8 dez. 2021.

ENERGY STAR. **ENERGY STAR Certification for Buildings**. Disponível em: https://www.energystar.gov/buildings/building_recognition/building_certification. Acesso em: 4 mar. 2022.

EUROPEAN COMMISSION. **Certificates and inspections**. Disponível em: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/certificates-and-inspections_en. Acesso em: 4 mar. 2022.

FIALHO, Edson S. Estudos climáticos em sítios urbanos e rurais. In: SILVA, C. A.; FIALHO, Edson. S. (org). **Concepções e Ensaios da Climatologia Geográfica**. E-book, 2012, p. 83-114

GEORGI, Aurea Lúcia Vendramin. **Aquecimento solar de água: Desempenho e racionalização de materiais e energia alternativa fundamental para o desenvolvimento sustentável**. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

GUEDES, Rita; BUORO, Anarrita Bueno. Reuso de containers marítimos na construção civil. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e artista**, 2015, 5.3: 101-118.

GRÄFF, Mirian Aline et al. Edificação nível a: requisitos para adequação conforme RTQ-C e RTQ-R. **XXVI Seminário de Iniciação Científica**, Rio Grande do Sul, 4 out. 2018.

HADDAD, Jamil. Uso eficiente da energia: dos incentivos regulatórios recentes até a atual lei de eficiência energética. **Revista Brasileira de Energia**. v.9, p.107-118, 2002.

HARADA, Magali. **Arquitetura Bioclimática**. Florianópolis, 10 fev. 2018. Disponível em: <http://bioclimatismo.com.br/arquitetura-bioclimatica/>. Acesso em: 6 dez. 2021.

HARADA, Magali. **Zoneamento Bioclimático Brasileiro**. Florianópolis, 10 fev. 2018. Disponível em: <http://bioclimatismo.com.br/bioclimatismo/zoneamento-bioclimatico-brasileiro/>. Acesso em: 6 dez. 2021.

HQE. **Discover and join HQE**. Disponível em: <https://www.behqe.com/>. Acesso em: 4 mar. 2022.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **São Carlos**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/?codmun=354890> Acesso em: nov. 2021.

LabEEE. **WebPrescritivo**. Florianópolis. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>. Acesso em: 1 dez. 2021.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Florianópolis: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LEITE, Ellen Flávia Weis; HACKENBERG, Ana Mirthes. Eficiência energética de envoltória: comparação dos métodos de avaliação RTQ-C e INI-C através de estudo de caso. **Revista gestão e sustentabilidade ambiental**, Florianópolis, v. 9, p. 532-552, 4 fev. 2020. DOI <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020532-552>.

LIMA, Kelianny da Silva. **Análise comparativa de métodos de avaliação da eficiência energética em uma edificação comercial no semiárido potiguar**. Trabalho de Conclusão de Curso, Mossoró, 8 dez. 2020.

LOPER, Ana Claudia Menoncin. **Análise do consumo energético de edificações bancárias segundo parâmetros do programa brasileiro de etiquetagem**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Curitiba, 2019.

MARANGONI, Filipe et al. Comparativo econômico entre condicionadores de ar com tecnologias convencional e inverter. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Fortaleza, v. 35, 2015.

MARINOSKI, Ana Kelly. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino**: estudo de caso em Florianópolis – SC. 2007. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso- Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007.

MARQUES, L. O. A. **Plataforma digital de benchmarking para controle de perdas em sistemas de abastecimento de água**. Dissertação de Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2021.

MELO, A. P.; WESTPHAL, F. S.; MATOS, M. **Apostila do curso básico do Programa Energy Plus**. Florianópolis, setembro de 2009. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4202_Apostila_EnergyPlus_0.pdf. Acesso em: 15 out. 2021.

MORAES, A. A. U. et al. Avaliação do consumo energético de dois sistemas distintos de climatização em um restaurante na cidade de Uberaba-MG via Energy Plus. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**. Uberaba, v. 3, n. 1, 2018.

MORAES, A. A. U. de. **Estudos do conforto térmico do at 7 do campus da UFSCAR**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) do Centro Universitário Central Paulista, São Carlos, 2021.

OLIVEIRA, D. P. R. de. **Eficiência energética segundo regulamento brasileiro de etiquetagem: estudo em edificação do exército brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, fev. 2021.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. 49p. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 14 jan. 2022.

PEREIRA, E. D. L.; ANDRADE, M. L. V. X. O uso BIM para a avaliação da eficiência energética de projetos de edifícios públicos com a aplicação da INI-C. Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção, 3., 2021. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1–10. DOI: 10.46421/sbtic.v3i00.631.

PÉREZ-LOMBARD, Luis; ORTIZ, José; POUT, Christine. A review on buildings energy consumption information. **Energy and buildings**, 2008, 40.3: 394-398.

PIMENTEL, B. P. et al. Comparação dos métodos simplificado e de simulação propostos no novo regulamento brasileiro de etiquetagem de edificações públicas. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 179-200, 2021.

PIMENTEL, B. P.; BARBOSA, A. T. R. Etiquetagem Energética de uma Edificação Militar pelas Metodologias dos Regulamentos Brasileiros RTQ-C e INI-C. **Simpósio Mundial de Sustentabilidade**, Florianópolis, v. 9, p. 631-647, 12 maio 2020. DOI 10.19177/rgsa.v9e0l2020631-647.

PROJETEEE. **Componentes Construtivos**. [S. /]. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/>. Acesso em: 1 dez. 2021.

QUEVEDO, Tiago de Castro. **Simulações paramétricas para determinação de diretrizes construtivas para desempenho energético de um prédio educacional**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina., Florianópolis, jul. 2019.

RAMPAZZO, Camila Riboli; Sant'Anna NETO, João Lima. Características do clima urbano em São Carlos/SP a partir de dados de temperatura e umidade relativa do ar e técnicas de sensoriamento (dos alvos). **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 1520-1531, 2017.

RIBEIRO, N. F. **Procedimentos simplificados para a avaliação da envoltória pelo método prescritivo do RTQ-C, com foco em edificações existentes**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 24 out. 2016.

RODRIGUES, Gécica Mara. **Análise de metodologias para avaliação da eficiência energética de edificações públicas**. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, dez. 2020.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – Versão 3.0**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Grupo de trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP: 2014.

SCHAEDLER, Luciano. Simulação computacional de uma residência visando a análise do consumo energético. **FAHOR. Horizontina**, 2014.

SECHINI, D.; FRIES, E. C. **Viabilidade da etiquetagem de eficiência energética para o sistema de iluminação**: estudo de caso pós retrofit. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2018.

SEGEF, Secretaria Geral de Gestão do Espaço Físico. **SEGEF**. Disponível em: <https://www.segef.ufscar.br/>. Acesso em: 4 mar. 2022.

SKETCHUP. **SketchUp**. Disponível em: <https://www.sketchup.com/pt-BR>. Acesso em: 8 dez. 2021.

SILVA, B. P. **Análise da eficiência energética conforme o Manual RTQ-C/PROCEL EDIFICA**: um estudo de caso no Ministério Público do Trabalho de Campo Mourão-PR. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB) do Campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR). Campo Mourão, 2015.

TSAI, Angélica Lai Thyen. **A inovação e a importância das construções sustentáveis**. Boletim de Inovação e Sustentabilidade. PUC-SP, 2013.

VERBEECK, G.; HENS, H. Life Cycle Inventory of Buildings: a contribution analysis. **Building and Environment**, v. 45, n. 4, p. 964-967, 2010.

WEBARCONDICIONADO. Entenda o que é COP e EER e saiba como calcular. 2015. Disponível em: <https://www.webarcondicionado.com.br/entenda-o-que-e-cop-e-eer-e-saiba-como-calcular> Acesso em: 12 nov. 2021.

WEC, World Energy Council. **World Energy Trilemma**: 2013 Energy Sustainability Index. 2013. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2013/09/2013-Energy-Sustainability-Index-VOL-2.pdf> Acesso em: 12 nov. 2021.

WWF, *World Wildlife Fund*. **Agenda Elétrica Sustentável 2020**: Estudo de Cenários para um Setor Elétrico Brasileiro Eficiente, Seguro e Competitivo. Brasil, 2020. Disponível em: <https://canalenergia.com.br/biblioteca/16581336/agenda-eletrica-sustentavel-2020-estudo-de-cenarios-para-um-setor-eletrico-brasileiro-eficiente-seguro-e-competitivo> Acesso em: 10 out. 2021.

Glossário

Absortância Térmica: A absortância é o percentual, medido de 0 a 1 ou de 0 a 100%, da possibilidade da parede externa e da cobertura em absorver a radiação solar.

Eficiência Energética: A eficiência energética pode envolver diversos aspectos, como a qualidade da iluminação, o conforto térmico humano, a ventilação (natural e artificial) e também o consumo de energia elétrica.

ENCE: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia é a etiqueta utilizada para mostrar a eficiência de edifícios e produtos.

Envoltória: A envoltória trata dos planos que separam o ambiente interno do ambiente externo em uma edificação, como paredes, janelas e portas.

Infiltração do Ar: Vazamento de ar (não controlado) para dentro de ambientes através de frestas de qualquer elemento do edifício tais como janelas e portas, causado por diferenças de pressão entre esses elementos devido a fatores como vento, diferenças de temperatura interna e externa e desequilíbrio entre os sistemas de exaustão e ventilação.

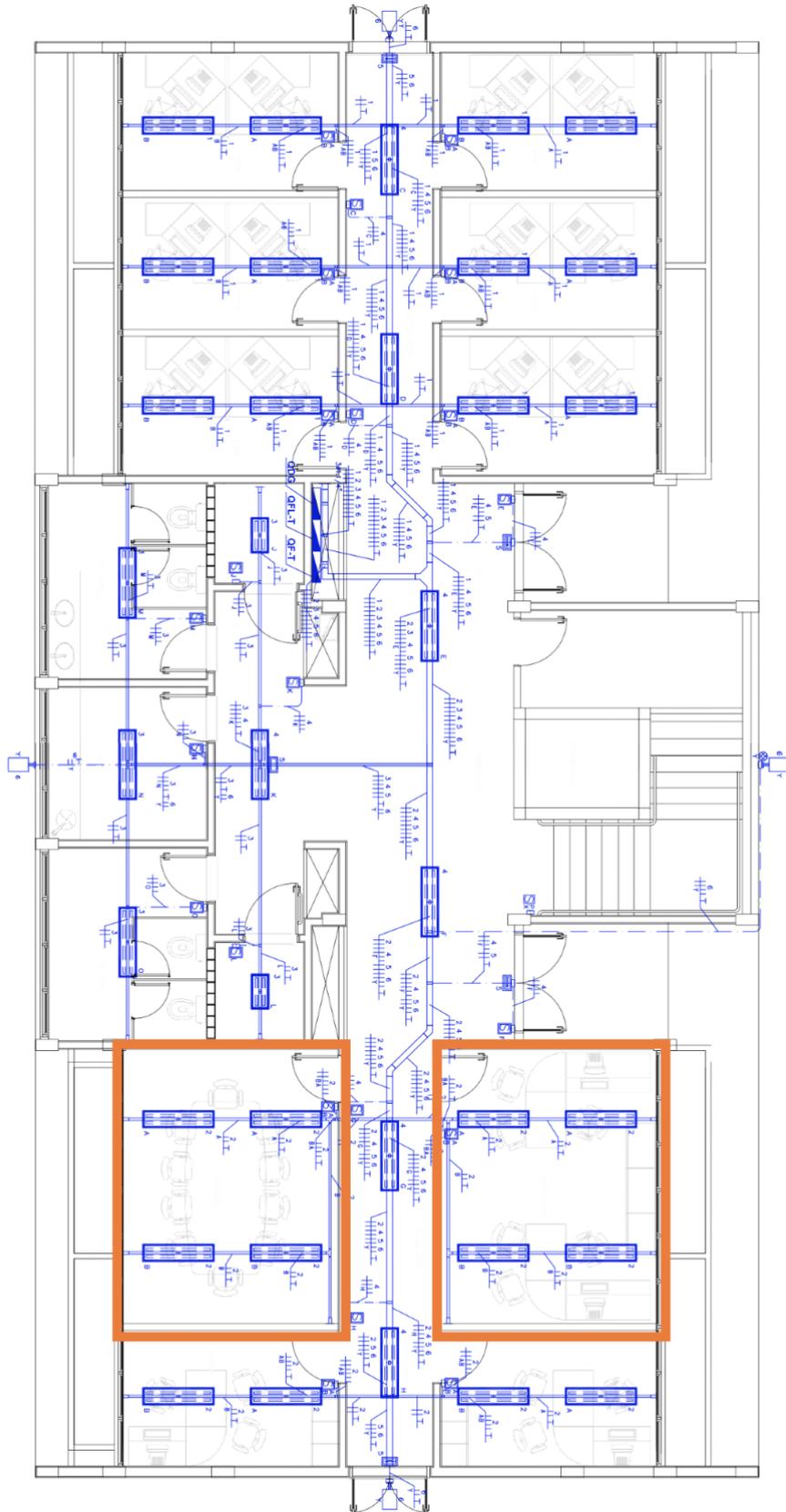
INI-C: Instrução Normativa Inmetro para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, instruções para análise de eficiência energética de edificações. Irá substituir o RTQ-C.

Retrofit: Troca de equipamentos, usualmente por modelos mais econômicos.

RTQ-C: Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, método para análise de eficiência energética de edificações.

Transmitância Térmica: A transmitância térmica é a propriedade que mede a resistência do calor de atravessar a envoltória.

Anexo 1. Planta de iluminação do térreo



Anexo 2. Planta de iluminação do primeiro pavimento

