

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO:  
APLICAÇÃO DA INI-C NO PRÉDIO DA ENGENHARIA MECÂNICA

por

Matheus Ribeiro da Silva

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, janeiro de 2024.

## DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

Da Silva, Matheus Ribeiro  
Classificação de eficiência energética de uma  
edificação: Aplicação da INI-C no prédio da Engenharia  
Mecânica / Matheus Ribeiro Da Silva. -- 2024.  
30 f.  
Orientadora: Leticia Jenisch Rodrigues.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de  
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto  
Alegre, BR-RS, 2024.

1. Eficiência energética. 2. INI-C. 3. ENCE. I.  
Rodrigues, Leticia Jenisch, orient. II. Título.

Matheus Ribeiro da Silva

CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO:  
APLICAÇÃO DA INI-C NO PRÉDIO DA ENGENHARIA MECÂNICA

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Ignacio Iturrioz  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Letícia Jenisch Rodrigues

Comissão de Avaliação:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Letícia Jenisch Rodrigues (Presidente)

Prof. Dr. Cirilo Seppi Bresolin

Prof. Dr. Darci Barnech Campani

Dr<sup>a</sup>. Fernanda Lamego Guerra

Porto Alegre, janeiro de 2024.

## DEDICATÓRIA

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo amor incondicional e apoio constante.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, por todo apoio durante a graduação. Aos meus amigos, por estarem sempre ao meu lado. À todos os professores, pela dedicação e trabalho. À UFRGS, por proporcionar um ensino de excelência.

Silva, Matheus Ribeiro da. **Classificação de eficiência energética de uma edificação: Aplicação da INI-C no prédio da Engenharia Mecânica**. 2024. 30 páginas. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

## RESUMO

Utilizando-se do método simplificado proposto pela nova Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), este trabalho busca obter uma avaliação atualizada da eficiência energética do prédio do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com o intuito de classificá-lo conforme os critérios estabelecidos pela INI-C, identificando pontos com potencial de melhoria. Por meio da comparação do consumo real da edificação com uma edificação de referência, são avaliados os sistemas de iluminação, condicionamento de ar e a envoltória, requisitos para a obtenção da ENCE geral. O sistema de iluminação apresenta um percentual de redução de consumo de 54,22%, podendo ser classificado como A. Todavia, não cumpre com o pré-requisito de contribuição da luz natural e recebe classificação B. Apresentando um percentual de redução de carga térmica de 20,91%, a envoltória é classificada com o nível de eficiência energética A. Este resultado se deve, em parte, à baixa transmitância térmica das paredes externas e pisos quando comparados ao modelo de referência. O sistema de condicionamento de ar, por sua vez, apresenta um percentual de redução de consumo de 38,82% e é classificado com o nível B de eficiência energética. Porém, destaca-se que as informações acerca das máquinas são escassas e o resultado tem como base um  $CEE_R$  médio estimado em 3,36. A edificação apresenta um percentual de redução de consumo de energia primária de 35,34%, sendo classificada com o nível B. Este valor é suficiente para atingir o nível A, porém a edificação não atende aos pré-requisitos no sistema de iluminação e não há como conferir os pré-requisitos do sistema de condicionamento de ar. Para elevar a classificação geral da edificação é necessário que sejam feitas intervenções em ambos os sistemas. As alterações no sistema de iluminação apresentam relativa fácil execução. Já as alterações no sistema de condicionamento de ar são mais onerosas, exigindo um estudo de viabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência energética, INI-C, ENCE.

Silva, Matheus Ribeiro da. **Energy efficiency classification of a building: Application of INI-C in the Mechanical Engineering building**. 2024. 30 pages. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

## ABSTRACT

This paper seeks to obtain a precise and updated evaluation of the energy efficiency of the building of the Department of Mechanical Engineering, at the Federal University of Rio Grande do Sul, through the simplified method proposed by the new Inmetro Normative Instruction for the Energy Efficiency Classification of Commercial, Service, and Public Buildings (INI-C). The objective is to classify it according to the criteria established by INI-C, identifying areas with potential improvement. By comparing the actual consumption of the building with a reference building, the lighting, air conditioning and envelope systems are evaluated, which are requirements for obtaining the overall Energy Efficiency Classification (ENCE). The lighting system shows a consumption reduction percentage of 54.22%, qualifying it as class A. However, it does not meet the natural light contribution prerequisite and receives a class B rating. With a thermal load reduction percentage of 20.91%, the envelope is classified with an energy efficiency class A. This result is partly due to the low thermal transmittance of the external walls and floors compared to the reference model. The air conditioning system, on the other hand, shows a consumption reduction percentage of 38.82% receiving class B energy efficiency rating. However, it is worth noting that information about the machines is scarce, and the result is based on an estimated average  $CEE_R$  of 3.36. The building has a primary energy consumption reduction percentage of 35.34%, earning a class B rating. This value is sufficient to reach class A; however, the building does not meet the prerequisites in the lighting system, and it is not possible to verify the prerequisites of the air conditioning system. Interventions are necessary in both systems to improve the overall classification of the building. Changes to the lighting system are relatively easy to implement, while changes to the air conditioning system are more costly and require a feasibility study.

**KEYWORDS:** Energy Efficiency, INI-C, ENCE.

## NOMENCLATURA

### Símbolos

$AHS$	Ângulo horizontal de sombreamento	[°]
$A_I$	Área iluminada total	[m <sup>2</sup> ]
$AOV$	Ângulo de obstrução vizinha	[°]
$AVS$	Ângulo vertical de sombreamento	[°]
$C_{EE,real}$	Consumo total de energia elétrica da edificação real	[kW h ano <sup>-1</sup> ]
$C_{EE,refD}$	Consumo total de energia elétrica da edificação de referência	[kW h ano <sup>-1</sup> ]
$CEE_R$	Coefficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar	[adim.]
$C_{EP,real}$	Consumo de energia primária da edificação real	[kW h ano <sup>-1</sup> ]
$C_{EP,refD}$	Consumo de energia primária da edificação de referência	[kW h ano <sup>-1</sup> ]
$C_{EQ}$	Consumo de equipamentos	[kW h ano <sup>-1</sup> ]
$CgTT_{real}$	Carga térmica total anual da edificação real	[kW h ano <sup>-1</sup> ]
$CgTT_{refD}$	Carga térmica total anual da edificação de referência	[kW h ano <sup>-1</sup> ]
$C_{IL,real}$	Consumo do sistema de iluminação real	[kW h ano <sup>-1</sup> ]
$C_{IL,refA}$	Consumo do sistema de iluminação para classificação A	[kW h ano <sup>-1</sup> ]
$C_{IL,refD}$	Consumo do sistema de iluminação para classificação D	[kW h ano <sup>-1</sup> ]
$C_{R,real}$	Consumo de refrigeração do sistema de condicionamento de ar da edificação real	[kW h ano <sup>-1</sup> ]
$C_{R,refD}$	Consumo de refrigeração do sistema de condicionamento de ar da edificação de referência	[kW h ano <sup>-1</sup> ]
$CRC_{EPD-A}$	Coefficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A	[adim.]
$CRCgTT_{D-A}$	Coefficiente de redução de carga térmica total anual da classificação D para A	[adim.]
$CT_{cob}$	Capacidade térmica da cobertura	[kJ m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
$CT_{cob1}$	Capacidade térmica da cobertura (telhas)	[kJ m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
$CT_{cob2}$	Capacidade térmica da cobertura (cúpulas)	[kJ m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
$DPE$	Densidade de potência de equipamentos	[W m <sup>-2</sup> ]
$DPI$	Densidade de potência de iluminação	[W m <sup>-2</sup> ]
$DPI_{L,A}$	Densidade de potência de iluminação limite para classificação A	[W m <sup>-2</sup> ]
$DPI_{L,D}$	Densidade de potência de iluminação limite para classificação D	[W m <sup>-2</sup> ]
$DPI_{real}$	Densidade de potência de iluminação real	[W m <sup>-2</sup> ]
$f_{cE}$	Fator de conversão	[adim.]
$FF$	Fator de forma	[adim.]
$FS$	Fator solar	[adim.]
$i$	Intervalo	[adim.]
$IDRS$	Índice de desempenho de resfriamento sazonal	[adim.]
$PAF$	Percentual de abertura da fachada	[adim.]
$PD$	Pé-direito	[m]
$PI_{L,A}$	Potência de iluminação limite para classificação A	[W]
$PI_{L,D}$	Potência de iluminação limite para classificação B	[W]
$PI_{T,real}$	Potência de iluminação total real	[W]
$RedC_{EP}$	Percentual de redução do consumo de energia primária	[adim.]

$RedC_{gTT}$	Percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória	[adim.]
$RedC_{IL}$	Percentual de redução do consumo de iluminação	[adim.]
$RedC_R$	Percentual de redução do consumo de refrigeração	[adim.]
$U_{cob}$	Transmitância térmica da cobertura	[W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
$U_{cob1}$	Transmitância térmica da cobertura (telhas)	[W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
$U_{cob2}$	Transmitância térmica da cobertura (cúpulas)	[W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
$U_{par}$	Transmitância térmica das paredes externas	[W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
$U_{vid}$	Transmitância térmica do vidro	[W m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]

#### Símbolos gregos

$\alpha$	Absotância solar	[adim.]
$\lambda$	Condutividade térmica	[W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
$\rho$	Densidade de massa	[kg m <sup>-3</sup> ]

#### Abreviaturas e acrônimos

APT	Área de permanência transitória
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
INI-C	Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RS	Rio Grande do Sul
RTQ-C	Regulamento Técnico de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicos
SINFRAEE	Setor de Infraestrutura da Escola de Engenharia
SUINFRA	Superintendência de Infraestrutura
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
VRF	<i>Variable Refrigerant Flow</i>
ZB	Zona Bioclimática

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO .....	2
1.2 OBJETO DE ESTUDO .....	2
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>4</b>
3.1 MÉTODO SIMPLIFICADO .....	4
3.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO .....	4
3.3 ENVOLTÓRIA .....	6
3.4 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR.....	9
3.5 CLASSIFICAÇÃO GERAL .....	10
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>11</b>
4.1 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO .....	12
4.2 ENVOLTÓRIA .....	12
4.3 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR.....	13
4.4 CLASSIFICAÇÃO GERAL .....	13
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>16</b>
<b>ANEXO A – PROCEDIMENTO DE CÁLCULO ABNT NBR 15220-2.....</b>	<b>19</b>
<b>ANEXO B – LIMITES DOS INTERVALOS DAS CLASSIFICAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....</b>	<b>19</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A abordagem criteriosa e eficaz na gestão dos recursos energéticos, aliada ao seu consumo inerente, emerge como grande desafio no cenário contemporâneo, desenhando-se como pilar para o desenvolvimento de uma sociedade energeticamente sustentável. Assim, é crucial que as edificações apresentem uma maior eficiência energética. Essa necessidade torna-se ainda mais evidente quando consideramos o papel das construções no desenvolvimento social e no consumo global de energia, destacando-as como elementos fundamentais nesse contexto. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2023), publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2022 o consumo final de energia elétrica no Brasil foi de 586,19 TWh, valor 2,3% maior do que no ano anterior. Deste total, as edificações são responsáveis por grande parcela, representando 50,7%. O setor residencial se destaca ao contribuir com 26,5% do consumo total nacional, seguido pelo setor comercial, que representa 16,6%, e pelo setor público, responsável por 7,6%. Comparando com os números de 2021, todos os setores demonstraram um aumento no consumo. O setor comercial teve um aumento de 7,5%, o setor público de 4,35% e o setor residencial de 2,96%. Paralelamente, a geração de energia elétrica também experimentou um aumento, mas em uma proporção menor, registrando 3%. Em face desses números, ressalta-se a importância de estratégias eficazes para aprimorar a eficiência energética nas edificações, visando não apenas atender às crescentes demandas, mas também mitigar os impactos ambientais associados ao aumento do consumo.

Para contribuir com a racionalização no uso de energia, o Governo Federal instituiu o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). O programa proporciona à população acesso às informações sobre o desempenho dos produtos em relação ao seu consumo de energia elétrica, de derivados de petróleo, de gás natural e outros atributos, de forma simples e objetiva, por meio da utilização da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Essa medida permite que as pessoas tomem decisões de compra mais conscientes, optando pelo produto mais eficiente, ao mesmo tempo em que fomenta a competitividade no setor industrial. No contexto das edificações, o PBE conta com a coordenação e parceria da Eletrobras, por meio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), dando origem ao Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL Edifica). Este subprograma tem como objetivo promover, nas construções, a gestão eficiente do consumo de energia elétrica, bem como a preservação e a utilização otimizada dos recursos naturais, como água, iluminação e ventilação (INMETRO, 2021a), dando origem ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica). Buscando melhorias no método de avaliação de eficiência energética de edificações, em setembro de 2022, a Portaria nº 309 foi publicada pelo Ministério da Economia e pelo INMETRO em substituição ao Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Em seu texto, é apresentada a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que apresenta uma metodologia atual de avaliação, classificação e etiquetagem de edificações (PBE Edifica, 2022).

Ao analisar um mesmo edifício através dos métodos RTQ-C e INI-C, Andrade (2022) afirma que a nova metodologia é mais precisa por possuir um maior número de parâmetros pré-estabelecidos para as variáveis necessárias no desenvolvimento dos modelos. Tal diferença foi confirmada ao obter-se níveis diferentes de eficiência energética para a edificação que analisou. Em um estudo similar, Campos (2021) verificou que a nova metodologia trata-se de um método mais atualizado, que surgiu da necessidade de corrigir as limitações e distorções do método antigo.

Visando incentivar o uso de prédios históricos, Silva (2019) classificou, através da INI-C, uma edificação tombada na cidade de Florianópolis. Em seu estudo, constatou que a troca do

isolamento da cobertura, a modernização do sistema de iluminação com lâmpadas LED e a substituição dos vidros por vidros laminados garantiriam uma redução de 15% na carga térmica de refrigeração da edificação. Tal análise torna-se viável devido à facilidade e à praticidade na alteração dos parâmetros dos elementos construtivos da edificação durante a aplicação do método. Essa flexibilidade é possível quando todas as informações sobre as características da edificação já foram levantadas.

Ao estudar uma edificação do tipo universidade, Rosa (2021) destaca a facilidade de testar diversas estratégias para aumentar a eficiência energética, tudo isso antes mesmo de sua implementação. Esse aspecto da metodologia estabelece condições para que estudos com diferentes objetivos sejam realizados, fundamentando a tomada de decisão tanto de quem pretende melhorar as condições de uma edificação histórica quanto de quem está projetando uma nova. Vieira (2022) demonstrou a utilidade da análise ao estudar a viabilidade de um empreendimento hoteleiro em duas cidades diferentes, identificando quais medidas de eficiência energética seriam realmente eficazes e necessárias em cada uma delas.

### 1.1 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o nível de eficiência energética do prédio que abriga o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), antigo Instituto Parobé, utilizando a nova Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Dessa forma, através do método simplificado proposto pela INI-C, busca-se obter uma avaliação precisa e atualizada da eficiência energética do prédio, com o intuito de classificá-lo conforme os critérios estabelecidos pela INI-C, identificando pontos com potencial de melhoria.

### 1.2 OBJETO DE ESTUDO

Integrante do conjunto de edifícios históricos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, o antigo prédio do Instituto Parobé está situado na Rua Sarmento Leite, número 425, no bairro Centro Histórico da cidade de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul. Foi construído entre os anos de 1925 e 1928 com o objetivo de ampliar as instalações do Instituto Parobé, escola de nível técnico criada no estado, sendo inaugurado no ano de 1928 (CTEPAROBÉ, 2023). Manteve-se ocupado pela atual Escola Técnica Estadual Parobé até o ano de 1961 e, entre 1970 e 1985, pelo Instituto de Matemática. Atualmente a edificação é utilizada pelos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFRGS, abriga o Museu do Motor e o Departamento de Engenharia Mecânica. O prédio é composto por um corpo central de quatro pavimentos cuja cobertura é feita por uma cúpula de cobre. Esse corpo central está conectado a alas cobertas por telhas, também de quatro pavimentos. Em suas extremidades, o edifício ainda possui outros dois volumes cobertos por cúpulas de cobre, apresentando uma configuração simétrica (UFRGS, 2023).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO

Em setembro de 2022, foi publicada a Portaria Inmetro nº 309 (INMETRO, 2022a), que consolidou a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. O documento tem como objetivo especificar os critérios e os métodos para classificação de edificações quanto à sua eficiência energética, visando à etiquetagem com a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia. A classificação ocorre por meio da avaliação geral da edificação e de quatro sistemas diferentes: o sistema de iluminação, a envoltória, o sistema de condicionamento de ar e o sistema de aquecimento de água. Tanto a edificação completa, quanto os sistemas individuais, podem ser classificados do nível A, mais eficiente, ao nível E, menos eficiente.

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia pode ser geral ou parcial. Para que se obtenha a etiqueta em sua forma parcial, é necessário que a envoltória e pelo menos um dos sistemas citados sejam avaliados, admitindo diferentes combinações. Já a ENCE geral, é concedida às edificações que passaram pela avaliação integral, com a análise de todos os sistemas.

Na INI-C a classificação é realizada com base no consumo de energia primária, comparando-se o consumo da edificação real com a mesma edificação em uma condição de referência, equivalente à classificação de eficiência energética D (INMETRO, 2022a). A energia primária refere-se à forma de energia que é extraída diretamente da natureza e ainda não passou por nenhum processo de conversão ou transformação. É a energia disponível na sua forma original, antes de ser convertida em outra forma. Ao utilizar o consumo de energia primária como indicador de eficiência pode-se contabilizar tanto a energia elétrica, quanto a energia térmica, oriundas de diferentes fontes, considerando toda a cadeia de transformação (CB3E, 2017a).

A avaliação do consumo de energia pode ser conduzida através de dois métodos: o simplificado e o de simulação computacional. Sendo viável, inclusive, que os sistemas de uma mesma edificação sejam avaliados pela combinação entre o método simplificado e o método de simulação. Para a envoltória, em ambos os casos, o objetivo é obter a carga térmica. O método de simulação consiste em estimar a carga térmica para as condições reais e de referência através de programas de simulação energética (MISK, 2019). Já o método simplificado, por sua vez, baseia-se em uma previsão da carga térmica. Essa previsão é realizada através da inserção de características relativas à edificação em um metamodelo, desenvolvido com o uso de redes neurais artificiais e que se utiliza de resultados obtidos de milhares de simulações computacionais (INMETRO, 2022b). Um metamodelo pode ser descrito como um modelo com um nível mais elevado de abstração, que absorve informações de modelos com níveis inferiores de abstração (VAN GIGCH, 1987 apud FILLION, 1993). Em essência, ele fornece uma visão simplificada e generalizada das características essenciais presentes em modelos mais detalhados ou específicos, com o propósito de facilitar a compreensão, análise e manipulação de sistemas complexos. Embora o metamodelo seja uma ferramenta que facilita a análise e que abrange grande parte das soluções arquitetônicas mais difundidas, ele não responde bem a edificações que apresentem certo grau de complexidade, sendo necessário utilizar o método de simulação (CB3E, 2017b).

A determinação da eficiência energética do sistema de iluminação através do método simplificado pode ser realizada de duas maneiras diferentes: o método do edifício completo e o método das atividades do edifício. O objetivo de ambos os métodos é determinar a potência instalada do sistema de iluminação e seu respectivo consumo. O sistema de condicionamento de ar é avaliado com base no consumo de refrigeração da edificação, obtido através da carga térmica da edificação e da média dos coeficientes de eficiência energética dos equipamentos. Os coeficientes são facilmente encontrados na relação de máquinas etiquetadas pelo INMETRO (INMETRO 2023a, 2023b). Para ambos os sistemas, a INI-C dispõe de pré-requisitos específicos para a classificação A, que limitam também a classificação geral da edificação. Caso os pré-requisitos não sejam atendidos, a classificação limita-se a no máximo B. Por fim, a avaliação do sistema de aquecimento de água, quando aplicável, baseia-se no consumo de energia dos sistemas, diferenciando-os pelo tipo da fonte energética, podendo ser térmica ou elétrica.

A classificação geral da edificação baseia-se no somatório dos consumos de energia primária de cada sistema. Para isso é necessário determinar, através do consumo de energia elétrica e térmica, o consumo de energia primária. Essa conversão é feita por meio dos fatores de conversão especificados pela INI-C. Caso exista sistema de geração de energia elétrica por meio

de fontes locais renováveis operando na edificação, a produção será abatida no cálculo de eficiência energética.

Por fim, a classificação geral e dos sistemas individuais é determinada pelo percentual de redução de consumo da edificação real em relação à edificação na condição de referência, que representa a classificação D. Os resultados são confrontados com uma escala de eficiência energética, conforme Tabela 1. A escala é criada com base no consumo de referência para classificação D, sendo o limite inferior da classe D equivalente a um percentual de redução de consumo ( $RedC$ ) de 0%. O intervalo entre as classes é representado pelo coeficiente  $i$ . A classe D, por exemplo, consiste em reduções de consumo maiores ou iguais a 0%, e menores ou iguais a  $i$ . Já a classe C, consiste em reduções superiores a  $i$  e iguais ou inferiores a duas vezes  $i$ . O Anexo B apresenta o detalhamento da tabela de classificação para cada sistema individual e para a classificação geral.

Tabela 1 – Escala de eficiência energética.

A	B	C	D	E
$RedC > 3i$	$3i \geq RedC > 2i$	$2i \geq RedC > i$	$i \geq RedC \geq 0\%$	$RedC < 0\%$

Fonte: Adaptado de INMETRO (2022a).

### 3. METODOLOGIA

A metodologia empregada na análise de eficiência energética da edificação segue o método simplificado da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) (INMETRO, 2022a).

#### 3.1 MÉTODO SIMPLIFICADO

Foram avaliados o sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar e a envoltória. Para edificações educacionais, como o Instituto Parobé, a avaliação do sistema de aquecimento de água deve ser desconsiderada.

A avaliação da edificação pode ser realizada utilizando dois métodos diferentes: o método simplificado e o método de simulação. Para o presente estudo optou-se pelo método simplificado, que consiste em uma avaliação com base em um metamodelo de análise, utilizando características geométricas do edifício, características dos materiais construtivos, características do sistema de condicionamento de ar e a potência instalada de iluminação e equipamentos.

#### 3.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Para a avaliação do sistema de iluminação, a INI-C dispõe de dois métodos diferentes: o método do edifício completo e o método das atividades. O primeiro deve ser utilizado em edifícios com no máximo três atividades principais, de forma que cada uma represente no mínimo 30% da área da edificação. O segundo método é utilizado para edificações que possuem, dentro dos seus limites, mais de três atividades. A tipologia do Instituto Parobé é de escola/universidade, portanto, o método do edifício completo foi utilizado.

Inicialmente, determinou-se a potência de iluminação limite nas condições de referência para classificação A ( $PI_{L,A}$ ) e para classificação D ( $PI_{L,D}$ ). Para tal, multiplicou-se a área total iluminada da edificação,  $A_I$ , pelos respectivos valores de densidade de potência de iluminação para classificação A ( $DPI_{L,A}$ ) e de densidade de potência de iluminação para classificação D ( $DPI_{L,D}$ ), instituídos pela INI-C para a tipologia escola/universidade. Para o cálculo,

considerou-se uma área total iluminada de 3.556,86 m<sup>2</sup>, que corresponde a soma das áreas dos pavimentos, excluindo-se as áreas de parede e as áreas de circulação com iluminação natural. Obteve-se uma  $PI_{L,A}$  de 30.944,68 W e uma  $PI_{L,D}$  de 55.131,33 W.

Conforme a INI-C, a potência de iluminação total da edificação real ( $PI_{T,real}$ ) deve levar em consideração a potência de todos os conjuntos de luminárias instalados na edificação. Entretanto, devido à complexidade de realizar o levantamento completo dos sistemas de iluminação, optou-se por utilizar os dados estimados no estudo conduzido por Ribeiro (2022), que realizou a avaliação do desempenho energético do mesmo edifício seguindo a normativa anterior à INI-C, o RTQ-C. Assim, para estimar a densidade de potência de iluminação da edificação real ( $DPI_{real}$ ), tomou-se como referência a iluminação da sala 203, que possui 54,12 m<sup>2</sup> e um sistema de iluminação composto por doze lâmpadas fluorescentes com potência de 32 W cada. Isso resultou em uma densidade de potência de iluminação de 7,1 W/m<sup>2</sup>. Presumiu-se, então, que este valor se mantém constante para toda edificação. No entanto, vale ressaltar que as informações sobre a potência dos reatores das lâmpadas não estão disponíveis e, por essa razão, esse dado não foi considerado no cálculo. Ao multiplicar a densidade de potência de iluminação pela área total iluminada do prédio, obteve-se a potência de iluminação total da edificação real, que alcançou 25.237,14 W.

A INI-C estabelece que, para edificações de tipologia escola/universidade, o consumo de energia anual do sistema de iluminação deve ser calculado levando em consideração o uso durante oito horas diárias ao longo de duzentos dias por ano. Dessa forma,  $PI_{T,real}$ ,  $PI_{L,A}$  e  $PI_{L,D}$  foram multiplicados por oito horas e duzentos dias, e então divididos por mil. Resultando nos consumos de energia anual, na condição real ( $C_{IL,real}$ ) e nas condições de referência para classificação A ( $C_{IL,refA}$ ) e D ( $C_{IL,refD}$ ), expressos em kWh/ano, de 40.379,43 kWh/ano, 49.511,49 kWh/ano e 88.210,13 kWh/ano, respectivamente.

A classificação do sistema de iluminação foi determinada através de uma escala de eficiência energética, que varia do nível A ao nível E. A escala fundamenta-se no percentual de redução do consumo do sistema de iluminação,  $RedC_{IL}$ , em porcentagem, da edificação real em relação à edificação na condição de referência para classificação D. O cálculo, conforme a Equação 1, resultou em um valor de 54,22 %.

$$RedC_{IL} = ((C_{IL,refD} - C_{IL,real})/C_{IL,refD}) * 100 \quad (1)$$

Na qual,  $C_{IL,refD}$ , em kWh/ano, é o consumo do sistema de iluminação da edificação na condição de referência para classificação D e  $C_{IL,real}$ , também em kWh/ano, é o consumo do sistema de iluminação da edificação real, calculados anteriormente.

O limite dos intervalos entre os níveis de classificação, o coeficiente  $i$ , em porcentagem, foi calculado conforme a Equação 2, resultando em 14,62 %.

$$i = \frac{((C_{IL,refD} - C_{IL,refA})/C_{IL,refD}) * 100}{3} \quad (2)$$

Na qual,  $C_{IL,refA}$ , é o consumo do sistema de iluminação da edificação na condição de referência para classificação A, em kWh/ano, também calculado anteriormente.

Por fim, foram avaliados os requisitos de elegibilidade para a classificação A. A INI-C estabelece três critérios para alcançar essa classificação. O não atendimento a esses requisitos limita tanto a classificação do sistema de iluminação quanto a classificação geral da edificação, no máximo, até a categoria B.

O critério de contribuição da luz natural estabelece que ambientes com aberturas voltadas para o exterior devem dispor de controle para acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima da abertura, promovendo assim o melhor aproveitamento da luz

natural disponível. Adicionalmente, é requerido que ambientes com área superior a 250 m<sup>2</sup> estejam equipados com um sistema de controle automático para o desligamento da iluminação. Além disso, cada ambiente deve ser provido de pelo menos um dispositivo manual para acionamento independente da iluminação, sendo instalado de forma facilmente acessível e de maneira que o usuário possa ter visibilidade do conjunto de iluminação que está sendo controlado. Foi observado que no Instituto Parobé, o sistema de iluminação conta unicamente com mecanismos manuais para acionar e desligar as luzes de forma independente em cada ambiente. Essa configuração implica que a classificação máxima atribuída ao edifício é de nível B.

### 3.3 ENVOLTÓRIA

Para que o método simplificado seja aplicado na avaliação da envoltória, é necessário que alguns parâmetros da edificação estejam de acordo com as condições de aplicabilidade do método. Os pré-requisitos são exibidos na Tabela 2. Caso as características da edificação não atendam a esses pré-requisitos, o método de simulação deve ser aplicado.

Tabela 2 – Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória atendidos pelo método simplificado.

Parâmetros	Limites	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura ( $\alpha_{cob}$ )	0,2	0,8
Absortância solar da parede ( $\alpha_{par}$ )	0,2	0,8
Ângulo de obstrução vizinha ( $AOV$ )	0°	80°
Ângulo horizontal de sombreamento ( $AHS$ )	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento ( $AVS$ )	0°	90°
Capacidade térmica da cobertura ( $CT_{cob}$ )	10 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	450 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Capacidade térmica da parede externa ( $CT_{par}$ )	40 kJ/(m <sup>2</sup> .K)	450 kJ/(m <sup>2</sup> .K)
Densidade de potência de equipamentos ( $DPE$ )	4 W/m <sup>2</sup>	40 W/m <sup>2</sup>
Densidade de potência de iluminação ( $DPI$ )	4 W/m <sup>2</sup>	40 W/m <sup>2</sup>
Fator solar do vidro ( $FS$ )	0,21	0,87
Pé-direito ( $PD$ )	2,6 m	6,6 m
Percentual de área de abertura de fachada ( $PAF$ )	0%	80%
Transmitância térmica da cobertura ( $U_{cob}$ )	0,51 W/(m <sup>2</sup> .K)	5,07 W/(m <sup>2</sup> .K)
Transmitância térmica da parede externa ( $U_{par}$ )	0,50 W/(m <sup>2</sup> .K)	4,40 W/(m <sup>2</sup> .K)
Transmitância térmica do vidro ( $U_{vid}$ )	1,9 W/(m <sup>2</sup> .K)	5,7 W/(m <sup>2</sup> .K)

Fonte: INI-C (INMETRO, 2022a).

Para a avaliação de conformidade da edificação com os pré-requisitos, procedeu-se com a análise das plantas baixas fornecidas pela Superintendência de Infraestrutura (SUINFRA) da UFRGS (BRESOLIN; RIBEIRO, 2023). Nos primeiros quatro pavimentos, o pé-direito ( $PD$ ) dos ambientes apresentam considerável variação, assumindo valores que vão desde 2,89 m até 5,71 m. Contudo, no quinto pavimento, onde estão localizadas as cúpulas, o pé-direito é de difícil medida devido à ausência de um teto plano e linear. Diante dessa complexidade, optou-se por assumir um valor de pé-direito máximo de 6,6m.

O percentual de abertura da fachada ( $PAF$ ) é a razão entre a área total das aberturas envidraçadas das fachadas e a área total da própria fachada. Para o cálculo, todas as aberturas que compõem a versão atual da envoltória do prédio foram consideradas. O resultado obtido

foi um percentual de abertura da fachada de 11,68%. Os vidros foram especificados como simples, com uma espessura de 3 mm. Conforme Lamberts et al. (2013), a transmitância térmica ( $U_{vid}$ ) e o fator solar ( $FS$ ) de um vidro com essas características deveriam ser de 5,79 W/m<sup>2</sup>K e 0,87, respectivamente. Entretanto, em conformidade com a norma vigente, o valor adotado para a transmitância térmica foi de 5,7 W/m<sup>2</sup>K.

O ângulo vertical de sombreamento ( $AVS$ ) e o ângulo horizontal de sombreamento ( $AHS$ ) foram desconsiderados, uma vez que as plantas baixas não fornecem detalhes suficientes para analisá-los. Porém, é visível que ambos não extrapolam os limites estabelecidos. Já o ângulo de obstrução vizinha ( $AOV$ ), que representa o sombreamento de uma edificação vizinha, é de utilização opcional na análise e, por esse motivo, também foi desconsiderado.

A densidade de potência de iluminação é a mesma calculada na avaliação do sistema de iluminação. Por padrão, a INI-C determina que a densidade de potência de equipamentos ( $DPE$ ) para condição real e de referência devem ser iguais. Além disso, nos casos onde não há levantamento físico dos equipamentos instalados, deve-se utilizar o valor de referência para a tipologia. Dito isso, adotou-se o valor de 15 W/m<sup>2</sup> estabelecido pela norma.

Devido à dificuldade de se obterem informações a respeito dos materiais empregados nos elementos construtivos do prédio, utilizaram-se os dados do estudo conduzido por Carotenuto (2009), que realizou a análise termoenergética do antigo prédio do Instituto de Química da UFRGS, cuja inauguração se deu em 1926. Unindo tais informações com as plantas baixas, procedeu-se ao cálculo da transmitância térmica das paredes ( $U_{par}$ ), conforme as diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 15220-2 (ABNT, 2022). Para tal, considerou-se que as paredes externas são constituídas por duas camadas de argamassa com 2,5 cm de espessura, sendo uma externa e outra interna, e uma camada intermediária de 55 cm de tijolos maciços de barro, totalizando 60 cm de espessura. Para as paredes internas, que possuem uma espessura total de 20 cm, considerou-se uma camada intermediária de tijolos de 15 cm. Carotenuto (2009) destaca que os tijolos maciços possuem uma condutividade térmica ( $\lambda$ ) de 0,9 W/mK, enquanto a argamassa em questão exibe uma condutividade térmica de 1,15 W/mK. Obteve-se então uma transmitância térmica de 1,21 W/m<sup>2</sup>K para as paredes externas e de 2,63 W/m<sup>2</sup>K para as paredes internas. A fim de simplificar os cálculos, a espessura das juntas entre os tijolos foi desconsiderada.

O Instituto Parobé apresenta um esquema de cores complexo em sua envoltória, composto predominantemente por cores similares às das tintas acrílica fosca Azul Bali e acrílica fosca Pêssego. Levando em consideração a dificuldade de se obter a área de cobertura de cada cor, considerou-se a de maior absorptância solar ( $\alpha$ ), a tinta acrílica fosca Azul Bali, que apresenta uma  $\alpha$  de 0,489 (DORNELLES, 2008 apud INMETRO, 2022).

Por sua vez, a cobertura do edifício apresenta uma área total de 1097,14 m<sup>2</sup>. Desse total, uma área de 630,20 m<sup>2</sup> é composta por telhas de barro e forro de madeira (CAROTENUTO, 2009) e os 466,94 m<sup>2</sup> restantes são compostos por 2 cm de madeira dura revestida com cobre (RIBEIRO, 2022). A transmitância térmica ( $U_{cob1}$ ) e a capacidade térmica ( $CT_{cob1}$ ) da maior área foram consideradas 2,02 W/m<sup>2</sup>K e 26 kJ/m<sup>2</sup>K, respectivamente. Tal informação baseia-se no catálogo de propriedades térmicas do Anexo Geral V da Portaria INMETRO n° 50/2013 (BRASIL, 2013), para uma cobertura composta por telhas de cerâmica, câmara de ar e forro de madeira. Para a menor área, que corresponde à parcela da cobertura onde estão localizadas as cúpulas, repetiu-se o procedimento de cálculo proposto pela ABNT NBR 15220-2 (ABNT, 2022). Desprezando-se o revestimento de cobre e considerando-se uma condutividade térmica de 0,29 W/mK, calor específico de 1,34 kJ/kgK e densidade de 1000 kg/m<sup>3</sup> para a madeira dura (CAROTENUTO, 2009), obteve-se uma transmitância térmica ( $U_{cob2}$ ) de 4,18 W/m<sup>2</sup>K e uma capacidade térmica ( $CT_{cob2}$ ) de 26,8 kJ/m<sup>2</sup>K. Ponderando os valores encontrados pelas áreas dos diferentes tipos de cobertura, obteve-se  $U_{cob}$  de 2,94 W/m<sup>2</sup>K e  $CT_{cob}$  de 26,34 kJ/m<sup>2</sup>K. O

anexo A apresenta o detalhamento dos cálculos. Por fim, constatou-se que a absorvância solar da cobertura composta por telhas cerâmicas é de 0,75 e da parte composta por cobre oxidado na cor verde clara é de 0,4 (ABNT, 2005a).

A avaliação de eficiência energética da envoltória, através do método simplificado, baseia-se na predição da carga térmica. Para que ela possa ser definida, é necessário que a edificação seja dividida em zonas térmicas. As zonas térmicas devem ser divididas levando em conta a tipologia, a orientação da fachada, as especificações técnicas do sistema de ar condicionado, o pé-direito, as áreas com piso em contato com o solo, com o pavimento inferior ou exterior e o tipo da cobertura. Uma zona térmica pode ser do tipo perimetral ou central. A primeira tem sua área limitada a uma distância de 4,50 m da face interna da parede em contato com o exterior, com tolerância de até 1,00 m. Já a segunda, compreende toda a área que não é considerada zona térmica perimetral. Alguns ambientes não foram considerados nessa divisão, sendo eles, as áreas de circulação, corredores, halls, banheiros, depósitos, casa de máquinas e Museu do Motor, uma vez que estes são áreas de permanência transitória (*APT*) e não entram na avaliação de eficiência energética da envoltória.

A análise das plantas baixas do Instituto Parobé resultou na identificação de 88 zonas térmicas, das quais 73 são perimetrais e 15 são internas. Para cada uma dessas zonas, foram estabelecidos os seguintes parâmetros: pavimento (cobertura, intermediário ou térreo), área, pé-direito, orientação, *PAF*, *DPI*, propriedades térmicas da cobertura, do piso, dos vidros das paredes externas e, quando aplicável, das paredes internas. Os valores definidos para as paredes externas da envoltória foram aplicados para todas as zonas perimetrais, da mesma forma que os parâmetros referentes à cobertura foram estendidos às zonas do pavimento superior. Além disso, as propriedades térmicas do vidro foram aplicadas às aberturas em todas as zonas térmicas.

O piso das zonas térmicas intermediárias foi definido como uma composição de madeira garapeira de 2 cm, uma camada intermediária de concreto normal de 4 cm e uma camada de tijolo cerâmico oco de 8 cm. No caso do piso térreo, considerou-se uma camada de 2 cm de madeira garapeira e uma camada de argamassa com 18 cm de espessura (CAROTENUTO, 2009). Como consequência, obteve-se uma transmitância térmica de 2,40 W/m<sup>2</sup>K e uma capacidade térmica de 189,30 kJ/m<sup>2</sup>K para o piso intermediário, enquanto que, para o piso térreo, encontrou-se uma transmitância térmica de 2,53 W/m<sup>2</sup>K e uma capacidade térmica de 386,8 kJ/m<sup>2</sup>K.

Com as zonas térmicas definidas, levantou-se os parâmetros gerais da edificação. Os parâmetros gerais da edificação são a zona bioclimática, a tipologia predominante, o sistema de fornecimento de eletricidade, o fator de forma (*FF*), a área construída e o percentual de horas ocupadas em conforto térmico. Porto Alegre, RS, está localizada na zona bioclimática 3, de acordo com o Anexo A da ABNT NBR 15220-3 (ABNT, 2005b). O sistema de fornecimento de energia elétrica está ligado ao Sistema Interligado Nacional. O fator de forma, que é definido como a razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação, é de 0,26 e a área construída é de 5.152,48 m<sup>2</sup>. O percentual de horas ocupadas em conforto térmico deve ser obtido por meio de simulação ou usando o metamodelo, específico para esse propósito, fornecido pela INI-C. Devido à complexidade do processo de simulação e às limitações associadas ao uso do metamodelo, optou-se por não incluir esse valor na análise.

Em seguida, para a predição da carga térmica total anual real ( $CgTT_{real}$ ) e de referência ( $CgTT_{refD}$ ), utilizou-se o formulário *InterfaceWeb*, ferramenta baseada em um metamodelo de análises disponibilizada pelo PBE Edifica, onde os dados e parâmetros obtidos anteriormente para a edificação e para cada zona térmica foram inseridos. Obteve-se uma carga térmica total real de 497.207 kWh/ano e uma carga térmica total de referência de 628.655 kWh/ano.

O percentual de redução de carga térmica total anual da envoltória da edificação na condição real em relação à edificação na condição de referência ( $RedCgTT$ ), foi calculado conforme a Equação 3, resultando em 20,91%.

$$RedCgTT = (CgTT_{refD} - CgTT_{real}) / CgTT_{refD} * 100 \quad (3)$$

Da mesma forma que no sistema de iluminação, a classificação da envoltória se deu através de uma escala de classificação de eficiência energética. O intervalo entre as classes, coeficiente  $i$ , foi determinado através do coeficiente de redução de carga térmica total anual da classificação D para a A ( $CRCgTT_{D-A}$ ), que encontra-se tabelado para diferentes tipologias, fatores de forma e zonas bioclimáticas. Para o Instituto Parobé, foi identificado um  $CRCgTT_{D-A}$  de 0,15. Por fim, no cálculo de  $i$ ,  $CRCgTT_{D-A}$  foi dividido por três e multiplicado por cem, conforme estabelecido pela INI-C, resultando em 5%.

### 3.4 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

A classificação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar baseia-se no percentual de redução do consumo de refrigeração da edificação real em relação ao consumo da edificação na condição de referência. Para a execução da análise, é necessário dispor de um levantamento dos equipamentos de ar condicionado instalados na edificação e seus respectivos parâmetros. Optou-se por utilizar a lista de aparelhos obtida por Ribeiro (2022). Em seu trabalho, Ribeiro (2022) destaca que, embora tenha recebido a listagem de aparelhos do Setor de Infraestrutura da Escola de Engenharia (SINFRAEE) da UFRGS, os dados estão incompletos e não abrangem todos os aparelhos instalados no edifício. Além disso, não há informações sobre os fabricantes e os modelos e, portanto, foram considerados apenas os aparelhos que possuem especificação de capacidade. Essa simplificação também foi adotada no presente trabalho.

Para dar continuidade à avaliação, foi necessário determinar o coeficiente de eficiência energética ( $CEE_R$ ) do sistema de condicionamento de ar. O  $CEE_R$  do sistema é obtido pela ponderação das eficiências dos equipamentos por sua capacidade instalada. A INI-C estabelece diferentes maneiras de se obter o  $CEE_R$  de um aparelho, tanto para equipamentos com capacidade abaixo de 17,6 kW quanto para equipamentos com capacidade acima desse limite. Para isso, é necessário obter os parâmetros de cada aparelho na tabela de eficiência energética de condicionadores de ar do INMETRO, procurando por marca e modelo (INMETRO, 2023b). A tabela apresenta todos os produtos aprovados no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), fornecendo um detalhamento das suas características e uma classificação de eficiência baseada no Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal (IDRS).

Entretanto, como mencionado anteriormente, as informações sobre os aparelhos são escassas e resumem-se apenas à sua capacidade, o que impede a busca dos aparelhos na tabela e a aplicação dos cálculos propostos pela norma. Diante dessa limitação, utilizou-se a tabela de classificação anterior (INMETRO, 2023a), embasada na Portaria n.º 007 de 04 de Janeiro de 2011 (INMETRO, 2011). Essa tabela, ao invés de classificar os aparelhos com base no IDRS, utiliza diretamente o índice  $CEE_R$ . Como a maioria das máquinas que compõem o sistema de condicionamento de ar da edificação foram instaladas antes de 2010 (RIBEIRO, 2022), optou-se por considerar um  $CEE_R$  de 3,17, equivalente à média dos aparelhos registrados nos dois primeiros anos de vigência da portaria.

Visto que as únicas máquinas com detalhamento de marca e modelo são as unidades VRF (*Variable Refrigerant Flow*) modelos RAS14FSN5B e RAS20FSN5B, determinou-se o  $CEE_R$  pela razão entre a capacidade de refrigeração do condicionador de ar e a potência elétrica consumida pelo equipamento (INMETRO, 2021b). Essas características foram obtidas diretamente do catálogo do fabricante (HITACHI, 2016), obtendo-se um  $CEE_R$  de 3,7 para o

RAS14FSN5B e de 4,22 para o RAS20FSN5B. Por fim, ponderou-se a eficiência dos equipamentos por sua capacidade instalada e obteve-se um  $CEE_R$  de 3,36 para o sistema de condicionamento de ar.

O consumo de refrigeração da edificação real ( $C_{R,real}$ ) foi calculado conforme a Equação 4, resultando em 147.915,27 kWh/ano.

$$C_{R,real} = C_{gTT_{real}}/CEE_R \quad (4)$$

Na qual,  $C_{gTT_{real}}$  é a carga térmica total anual da edificação, em kWh/ano, já calculada na avaliação da envoltória e,  $CEE_R$  é o coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar. Por sua vez, o consumo de refrigeração da edificação na condição de referência para classificação D ( $C_{R,refD}$ ) foi calculado conforme a Equação 5. Obteve-se um valor de 241.790,27 kWh/ano.

$$C_{R,refD} = C_{gTT_{real}}/2,6 \quad (5)$$

Finalmente, através da Equação 6, obteve-se um percentual de redução do consumo de refrigeração ( $RedC_R$ ) de 38,82%.

$$RedC_R = ((C_{R,refD} - C_{R,real})/C_{R,refD}) * 100 \quad (6)$$

Os limites dos intervalos da classificação de eficiência energética foram definidos com base na Tabela B.3 do Anexo B.

### 3.5 CLASSIFICAÇÃO GERAL

A classificação de eficiência energética geral da edificação foi determinada considerando o percentual de redução do consumo estimado de energia primária ( $RedC_{EP}$ ) da edificação real em relação à edificação na condição de referência para a classificação D. Primeiramente, calculou-se o consumo de energia elétrica total da edificação real ( $C_{EE,real}$ ) e na condição de referência ( $C_{EE,refD}$ ), em kWh/ano, utilizando a Equação 7.

$$C_{EE,real\ ou\ refD} = C_{R,real\ ou\ refD} + C_{IL,real\ ou\ refD} + C_{EQ} \quad (7)$$

Na qual,  $C_R$  é o consumo do sistema de condicionamento de ar,  $C_{IL}$  é o consumo do sistema de iluminação e  $C_{EQ}$  é o consumo de equipamentos, expressos em kWh/ano. Determinou-se  $C_{EQ}$  com base em uma densidade de consumo de equipamentos de 15 W/m<sup>2</sup>, utilizados por oito horas diárias ao longo de duzentos dias por ano, conforme estipulado pela INI-C, resultando em 70.990,92 kWh/ano. Obteve-se, então, um  $C_{EE,real}$  de 259.284,78 kWh/ano e um  $C_{EE,refD}$  de 400.990,59 kWh/ano. Para que se possa estimar o consumo de energia primária, é necessário que os valores obtidos para o consumo de energia elétrica total da edificação sejam multiplicados por seus respectivos fatores de conversão. A Tabela 3 apresenta os fatores de conversão para diferentes fontes de energia.

Tabela 3 – Fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária.

Fonte de energia	Fator de conversão	
Energia elétrica	$f_{CE}$	1,6
Energia térmica – Gás Natural (GN)	$f_{CT}$	1,1
Energia térmica – Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	$f_{CT}$	1,1

Fonte: INI-C (INMETRO, 2022a).

Devido à ausência de um sistema de aquecimento de água e de uma fonte local de geração de energia na edificação, onde a única fonte de energia é elétrica, pôde-se determinar o consumo de energia primária da edificação real ( $C_{EP,real}$ ) e o consumo de energia primária da edificação na condição de referência ( $C_{EP,refD}$ ) multiplicando os respectivos valores de consumo de energia elétrica pelo fator de conversão ( $f_{CE}$ ) de 1,6. Encontrou-se um  $C_{EP,real}$  de 414.855,65 kWh/ano e um  $C_{EP,refD}$  de 641.548,95 kWh/ano.

Prosseguindo, por meio da Equação 8, determinou-se o percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e a edificação na condição de referência ( $RedC_{EP}$ ). Obteve-se um  $RedC_{EP}$  de 35,34%.

$$RedC_{EP} = ((C_{EP,refD} - C_{EP,real})/C_{EP,refD}) * 100 \quad (8)$$

Determinou-se, então, os intervalos de classificação dos níveis A ao E. O cálculo foi realizado utilizando a Equação 9.

$$i = \frac{(CRC_{EPD-A} * 100)}{3} \quad (9)$$

Na qual,  $CRC_{EPD-A}$  é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A, determinado conforme a Tabela 4, levando-se em consideração o fator de forma e a zona bioclimática onde está localizada a edificação. Obteve-se um coeficiente  $i$  de 10,67%.

Tabela 4 – Coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A ( $CRC_{EPD-A}$ ), com base no fator de forma e classificação climática.

Classificação climática	Coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A ( $CRC_{EPD-A}$ )			
	$FF \leq 0,20$	$0,20 < FF \leq 0,30$	$0,30 < FF \leq 0,40$	$0,40 < FF \leq 0,50$
ZB 1	0,33	0,34	0,31	0,30
ZB 2	0,32	0,33	0,30	0,28
ZB 3	0,31	0,32		
ZB 4	0,30	0,31	0,29	0,27
ZB 5	0,31	0,33	0,31	0,29
ZB 6		0,32	0,30	0,28
ZB 7	0,28	0,30	0,28	0,26
ZB 8				0,27

Fonte: INI-C (INMETRO, 2022a).

Por fim, classificou-se a edificação comparando o percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e a condição de referência, com os limites encontrados.

#### 4. RESULTADOS

Foram calculados os percentuais de redução de consumo referentes ao sistema de iluminação, à envoltória, ao sistema de condicionamento de ar e à energia primária. Calculou-se também os limites dos intervalos de classificação de eficiência energética para cada um dos sistemas individuais e classificação geral. Em posse desses dados, realizou-se a classificação geral da edificação e a classificação individual dos sistemas de iluminação, envoltória e condicionamento de ar. Os resultados são apresentados e discutidos a seguir.

#### 4.1 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Para a classificação do sistema de iluminação, elaborou-se uma tabela com os limites da redução de consumo de iluminação para cada nível de eficiência energética. Considerando que o valor encontrado para  $RedC_{IL}$  foi de 54,22%, e que o limite inferior para classificação A é de 43,87%, o sistema de iluminação poderia ser classificado como A, conforme demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Limites do percentual de redução de consumo de iluminação para a classificação do sistema de iluminação.

Classe de eficiência energética	A	B	C	D	E
Limite superior de $RedC_{IL}$	-	$\leq 43,87\%$	$\leq 29,25\%$	$\leq 14,62\%$	$< 0$
Limite inferior de $RedC_{IL}$	$> 43,87\%$	$> 29,25\%$	$> 14,62\%$	$\geq 0$	-

Fonte: Elaboração própria.

Contudo, como anteriormente citado, a INI-C estabelece critérios prévios para a obtenção da classificação A no sistema de iluminação. Dentre eles, o sistema de iluminação da edificação opera exclusivamente com mecanismos manuais para ligar e desligar as luzes de maneira independente em cada ambiente. A ausência de um controle para acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima das aberturas resulta na impossibilidade de atender às exigências e restringe a classificação do sistema a no máximo B. Dessa forma, o sistema de iluminação da edificação foi classificado com o nível de eficiência energética B.

Levando em consideração apenas o circuito elétrico e o conjunto de interruptores de acionamento de luminárias, modificações que viabilizem alcançar um nível superior de eficiência para o sistema de iluminação são bastante factíveis e economicamente viáveis. Ao implementar controles conforme as especificações requeridas, é possível elevar a classificação do sistema para o nível A.

#### 4.2 ENVOLTÓRIA

Para a classificação do nível de eficiência energética da envoltória, considerou-se o percentual de redução de carga térmica total anual da edificação em condições reais, em comparação com a edificação na condição de referência para classificação D. O coeficiente que representa a diferença entre uma classe e outra foi estabelecido em 5%, e o  $RedC_{gTT}$  encontrado foi de 20,91%. Com base nesses valores, a envoltória da edificação foi classificada como de eficiência energética A, conforme indicado na Tabela 6.

Tabela 6 – Limites do percentual de redução da carga térmica total anual para a classificação da envoltória.

Classe de eficiência energética	A	B	C	D	E
Limite superior de $RedCgTT$	-	$\leq 15\%$	$\leq 10\%$	$\leq 5\%$	$< 0$
Limite inferior de $RedCgTT$	$> 15\%$	$> 10\%$	$> 5\%$	$\geq 0$	-

Fonte: Elaboração própria.

Parte dos motivos que levaram à atribuição da classificação A à eficiência energética da envoltória pode ser creditada à baixa transmitância térmica das paredes externas, dos pisos dos pavimentos intermediários e pavimento térreo, quando comparados à edificação na condição de referência estabelecida pela INI-C. A resistência térmica desses elementos construtivos contribuiu significativamente para a redução na carga térmica total da edificação. Há também influência da densidade de potência de iluminação, que foi determinada em  $7,1 \text{ W/m}^2$ , menos da metade do valor estabelecido como referência para a tipologia. Como mencionado antes, não há informações sobre a potência dos reatores das lâmpadas fluorescentes, e a  $DPI$  é um valor presumido para toda edificação, podendo não refletir a realidade.

#### 4.3 SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE AR

A classificação do sistema de condicionamento de ar foi determinada considerando o percentual de redução do consumo de refrigeração da edificação real em relação à edificação na condição de referência. Encontrou-se um  $RedC_R$  de 38,82%. Os limites dos intervalos de classificação foram determinados para a zona bioclimática 3, conforme apresentado na Tabela 4. Considerando os limites de classificação energética para cada nível e o percentual de redução de consumo de refrigeração, o sistema de condicionamento de ar recebeu classificação B. A Tabela 7 apresenta esses limites.

Tabela 7 – Limites do percentual de redução do consumo de refrigeração para a classificação do sistema de condicionamento de ar.

Classe de eficiência energética	A	B	C	D	E
Limite superior de $RedC_R$	-	$\leq 51\%$	$\leq 34\%$	$\leq 17\%$	$< 0$
Limite inferior de $RedC_R$	$> 51\%$	$> 34\%$	$> 17\%$	$\geq 0$	-

Fonte: Elaboração própria.

Embora a INI-C disponha de uma série de pré-requisitos para a classificação do sistema de condicionamento de ar, estes não foram avaliados, uma vez que as exigências são exclusivamente aplicáveis ao nível de eficiência energética A. Além disso, como discutido anteriormente, as informações disponíveis sobre os equipamentos são escassas, restringindo-se apenas às suas capacidades e, assim, impedindo uma análise mais aprofundada.

#### 4.4 CLASSIFICAÇÃO GERAL

Por fim, determinou-se o nível de eficiência energética do prédio do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS. A Tabela 8 apresenta os intervalos entre os níveis de classificação. Ao considerar o percentual de redução do consumo de energia primária da edificação, que alcançou 35,34%, a edificação poderia ser enquadrada no nível de eficiência energética A. No entanto, é importante ressaltar que esse resultado não é válido, pois a

edificação não atende aos pré-requisitos necessários para a classificação A no sistema de iluminação, e os requisitos do sistema de condicionamento de ar não puderam ser avaliados. Portanto, a classificação geral da edificação atingiu o nível máximo de B.

Tabela 8 – Limites do percentual de redução do consumo energia primária para a classificação geral da edificação.

Classe de eficiência energética	A	B	C	D	E
Limite superior de $RedC_{EP}$	-	$\leq 32\%$	$\leq 21,33\%$	$\leq 10,67\%$	$< 0$
Limite inferior de $RedC_{EP}$	$> 32\%$	$> 21,33\%$	$> 10,67\%$	$\geq 0$	-

Fonte: Elaboração própria.

Tendo em vista que a envoltória recebeu classificação A, mudanças para melhorar a avaliação geral do edifício do nível B para o nível A tornam-se mais factíveis. Uma vez que, dentre os itens avaliados, modificações na envoltória seriam as mais desafiadoras. Principalmente quando se leva em consideração o valor histórico da edificação.

A implementação de um controle para acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima às aberturas elevaria a classificação do sistema de iluminação para A, retirando a restrição à classificação geral imposta por este sistema em específico.

Porém, para que o edifício pudesse, de fato, receber a classificação geral A, ainda seria necessário uma intervenção no sistema de condicionamento de ar. Um levantamento completo dos aparelhos poderia proporcionar uma classificação mais precisa do sistema, permitindo identificar quais dispositivos atendem às exigências físicas da INI-C. Além disso, ao conhecer os verdadeiros valores de  $CEE_R$  ou IDRS das máquinas instaladas, seria possível determinar quais delas podem ser substituídas para elevar a eficiência energética do sistema.

## 5. CONCLUSÃO

A gestão eficiente dos recursos energéticos é um desafio crucial na contemporaneidade, sendo um pilar essencial para o progresso da sociedade. Com a crescente busca por sustentabilidade é imperativo que as construções alcancem maior eficiência energética. O papel significativo das edificações no consumo nacional de energia, especialmente destacado pelo Balanço Energético Nacional de 2023, enfatiza a necessidade de estratégias eficazes e de medidas para melhorar a eficiência energética e mitigar impactos ambientais. O setor residencial, comercial e público contribuem significativamente para o consumo, evidenciando um aumento geral em 2022, sendo responsáveis por 50,7% do consumo final de energia elétrica no Brasil.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o nível de eficiência energética do prédio que abriga as instalações do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS, utilizando o método simplificado da nova Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Dessa forma, foram avaliados os sistemas de iluminação, a envoltória e o sistema de condicionamento de ar da edificação, através de uma análise comparativa do consumo de energia entre a edificação real e a edificação em uma condição de referência.

O sistema de iluminação apresentou um percentual de redução de consumo de 54,22% em relação ao seu par. Porém, por não atender ao pré-requisito de contribuição da luz natural, um dos pré-requisitos de elegibilidade para classificação A, o sistema foi classificado com o nível

de eficiência energética B. Já a envoltória da edificação apresentou um percentual de redução de carga térmica de 20,91%, recebendo classificação A. Na avaliação de ambos os sistemas foi considerada uma densidade de potência de iluminação de 7,1 W/m<sup>2</sup>, valor que corresponde a menos da metade da *DPI* da condição de referência para a tipologia, contribuindo com a elevação da classificação. Entretanto, é importante destacar que este valor é uma estimativa com base em uma única sala da edificação e pode não refletir a realidade. Em relação à envoltória, concluiu-se que, além do fator já mencionado, a transmitância térmica das paredes externas e pisos também contribuiu com o percentual de redução de consumo, uma vez que esses valores são inferiores aos de referência. Considerando um coeficiente de eficiência energética médio estimado em 3,36, o sistema de condicionamento de ar apresentou uma redução do consumo de refrigeração de 38,82%, sendo classificado com o nível B, valor bastante próximo do limite inferior para essa classificação.

A edificação alcançou um percentual de redução de energia primária de 35,34%, valor suficiente para a classificação A. No entanto, os pré-requisitos de elegibilidade dos sistemas individuais também se aplicam à classificação geral. Por não atender aos critérios no sistema de iluminação e por não ser possível verificá-los no sistema de condicionamento de ar, a classificação geral da edificação limitou-se a B.

Para elevar a classificação geral do edifício para o nível A, é preciso uma intervenção nos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar, de forma que os mesmos atendam aos pré-requisitos de elegibilidade. Para o primeiro, é necessário a implementação de um controle de acionamento independente da fileira de luminárias mais próxima às aberturas. Essa intervenção apresenta relativo baixo grau de complexidade, se mostrando uma alternativa viável.

Quanto ao sistema de condicionamento de ar, é fundamental realizar um levantamento completo para verificar as características físicas, recursos e o  $CEE_R$  de cada unidade instalada, com o objetivo de substituir as máquinas incompatíveis por modelos mais modernos que estejam em conformidade com as exigências da INI-C. Contudo, dado que essa alternativa representa um custo adicional, seria necessário conduzir um estudo de viabilidade econômica para avaliar a sua implementação.

Sugere-se, para futuros trabalhos, realizar um levantamento abrangente dos equipamentos que compõem o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar da edificação. O detalhamento dessas informações permitirá uma análise mais aprofundada e com maior precisão dos elementos que contribuem para o consumo de energia, possibilitando implementar estratégias eficazes para otimizar o desempenho energético da edificação. Além disso, sugere-se a adoção do método de simulação computacional para classificar o nível de eficiência energética da edificação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 2 – Componentes e elementos construtivos das edificações – Resistência e transmitância térmica – Métodos de cálculo (ISO 6946:2017 MOD)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.

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

ANDRADE, Henrique José Caravita de. **Análise da Eficiência Energética em Edificações Usando os Métodos RTQ-C e INI-C**. 2022. 137 f. Dissertação - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

BRASIL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME; Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balanco Energético Nacional 2023: Ano base 2022**. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

BRESOLIN, Cirilo Seppi; RIBEIRO, Rafaela Lisboa. UFRGS. **Plantas Baixas Instituto Parobé**. [mensagem eletrônica pessoal] Mensagem recebida por: <matheusrisi@gmail.com>. em: 13 dez. 2023.

CAMPOS, Paloma Melo. **Análise comparativa do método prescritivo do RTQ-R e simplificado da INI-R para a etiquetagem de uma edificação multifamiliar**. 2021. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

CAROTENUTO, Adriano Roberto da Silva. **Análise do Desempenho Termoenergético de um Prédio Histórico de Elevada Inércia Térmica**. 2009. 223 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CB3E – Centro Brasileiro De Eficiência Energética Em Edificações. **Introdução ao novo método de avaliação do PBE Edifica**. 2017a. Disponível em: <https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/1%20-%20Introdu%20C3%A7%C3%A3o%20ao%20novo%20m%C3%A9todo.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

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

[https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Nova%20proposta%20de%20m%C3%A9todo\\_tudo%20completo\\_comercial\\_2.pdf](https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Nova%20proposta%20de%20m%C3%A9todo_tudo%20completo_comercial_2.pdf). Acesso em: 8 jan. 2024.

CTEPAROBÉ. **Parobé: A trajetória de uma escola centenária**. Disponível em: [https://www.cteparobe.com.br/pagina/78\\_Historia-da-Cidade.html](https://www.cteparobe.com.br/pagina/78_Historia-da-Cidade.html). Acesso em: 14 nov. 2023.

FILION, L. J. **Visão e relações: elementos para um metamodelo empreendedor**. Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v.33, n.6, p.50-61, dez. 1993. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rae/a/mCZRRzTqZv3tPQQsnMcVNJt/?format=pdf>. Acesso em: 13 jan. 2024.

HITACHI. **Set Free Eco Flex II Série FSNB2**. São Paulo, 2016. 192 p. Disponível em: [https://www.jci-hitachi.com.br/static/site/files/HCAT-SETAR016\\_Rev00\\_Mai2016\\_\\_Eco\\_Flex\\_II5.pdf](https://www.jci-hitachi.com.br/static/site/files/HCAT-SETAR016_Rev00_Mai2016__Eco_Flex_II5.pdf). Acesso em: 12 jan. 2024.

INMETRO. **Condicionadores de ar – índices antigos (CEE)**. 2023a. Disponível em: [https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/condicionadores-de-ar/tabela\\_inmetro\\_cee.xlsx/view](https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/condicionadores-de-ar/tabela_inmetro_cee.xlsx/view). Acesso em: 12 jan. 2024.

INMETRO. **Condicionadores de ar – índices novos (IDRS)**. 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/condicionadores-de-ar/condicionadores-de-ar-indices-novos-idrs.xlsx/view>. Acesso em: 12 jan. 2024.

INMETRO. **Conheça o Programa**. 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-programa>. Acesso em: 27 nov. 2023.

INMETRO. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. 2022a. Publicado através da portaria nº 309, de 06 de setembro de 2022.

INMETRO. **Manual INI-C: Método Simplificado**. Versão Dezembro/2022. 2022b. Disponível em: [https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/manuais/Manual\\_INI-C\\_Definicoes-AGO-23.pdf](https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/manuais/Manual_INI-C_Definicoes-AGO-23.pdf). Acesso em: 11 out. 2023

INMETRO. Anexo da Portaria nº 309, de 2022. **Manual RAC – Catálogo de Propriedades Térmicas**. Brasília, DF, 2022c. Disponível em: [https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual%20RAC\\_Cat%C3%A1logo%20de%20propriedades\\_DEZ-22.pdf](https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual%20RAC_Cat%C3%A1logo%20de%20propriedades_DEZ-22.pdf). Acesso em: 12 jan. 2024.

INMETRO. Portaria nº 50, de 2013. **Anexo Geral V - Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros**. Brasília, DF, Disponível em: [http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/anexos\\_rac/AnexoV.pdf](http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/anexos_rac/AnexoV.pdf). Acesso em: 12 jan. 2024.

INMETRO. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para Condicionadores de Ar**. 2011. Publicado através da portaria nº 007, de 04 de janeiro de 2011.

INMETRO. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para Condicionadores de Ar.** 2021b. Publicado através da portaria nº 269, de 22 de junho de 2021.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R.. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014. Disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia\\_energetica\\_na\\_arquitetura.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf). Acesso em: 22 nov. 2021.

MISK, André Ferreira. **Avaliação de medidas de eficiência energética na envoltória de um edifício de escritórios por meio de um método simplificado.** 2019. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

PBE EDIFICA, Programa Brasileiro de Etiquetagem. **Portaria Consolidada.** 2022. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/portariaconsolidada>. Acesso em: 16 nov. 2023.

RIBEIRO, Rafaela Lisbôa. **Avaliação do desempenho energético de um prédio histórico utilizando o RTQ-C.** 2022. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

ROSA, Fernanda Pioli da. **Classificação e análise de viabilidade econômica de uma edificação com base no desempenho energético.** 2021. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021.

SILVA, Michel Klein Pinheiro da. **Análise econômica de medidas de eficiência energética em um prédio histórico de Florianópolis, de acordo com a nova etiquetagem comercial Procel Edifica.** 2019. 73 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

VIEIRA, Daiane. **Análise da eficiência energética de uma edificação de hospedagem de acordo com o método de etiquetagem PBE Edifica.** 2022. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

UFRGS. **Instituto Parobé.** Disponível em: <https://www.ufrgs.br/patrimoniohistorico/instituto-parobe/>. Acesso em: 14 nov. 2023.

## ANEXO A – PROCEDIMENTO DE CÁLCULO ABNT NBR 15220-2

A resistência térmica, resistência térmica total e a transmitância térmica das paredes, coberturas e pisos da edificação foram calculados conforme descrito na ABNT NBR 15220-2 (ANBT, 2022), utilizando, respectivamente, as Equações A.1, A.2 e A.3.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (\text{A.1})$$

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (\text{A.2})$$

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad (\text{A.3})$$

Na Equação A.1,  $R$  é a resistência térmica de uma camada de material ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ),  $d$  é a espessura da camada (m) e  $\lambda$  a condutividade térmica do material da camada ( $\text{W}/\text{mK}$ ). Na Equação A.2,  $R_{tot}$  é a resistência térmica total de um componente com múltiplas camadas ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ) e  $R_{si}$  e  $R_{se}$  são as resistências térmicas superficiais interna e externa ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ). Os valores de  $R_{si}$  e  $R_{se}$  encontram-se na Tabela A.1. Na equação A.3,  $U$  é a transmitância térmica do componente ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ).

Tabela A.1 – Valores convencionais de resistências superficiais.

Resistência superficial ( $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ )	Direção do fluxo de calor		
	Ascendente	Horizontal	Descendente
$R_{si}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$	0,04	0,04	0,04

NOTA 1: Os valores de resistência superficial se aplicam às superfícies em contato com o ar.  
 Nenhuma resistência superficial se aplica às superfícies em contato com outro material.  
 NOTA 2: Os valores de resistência superficial interna são calculados para  $\varepsilon = 0,9$  e com  $h_{r0}$  avaliado a 20 °C. Os valores de resistência superficial externa são calculados para  $\varepsilon = 0,9$ ,  $h_{r0}$  avaliado a 10 °C, e para  $v = 4$  m/s.

Fonte: ABNT, 2022.

A capacidade térmica foi calculada conforme a Equação A.4.

$$C = \sum_{j=1}^n \lambda_j \times R_j \times c_j \times \rho_j = \sum_{j=1}^n e_j \times c_j \times \rho_j \quad (\text{A.4})$$

Na qual,  $C$  é capacidade térmica do componente ( $\text{kJ}/\text{m}^2\text{K}$ ),  $\lambda_j$  é a condutividade térmica do material da camada ( $\text{W}/\text{mK}$ ),  $R_j$  é a resistência térmica da camada ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ),  $c_j$  é o calor específico do material da camada ( $\text{kJ}/\text{KgK}$ ),  $\rho_j$  é a densidade de massa do material da camada ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) e  $e_j$  é a espessura da camada (m).

## ANEXO B – LIMITES DOS INTERVALOS DAS CLASSIFICAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As Tabelas B.1, B.2, B.3 e B.4 apresentam os limites dos intervalos de redução de consumo para os sistemas individuais e para a classificação geral com base no coeficiente  $i$ .

Tabela B.1 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética para o sistema de iluminação.

Classificação de Eficiência	<i>RedC<sub>IL</sub></i> (%)				
	A	B	C	D	E
	$RedC_{IL} > 3i$	$3i \geq RedC_{IL} > 2i$	$2i \geq RedC_{IL} > 2i$	$i \geq RedC_{IL} \geq 0$	$RedC_{IL} < 0$

Fonte: INI-C (INMETRO, 2022a).

Tabela B.2 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória.

Classificação de Eficiência	<i>RedC<sub>gTT</sub></i> (%)				
	A	B	C	D	E
	$RedC_{gTT} > 3i$	$3i \geq RedC_{gTT} > 2i$	$2i \geq RedC_{gTT} > 2i$	$i \geq RedC_{gTT} \geq 0$	$RedC_{gTT} < 0$

Fonte: INI-C (INMETRO, 2022a).

Tabela B.3 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar.

Classificação climática	<i>RedC<sub>R</sub></i> (%)				
	A	B	C	D	E
ZB 1, 2 e 3	$RedC_R > 51$	$51 \geq RedC_R > 34$	$34 \geq RedC_R > 17$	$17 \geq RedC_R \geq 0$	$RedC_R < 0$
ZB 4, 5 e 6	$RedC_R > 48$	$48 \geq RedC_R > 32$	$32 \geq RedC_R > 16$	$16 \geq RedC_R \geq 0$	$RedC_R < 0$
ZB 7 e 8	$RedC_R > 43$	$43 \geq RedC_R > 29$	$29 \geq RedC_R > 14$	$14 \geq RedC_R \geq 0$	$RedC_R < 0$

Fonte: INI-C (INMETRO, 2022a).

Tabela B.4 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral da edificação.

Classificação de Eficiência	<i>RedC<sub>EP</sub></i> (%)				
	A	B	C	D	E
	$RedC_{EP} > 3i$	$3i \geq RedC_{EP} > 2i$	$2i \geq RedC_{EP} > 2i$	$i \geq RedC_{EP} \geq 0$	$RedC_{EP} < 0$

Fonte: INI-C (INMETRO, 2022a).