

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

JÉSSICA CAROLAINY KOERICH

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DE UMA
EDIFICAÇÃO ESCOLAR EM FLORIANÓPOLIS: Aplicação da
Metodologia INI-C**

FLORIANÓPOLIS, 2026.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

JÉSSICA CAROLAINY KOERICH

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DE UMA
EDIFICAÇÃO ESCOLAR EM FLORIANÓPOLIS: Aplicação da
Metodologia INI-C**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador:
Prof. Beatriz Francalacci da Silva, Doutora

FLORIANÓPOLIS, 2026.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Koerich, Jéssica Carolainy
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DE
UMA EDIFICAÇÃO ESCOLAR EM FLORIANÓPOLIS: Aplicação da Metodologia
INI-C / Jéssica Carolainy Koerich; orientação
de Beatriz Francalacci da Silva. - Florianópolis,
SC, 2026.

93 p.
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico
de Construção Civil.
Inclui Referências.

1. Eficiência energética. 2. Envoltória. 3. Edificação
escolar. 4. Simulação termoenergética. 5. INI-C.
I. Francalacci da Silva, Beatriz. II. Instituto Federal
de Santa Catarina. III. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
DA ENVOLTÓRIA DE UMA EDIFICAÇÃO ESCOLAR EM FLORIANÓPOLIS:
Aplicação da Metodologia INI-C.

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DE UMA
EDIFICAÇÃO ESCOLAR EM FLORIANÓPOLIS: APLICAÇÃO DA METODOLOGIA
INI-C**

JÉSSICA CAROLAINY KOERICH

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro em construção civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 10 de julho, 2026.

Banca Examinadora:

Beatriz Francalacci da Silva, Doutora

Gabriel Moraes de Bem, Doutor
Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Sergio Parizotto Filho, Mestre
Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Dedico este trabalho a meus pais, minha tia Inês e a Deus, que me deram forças para chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo desta caminhada. Em todos os momentos de dificuldade, encontrei em minhas orações o amparo necessário para seguir em frente e concluir esta importante etapa da minha vida.

À minha família, meu mais sincero agradecimento pelo apoio incondicional, pelo incentivo constante e por acreditarem em mim mesmo nos momentos mais desafiadores. Em especial, agradeço à minha mãe, ao meu pai, à minha tia Inês e ao meu primo Filipe, que estiveram ao meu lado durante toda esta trajetória, oferecendo carinho, compreensão e encorajamento.

À minha orientadora, Prof.^a Beatriz Francalacci da Silva, agradeço pela dedicação, paciência, orientação e pelos valiosos ensinamentos compartilhados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Gabriel Moraes de Bem e Sergio Parizotto Filho, membros da banca examinadora, agradeço a disponibilidade em avaliar este trabalho e pelas contribuições que certamente contribuirão para meu crescimento acadêmico e profissional.

À professora Ana Lígia de Abreu, expresse minha gratidão pelo incentivo e apoio durante esta fase acadêmica.

À minha professora do ensino fundamental, Valéria Lohn Zimmermann, agradeço por ter despertado em mim o interesse pelos estudos e por ter contribuído de forma significativa para minha formação pessoal e educacional, influenciando diretamente a trajetória que me trouxe até aqui.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e fizeram parte desta jornada. Esta conquista também pertence a cada um de vocês.

"Confia ao Senhor as tuas obras, e teus planos serão estabelecidos."
Provérbios 16:3

RESUMO

O setor da construção civil destaca-se como um dos maiores consumidores de energia elétrica no Brasil, evidenciando a necessidade da adoção de estratégias que promovam maior eficiência energética nas edificações. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a eficiência energética da envoltória de uma edificação escolar do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC) – Campus Florianópolis, localizada na zona bioclimática 3, por meio da aplicação da Instrução Normativa para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem qualitativa e descritiva, desenvolvida a partir de um estudo de caso. A metodologia empregada envolveu a alteração da modelagem tridimensional da edificação no software Autodesk Revit, a configuração dos parâmetros de simulação no OpenStudio e a realização das simulações termoenergéticas no EnergyPlus. Foram avaliadas diferentes combinações de materiais de paredes, coberturas e vidros, com o objetivo de verificar a influência desses elementos no desempenho energético da envoltória. Os resultados demonstraram que as características construtivas da envoltória exercem influência significativa sobre o consumo energético da edificação, especialmente em relação à carga térmica de resfriamento. As combinações que utilizaram materiais com menores valores de transmitância térmica e maiores espessuras apresentaram redução do consumo energético em comparação às demais alternativas analisadas. A partir dos resultados obtidos, foi possível identificar soluções construtivas capazes de contribuir para a melhoria da eficiência energética da edificação e para a redução da demanda por sistemas de climatização. Conclui-se que a aplicação da metodologia INI-C associada à simulação computacional constitui uma ferramenta eficaz para a avaliação do desempenho energético de edificações, auxiliando na tomada de decisões projetuais voltadas ao uso racional da energia em edificações escolares.

Palavras-chave: Eficiência energética. Envoltória. Edificação escolar. Simulação termoenergética. INI-C.

ABSTRACT

The construction sector stands out as one of the largest consumers of electrical energy in Brazil, highlighting the need to adopt strategies that promote greater energy efficiency in buildings. In this context, the present study aimed to analyze the energy efficiency of the building envelope of an educational facility at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Santa Catarina (IFSC) – Florianópolis Campus, located in Brazilian Bioclimatic Zone 3, through the application of the Normative Instruction for Commercial, Service, and Public Buildings (INI-C). This research is characterized as applied, qualitative, and descriptive, and was developed as a case study. The adopted methodology involved modifying the three-dimensional building model in Autodesk Revit, configuring the simulation parameters in OpenStudio, and performing thermal-energy simulations using EnergyPlus. Different combinations of wall, roof, and glazing materials were evaluated in order to assess the influence of these components on the energy performance of the building envelope. The results demonstrated that the constructive characteristics of the building envelope have a significant influence on the building's energy consumption, particularly with regard to the cooling load. The combinations employing materials with lower thermal transmittance (U-value) and greater thickness showed reduced energy consumption compared with the other alternatives analyzed. Based on the obtained results, it was possible to identify constructive solutions capable of improving the building's energy efficiency and reducing the demand for air-conditioning systems. It is concluded that the application of the INI-C methodology, combined with computer-based simulation, constitutes an effective tool for evaluating the energy performance of buildings, supporting design decision-making aimed at the rational use of energy in educational buildings.

Keywords: Energy efficiency; Building envelope; Educational building; Building energy simulation; INI-C.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Participação das edificações no consumo final de energia em 2022 (esquerda) e participação das edificações nas emissões globais de energia e de processos em 2022 (direita).	21
Figura 2 - Calculadora de propriedades do site ProjetEEE	23
Figura 3 - Zoneamento bioclimático do Brasil segundo a ABNT NBR 15220-3:2024	27
Figura 4 - Exemplo de APP e APT (à esquerda), e de APPs não condicionados e condicionados artificialmente (à direita).	30
Figura 5 - Valores de referência para edificações educacionais	31
Figura 6 - Edificações educacionais: o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A (CRCEpd-a), com base no fator de forma (FF) e grupo climático correspondente.	35
Figura 7 - Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral.	36
Figura 8 - Pré-requisitos de transmitância térmica para classificação nível A.	37
Figura 9 - Exemplos de materiais construtivos e suas propriedades térmicas.	38
Figura 10 - Fluxograma metodológico.	41
Figura 11 - Perspectiva e elevação do edifício analisado.	43
Figura 12 - Planta baixa do Segundo Pavimento do edifício analisado.	43
Figura 13 - duas tipologias de paredes selecionadas no Manual A do RTQ-C.	45
Figura 14 - duas tipologias de coberturas selecionadas no Manual A do RTQ-C.	46
Figura 15 - Parede correspondente ao sistema construtivo convencional da edificação.	46
Figura 16 - Vidros selecionados.	47
Figura 17 - Processo de simplificação do modelo 3D.	49
Figura 18 - Desagrupar elementos no processo de simplificação.	49
Figura 19 - Lixeiras modeladas como janelas.	50
Figura 20 - Caixa de corte para melhor identificação dos elementos a serem removidos.	51
Figura 21 - Janelas referência/real perspectiva 1.	53
Figura 22 - Janelas referência/real perspectiva 2.	54
Figura 23 - Ferramenta de criação de espaços.	55
Figura 24 - Zonas térmicas pavimento térreo.	57
Figura 25 - Zonas térmicas pavimento 1.	57
Figura 26 - Zonas térmicas pavimento 2.	58
Figura 27 - Zonas térmicas pavimento 3.	58

Figura 28 - Zonas térmicas pavimento 4.	59
Figura 29 - Zonas térmicas pavimento 5.	59
Figura 30 - Localização geográfica.	60
Figura 31 - Configurações para exportação.	61
Figura 32 - Criação de um novo material no Openstudio.	69
Figura 33 - Valores de referência fornecidos pelo INI-C para edificações educacionais.	70
Figura 34 - Configuração das cargas internas da edificação no OpenStudio.	71
Figura 35 - Gráfico do consumo total anual de energia por combinação.	76
Figura 36 - Gráfico da economia percentual em relação a edificação de referência.	77
Figura 37 -Gráfico de consumo de ar-condicionado.....	78
Figura 38 - Gráfico de consumo de aquecimento.....	78
Figura 39 - Coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A.....	80
Figura 40 - Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral.	81
Figura 41 - Gráfico de influência das paredes nos resultados.....	83
Figura 42 - Gráfico de influência das coberturas nos resultados.....	84
Figura 43 - Gráfico de influência dos vidros nos resultados.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cálculo de Percentual de Área de Abertura na Fachada (PAF).....	52
Tabela 2 - Elementos construtivos edificação de referência e suas propriedades térmicas.	63
Tabela 3 - Materiais usados no modelo real da edificação - Paredes.....	64
Tabela 4 - Materiais usados no modelo real da edificação - Coberturas.....	65
Tabela 5 - Materiais usados no modelo real da edificação - Vidros.	66
Tabela 6 - Combinações.	67
Tabela 7 - Temperaturas do solo.	73
Tabela 8 - Resultados obtidos com a simulação termo energética.	75
Tabela 9 - Limites calculado dos intervalos das classificações de eficiência energética geral.	81
Tabela 10 - Classificação energética geral da edificação.	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP – Área de Permanência Prolongada.

APT – Área de Permanência Transitória.

BIM – Building Information Modeling (Modelagem da Informação da Construção).

CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações.

CEP – Consumo de Energia Primária.

CEP_{ref} – Consumo de Energia Primária da edificação em sua condição de referência.

DACC – Departamento Acadêmico de Construção Civil.

DPE – Densidade de Potência dos Equipamentos.

DPI – Densidade de Potência da Iluminação.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética.

EPW – EnergyPlus Weather.

EPS – Poliestireno Expandido.

FF – Fator de Forma.

gbXML – Green Building XML.

HVAC – Heating, Ventilation and Air Conditioning (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina.

INI-C – Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.

PAF – Percentual de Abertura da Fachada.

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem.

RAC – Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações.

RTQ-C – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

UNEP – United Nations Environment Programme (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa	17
1.2	Definição do Problema	18
1.3	Objetivo Geral.....	18
1.4	Objetivos Específicos	18
1.5	Estrutura do Trabalho.....	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	Eficiência energética em edificações	20
2.2	Instruções normativas e certificações	22
2.2.1	NBR 15.220-2 (2024) Desempenho térmico das edificações residenciais.....	23
2.2.2	Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)	25
2.3	Metodologia INI-C para análise da eficiência energética da envoltória	26
2.3.1	Programa computacional	26
2.3.2	Zona bioclimática	27
2.3.3	Envoltória	28
2.3.4	Zonas térmicas.....	29
2.3.5	Edificação real e edificação de referência.....	30
2.3.6	Softwares utilizados	32
2.4	Determinação da classificação da edificação	34
2.5	Definição dos materiais construtivos da envoltória	36
3	METODOLOGIA	39
3.1	Métodos aplicados	39
3.2	Estudo de caso.....	42
3.3	Etapas do Trabalho	44
3.3.1	Etapa 1 – Definição dos Cenários de Avaliação	44
3.3.2	Etapa 2 – Aplicação do Método INI-C via Simulação no EnergyPlus ..	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	74
4.1	Proposição de Intervenções Construtivas.....	74
4.1.1	Resultados da simulação termoenérgica	74
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	86
	REFERÊNCIAS	

1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 1980, o tema da sustentabilidade tem sido discutido globalmente, com o objetivo principal de preservar o planeta por meio da mitigação dos impactos ambientais causados pela atividade humana (Bonisem, 2023). O setor da construção civil tem um papel significativo nesse cenário, sendo responsável por cerca de 21% das emissões globais de gases de efeito estufa (UNEP, 2024).

No Brasil, o consumo de energia elétrica ocasionado pelo setor da construção civil é uma preocupação central. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020) o setor de edificações é historicamente responsável pela maior parcela de eletricidade gasta, representando 52% do consumo total. Esse percentual enfatiza a urgência de projetar edificações mais sustentáveis e eficientes.

A crise do petróleo de 1973 e 1979 associada à crise energética de 2001 impulsionou a procura por um uso mais eficiente e diversificado das fontes de energia. O governo federal começou a implementar políticas e programas voltados à eficiência energética (Oliveira, 2024). A primeira ação oficial neste âmbito foi a publicação da Portaria MIC/GM46 do Ministério da Indústria e Comércio, que instituiu o Programa Conserve em 1981, objetivando promover a eficiência energética na indústria.

Posteriormente, em 1984, foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), implementado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), inicialmente focado em eletrodomésticos, mas depois expandido para outras áreas (Brasil, 2019).

O processo de etiquetagem de edificações evoluiu através de normativas técnicas. Dentre elas, destaca-se no presente trabalho a Instrução Normativa para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que surge como um método consolidado para avaliação e classificação da eficiência energética.

Com o aumento das demandas por conforto térmico e eficiência energética nas edificações, compreender o papel dos materiais e soluções construtivas da envoltória tornou-se essencial. Em ambientes escolares, essa questão ganha ainda mais relevância, pois o desempenho térmico impacta diretamente a concentração, o bem-estar e o rendimento dos usuários. Diante disso, surge a necessidade de investigar quais materiais e combinações construtivas são mais adequados para a

envoltória de uma edificação escolar, de modo a alcançar melhor eficiência energética e conforto térmico.

Este trabalho teve como objetivo analisar a eficiência energética da envoltória de uma edificação escolar proposta para o Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACC) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC) – Campus Florianópolis. Partiu-se da premissa de que os elementos que constituem a envoltória influenciam no desempenho termo energético da construção. Para confirmar essa hipótese, o estudo procurou compreender como as diferentes configurações construtivas e materiais impactam o resultado térmico e o consumo energético da edificação e indicar a melhor solução construtiva.

1.1 Justificativa

A escolha do tema deste trabalho parte da importância de compreender como as características construtivas influenciarão o conforto térmico e o consumo de energia no edifício escolar proposto para o DACC - IFSC. Sendo um espaço de intenso uso diário por alunos e servidores, a configuração da envoltória impactará diretamente o bem-estar dos ocupantes e o uso racional de recursos, tornando o tema relevante tanto para o campus quanto para futuras construções públicas.

A pesquisa contribui ainda ao gerar resultados que fortalecem a integração entre a teoria e a prática no ensino técnico em Edificações e no curso superior de Engenharia Civil. Além disso, amplia o acervo de estudos aplicados à eficiência energética, incentivando pesquisas e aprimoramentos nos projetos institucionais.

Os benefícios se estendem também à comunidade externa, ao divulgar práticas que favorecem construções mais sustentáveis, confortáveis e alinhadas às diretrizes ambientais atuais. Dessa forma, o trabalho reforça o papel do IFSC como agente transformador na formação de profissionais comprometidos com a sustentabilidade e o desenvolvimento tecnológico da construção civil.

Para a formação acadêmica da autora, o trabalho representa uma oportunidade de aplicar conhecimentos de projeto, modelagem e simulação energética, áreas essenciais para o engenheiro civil contemporâneo. O uso de

ferramentas como o Autodesk Revit e o EnergyPlus aproxima a estudante das práticas profissionais mais atuais do mercado.

Por fim, este trabalho concretizou a articulação entre ensino, pesquisa e extensão ao unir o estudo teórico das normas de desempenho e eficiência energética com uma aplicação prática em um caso real, gerando resultados que beneficiam tanto a comunidade acadêmica quanto a sociedade.

1.2 Definição do Problema

O problema deste trabalho consiste em responder à seguinte pergunta: Quais materiais construtivos são mais indicados para os sistemas de vedação, cobertura e vidros de uma edificação escolar localizada em zona bioclimática mista e úmida, de maneira a proporcionar maior eficiência energética e melhor conforto térmico para seus usuários?

1.3 Objetivo Geral

Identificar os materiais e sistemas construtivos mais adequados para a otimização da eficiência energética e conforto térmico dos usuários em um edifício escolar.

1.4 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Definir cenários para avaliação da envoltória no projeto escolar analisado;
- b) Identificar o desempenho termo energético dos cenários propostos;
- c) Sugerir intervenções construtivas na envoltória para a obtenção do melhor nível de eficiência energética.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução, contemplando a contextualização do tema, a justificativa, a definição do problema, os objetivos e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica, abordando os conceitos relacionados à eficiência energética em edificações, às características da envoltória, à regulamentação brasileira aplicável, com destaque para a Instrução Normativa para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), além dos aspectos relacionados à simulação termoenergética computacional.

O terceiro capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, incluindo a caracterização do estudo, a definição do objeto de análise, a modelagem da edificação, a configuração das simulações computacionais e os critérios utilizados para a avaliação da eficiência energética.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos por meio das simulações realizadas, bem como sua análise e discussão, considerando a influência dos diferentes materiais empregados nos sistemas de vedação vertical, cobertura e vidros sobre o desempenho energético da edificação.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões do estudo, destacando os principais resultados alcançados, as limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

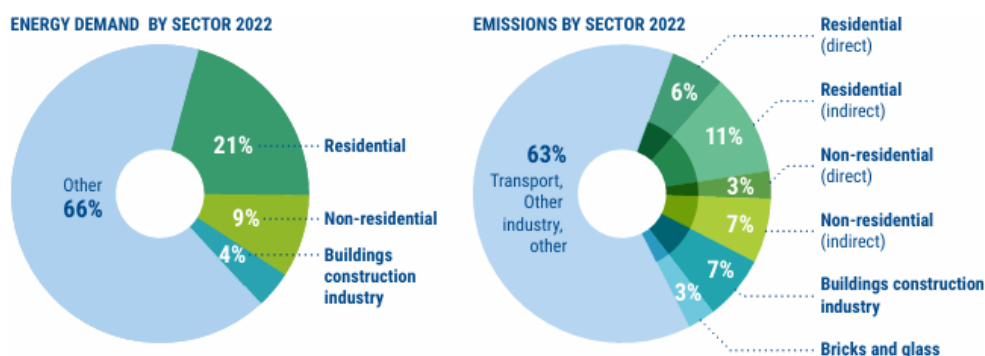
Este capítulo apresenta a base teórica que sustenta o desenvolvimento deste trabalho e serviu como referência essencial para a elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso. Foram realizados estudos de fundamentação teórica que estão descritos a seguir.

Este capítulo está organizado nas seguintes partes principais: Eficiência energética em edificações; Instruções normativas e certificações; Método de simulação termo energética e Determinação da classificação da edificação.

2.1 Eficiência energética em edificações

Nos últimos anos, a eficiência energética em edificações tem se tornado um tema central de discussões acadêmicas e profissionais, em virtude do aumento da demanda por energia elétrica que resulta em diversos impactos ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa e o uso intensivo de recursos naturais. Pesquisas datadas de 2022 comprovam que os edifícios representam aproximadamente 34% da demanda global de energia, sendo 30% referente a necessidades operacionais como aquecimento e resfriamento e 4% proveniente da energia utilizada para produzir materiais usados na construção de edifícios. Já em relação as emissões de CO₂ associadas à energia e aos processos produtivos, o setor da construção civil é responsável por 37% dessas emissões (UNEP, 2024). Pode-se observar no gráfico apresentado na Figura 1 que o setor de edificações contribui de forma relevante tanto por emissões diretas quanto indiretas, associadas principalmente ao uso de eletricidade e à produção de materiais construtivos, como concreto, aço, tijolos e vidro.

Figura 1 - Participação das edificações no consumo final de energia em 2022 (esquerda) e participação das edificações nas emissões globais de energia e de processos em 2022 (direita).



Fonte: UNEP 2024

Considerando a relevância de reduzir os impactos ambientais e econômicos associados ao consumo excessivo de energia elétrica em edificações, foram criadas normas técnicas e regulamentações nacionais que buscam estabelecer parâmetros construtivos padronizados, de modo a melhorar o desempenho energético das edificações e incentivar práticas projetuais mais sustentáveis. No Brasil, após a crise energética de 2001, foi instituída a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, acompanhada da criação do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética, o qual designou o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) como responsável pela implementação e fiscalização dos programas de avaliação de conformidade (Silva, 2019).

Nesse contexto, surgiram políticas que visam incentivar o uso racional de energia no país. Entre elas, destaca-se o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), instituído em 2003 pela Eletrobras/PROCEL, em parceria com órgãos do governo federal. Seu objetivo é promover o uso eficiente da energia elétrica, incentivando a conservação energética e o uso sustentável dos recursos naturais nas edificações (PBE Edifica, 2022).

O PBE contempla diversos programas de avaliação de desempenho que utilizam a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) como instrumento para tornar públicas as informações referentes à eficiência energética de produtos e edificações. No âmbito do programa, foram desenvolvidos o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços

e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (PBE Edifica, 2022).

No entanto, esses métodos apresentam limitações, como a ausência de representação volumétrica das edificações e o uso de parâmetros padronizados, o que motivou o desenvolvimento de um novo método de avaliação, definido pelas instruções normativas do Inmetro INI-C (Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas) e INI-R (Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais).

A seguir serão comentadas as duas principais regulamentações que foram usadas nesse trabalho: a NBR 15.220-3 (2024), que aborda as definições das propriedades dos materiais; e a INI-C que representa, segundo Pacheco (2022), um aprimoramento do RTQ-C, ao introduzir uma metodologia comparativa entre uma edificação de referência e a edificação real, com base na análise do consumo de energia primária dos sistemas avaliados.

2.2 Instruções normativas e certificações

No quesito de instruções normativas, certificações e materiais de apoio que foram utilizados no decorrer deste trabalho, destacam-se a NBR 15.220-3 e a INI-C, além do site ProjetEEE (Projetando Edificações Energeticamente Eficientes), que fornece dados sobre as características térmicas dos materiais.

Algumas propriedades térmicas dos materiais utilizados nas simulações, incluindo valores de condutividade térmica, densidade e transmitância térmica, foram definidas com base no documento "Cálculo da transmitância térmica de componentes construtivos usuais segundo a NBR 15220-2:2022", elaborado pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E/UFSC). O documento apresenta valores atualizados de transmitância térmica para componentes construtivos usuais, calculados conforme a ABNT NBR 15220-2:2022 e utilizando propriedades da ABNT NBR ISO 10456:2022, servindo como referência para a caracterização térmica dos sistemas de vedação vertical e cobertura analisados neste estudo.

No caso das propriedades dos vidros, estas foram obtidas através do site ProjetEEE (Brasil, 2025), desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia em parceria com a Eletrobras e a Universidade Federal de Santa Catarina. O ProjetEEE tem como objetivo fornecer suporte técnico para o aprimoramento da eficiência energética em edificações. A plataforma disponibiliza uma base de dados com diferentes tipos de componentes construtivos — como paredes, coberturas, pisos e aberturas — apresentando suas composições, propriedades térmicas e resultados de desempenho conforme os critérios da NBR 15220. Além disso, o site oferece uma ferramenta interativa que permite calcular propriedades térmicas como resistência, transmitância, capacidade e atraso térmico, auxiliando projetistas e pesquisadores na análise e comparação de soluções construtivas voltadas ao conforto térmico e à sustentabilidade das edificações (Figura 2).

Figura 2 - Calculadora de propriedades do site ProjetEEE

CALCULADORA DE PROPRIEDADES

Se a sua tipologia construtiva não está listada acima, utilize a Calculadora de Propriedades.
Insira todas as camadas que fazem parte da sua parede (ou cobertura), começando pela camada mais externa até chegar à camada interna.
Exemplo: granito + argamassa + tijolo + argamassa + emboço interno.
Coloque as espessuras correspondentes de cada material em centímetros.

Fonte: Site ProjetEEE 2025.

2.2.1 NBR 15.220-2 (2024) Desempenho térmico das edificações residenciais

Na presente pesquisa fez-se necessário o conhecimento de termos referentes a propriedades térmicas dos materiais. A seguir serão citadas as propriedades que foram utilizadas, retiradas da norma NBR 15.220 (2024).

Condutividade térmica de projeto (λ): A condutividade térmica de projeto é o parâmetro que define a facilidade com que o calor se propaga através de um material. É um valor característico determinado em

condições específicas de temperatura e umidade, sendo expresso em watts por metro por Kelvin ($\text{W/m}\cdot\text{K}$). Materiais com baixa condutividade térmica apresentam maior resistência à passagem de calor, atuando como isolantes térmicos. Essa propriedade é fundamental para a seleção de materiais construtivos adequados ao desempenho térmico desejado, pois influencia diretamente a eficiência energética e o conforto interno da edificação.

Transmitância térmica (U): A transmitância térmica representa a quantidade de calor que atravessa um elemento construtivo, em regime estacionário, por unidade de área e por diferença de temperatura entre as superfícies interna e externa. Essa grandeza é o inverso da resistência térmica total ($U = 1/R$) e é expressa em watts por metro quadrado Kelvin ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$). Valores menores de transmitância indicam maior isolamento térmico.

Fator de ganho de calor solar (FS): O fator de ganho de calor solar, também chamado de fator solar, representa a fração de energia térmica proveniente da irradiação solar que atravessa elementos transparentes ou translúcidos, como janelas e claraboias. Ele considera tanto a irradiação transmitida diretamente quanto a energia absorvida e reemitida pela própria abertura para o interior do ambiente. Quanto menor o valor do FS, menor será o ganho de calor solar no interior da edificação, favorecendo condições internas mais amenas e menor consumo energético com climatização. Essa propriedade é especialmente relevante em projetos que visam aproveitamento da luz natural sem comprometer o conforto térmico.

Densidade (ρ): Segundo a NBR 15.220, é razão da massa pelo volume aparente de um corpo, expressa em quilograma por metro cúbico - kg/m^3

2.2.2 Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)

A Instrução Normativa para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) estabelece os critérios e métodos para a classificação da eficiência energética de edificações, tanto em fase de projeto quanto já construídas, tendo como objetivo a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Essa instrução adota uma estrutura baseada na comparação entre a condição real da edificação e uma condição de referência previamente estabelecida.

A classificação considera o consumo de energia primária de quatro sistemas: envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água. A envoltória é avaliada por meio da comparação dos valores preditos de carga térmica total anual para refrigeração da edificação nas condições real e de referência (equivalente à classificação D). Essa predição pode ser realizada por dois métodos: o método simplificado ou o método de simulação (Pacheco, 2022).

O método de simulação pode ser aplicado em qualquer edificação, sendo obrigatório em edificações que não se enquadrem nos limites do método simplificado ou que possuam características complexas. Neste último caso, estão incluídos os edifícios que apresentem aberturas zenitais, fachadas envidraçadas, sistemas de fachada ventilada, ambientes com alta carga interna de calor ou que utilizem dispositivos móveis de sombreamento interno automatizados, bem como vidros de comportamento dinâmico — como eletrocromicos — ou outras soluções construtivas inovadoras. Além dessas situações, edificações que dispõem de sistemas de aquecimento ambiental também devem ser avaliadas impreterivelmente utilizando o método de simulação.

Segundo Pereira de Souza, Melo e Lamberts (2022), o método simplificado e o método de simulação possuem diferenças, porém ambos apresentam resultados semelhantes. Os resultados são expressos em níveis de eficiência energética que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), representados na ENCE. Essa classificação fornece informações objetivas para projetistas, gestores e usuários, permitindo não apenas a avaliação da eficiência, mas também a tomada de decisões mais sustentáveis no processo construtivo e operacional (PBE EDIFICA, 2022).

No presente trabalho, foi avaliada apenas a eficiência energética do sistema da envoltória através do método de simulação, com o intuito de trazer opções mais eficientes de materiais para o projeto arquitetônico analisado.

2.3 Metodologia INI-C para análise da eficiência energética da envoltória

No método de simulação termo energética, a edificação deve ser analisada considerando a condição real e a condição de referência. Ambas devem ser simuladas na mesma versão do mesmo programa computacional, utilizando o mesmo arquivo climático INI-C (2025).

Segundo Felipe (2023), o procedimento para avaliar a eficiência energética pelo método de simulação começa com a determinação da zona bioclimática em que a edificação está situada - com isso, consegue-se determinar qual arquivo climático usar. A seguir deve-se modelar a envoltória da edificação considerando suas características termo energéticas para a condição real e a condição de referência. Ambas as modelagens devem ser divididas em zonas térmicas, a fim de agrupar elementos espaços semelhantes no quesito de carga térmica interna.

2.3.1 Programa computacional

Segundo a INI-C (2025) o programa de simulação termo energética deve possuir as seguintes características principais: Ser um programa de análise de consumo de energia de edifícios validado pela American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE Standard 140, 2025), capaz de modelar 8.760 horas por ano, considerando variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, sistemas de condicionamento de ar e ventilação natural definidos, separadamente, para cada dia da semana e feriados. Deve ser capaz de modelar multi-zonas térmicas considerando efeitos de inércia térmica e trocas de calor entre a edificação e o solo, entre outras características.

O programa de análise energética utilizado nessa pesquisa foi o Energyplus, que, segundo Souza, Corrêa e Lopes (2023), se enquadra nos critérios de aceitação da INI-C. O programa é estruturado em módulos que calculam a

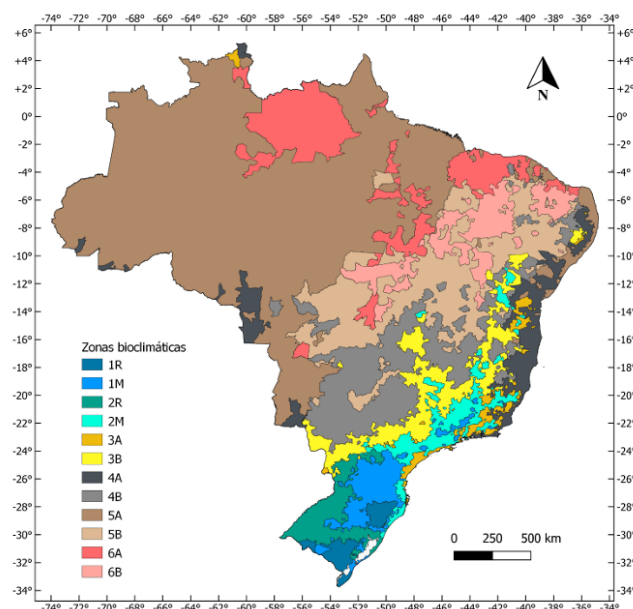
demanda de energia para aquecimento e resfriamento de uma edificação, considerando suas características físicas, as condições ambientais do local e os padrões de ocupação e operação adotados.

Juntamente com o EnergyPuls, foi utilizado o Autodesk Revit como programa auxiliar de modelagem 3D e o programa OpenStudio como intermediário entre os dois softwares citados anteriormente.

2.3.2 Zona bioclimática

O zoneamento bioclimático corresponde à divisão do território brasileiro em regiões com características climáticas semelhantes, considerando parâmetros de desempenho térmico das edificações. As Instruções Normativas adotam o zoneamento definido pela norma ABNT NBR 15220-3:2024, que classifica o país em oito zonas bioclimáticas relativamente homogêneas. Essa divisão pode ser visualizada na Figura 3:

Figura 3 - Zoneamento bioclimático do Brasil segundo a ABNT NBR 15220-3:2024



Fonte: Adaptado de ABNT (2026).

De acordo com a Instrução Normativa INI-C (2025), o arquivo climático utilizado nas simulações deve conter informações representativas das condições atmosféricas da localidade onde a edificação será implantada. Recomenda-se a

utilização dos arquivos disponibilizados no site Climate.OneBuilding.Org, indicado pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica).

Nos casos em que não houver arquivo climático específico para o município de implantação, deve-se utilizar o de uma cidade próxima que apresente características climáticas semelhantes, levando em consideração a latitude, longitude e altitude como critérios de equivalência.

Os arquivos climáticos mencionados anteriormente foram obtidos através do site Climate.OneBuilding.Org no formato TMY – Typical Meteorological Year (Ano Meteorológico Típico).

2.3.3 Envoltória

A envoltória desempenha um papel de extrema importância no desempenho térmico e na eficiência energética de uma edificação. Segundo INI-C (2025), ela é frequentemente comparada à pele da edificação, pois são as faces ou superfícies do edifício que estão em contato com o meio exterior. Esta deve ser modelada considerando os principais componentes citados a seguir:

- a) Materiais: Os materiais são elementos de suma importância em uma edificação, pois eles possuem uma propriedade chamada capacidade térmica que indica a facilidade ou não deste material reter calor.
- b) Paredes: As paredes fazem parte do sistema de fachada, sendo estas relativas aos fechamentos dos ambientes internos em relação ao ambiente externo.
- c) Coberturas: A cobertura é a superfície mais atingida pelos raios solares ao longo do dia (Pacheco, 2022). Portanto, faz-se necessário dedicar atenção redobrada para esse componente.
- d) Aberturas e tipos de vidros: As aberturas influenciam diretamente o comportamento térmico da edificação, uma vez que estas permitem a entrada direta da luz solar e podem contribuir com o aumento da carga térmica interna. Logo, é fundamental determinar as porcentagens de abertura das fachadas e como estas são conformadas nos edifícios, se

estão expostas à irradiação ou se são protegidas por meio de dispositivos de sombreamento (Pacheco, 2022).

- e) Sombreamento: o sombreamento é quantificado por meio de ângulos de sombreamento. Estes ângulos são levantados por zona térmica em relação às aberturas da zona e às obstruções próximas à edificação. Os três ângulos principais utilizados na metodologia da INI-C são: Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS), que refere-se às proteções solares horizontais sendo medido entre a base da folha de vidro e a extremidade mais distante da proteção solar horizontal; ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS), que refere-se às proteções solares verticais que é calculado como a média aritmética simples dos ângulos das proteções verticais nos dois lados da abertura; e o ângulo de Obstrução Vizinha (AOV), que representa a proteção gerada por edificações vizinhas ou pelo autossombreamento, sendo determinado pela combinação dos ângulos formados pela altura e largura da superfície obstruente em relação à abertura (INI-C, 2025).

2.3.4 Zonas térmicas

De acordo com a Instrução Normativa INI-C (2025), as zonas térmicas correspondem a áreas da edificação com comportamento semelhante quanto à carga térmica interna (proveniente de pessoas, equipamentos e iluminação) e à exposição ao ambiente externo. Ambientes com mesma orientação solar e configurações internas similares podem ser agrupados em uma única zona térmica.

A definição das zonas térmicas deve considerar fatores como orientação solar, tipo de sistema de condicionamento de ar, proximidade com paredes externas (zonas perimetrais e internas) e características construtivas do edifício.

Segundo a norma, as zonas térmicas devem ser separadas de acordo com:

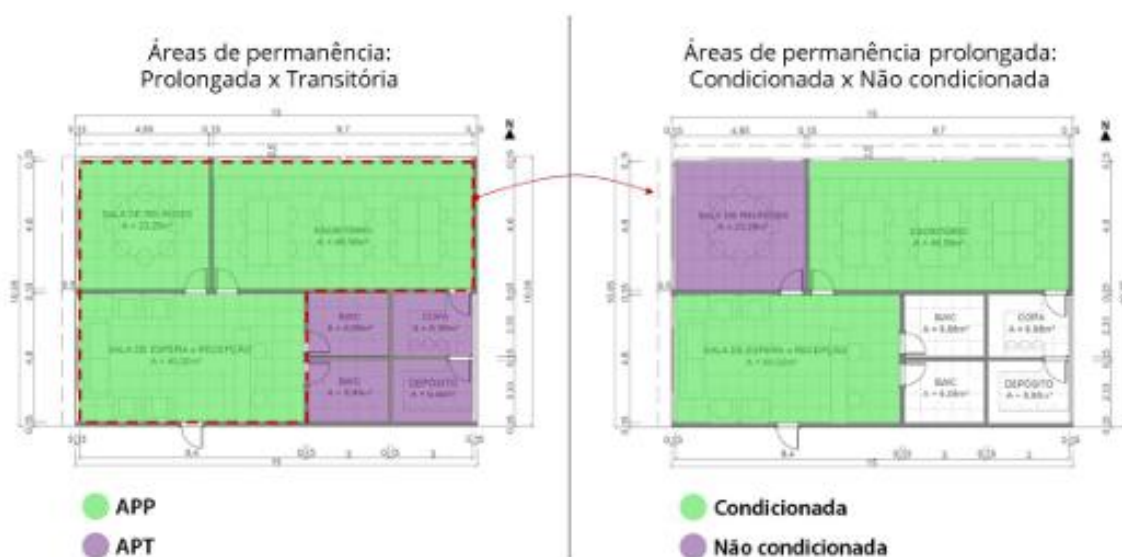
- a) Tipologia da edificação;
- b) Tipo e especificações do sistema de ar-condicionado (unitário ou central);
- c) Contato dos pisos com o solo ou com o exterior;

d) Presença de cobertura em contato direto com o ambiente externo.

As zonas térmicas são classificadas conforme os tipos de ambientes (Figura 4):

- a) Área de Permanência Prolongada (APP): espaços de uso contínuo, como salas de aula, escritórios, refeitórios e áreas de trabalho.
- b) Área de Permanência Transitória (APT): ambientes de uso breve ou eventual, como banheiros, depósitos e circulações.
- c) Área Condicionada Artificialmente: ambientes atendidos por sistemas de climatização.
- d) Área Não Condicionada Artificialmente: espaços de uso contínuo sem ar-condicionado, mas que devem comprovar conforto térmico.

Figura 4 - Exemplo de APP e APT (à esquerda), e de APPs não condicionados e condicionados artificialmente (à direita).



Fonte: Manual INI-C (2025)

2.3.5 Edificação real e edificação de referência

De acordo com a INI-C (2025) a edificação real deve ser modelada considerando todas as características da edificação de acordo com o projeto proposto. Já o modelo que representa a condição de referência deve ser simulado e modelado, considerando as características que estão apresentadas de acordo com a tipologia

avaliada. A Figura 5 representa os valores de referência para edificações educacionais.

Figura 5 - Valores de referência para edificações educacionais

Uso típico	Edificações educacionais			
	Condição real	Condição de referência		
		Educação infantil	Ensino fundamental e médio	Ensino superior
Geometria				
Área (m²)	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	40 (0,40)		
Componentes construtivos				
Parede	Condição real	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)		
Upar - Transmitância da parede externa (W/m²K)	Condição real	2,39		
αPAR - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5		
CTpar - Capacidade térmica da parede externa (kJ/m²K)	Condição real	150		
Cobertura	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)		
Ucob - Transmitância da cobertura (W/m²K)	Condição real	2,06		
αCOB - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8		
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/m²K)	Condição real	233		
Vidro	Condição real	Vidro simples incolor 6mm		
FS – Fator solar do vidro (adimensional)	Condição real	0,82		
Uvid - Transmitância do vidro (W/m²K)	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/m²)	Condição real	15,5**		
Ocupação (m²/pessoa)	Condição de referência	2,5	1,5	1,5
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m²)***	Condição de referência	15,0		
Horas de ocupação (horas)	8			
Dias de ocupação (N _{ano})****	200			
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	2,60		
Temperatura setpoint (°C)*****	24,0			

* A utilização do ângulo de obstrução por vizinhança (AOV) é opcional e deve seguir as diretrizes do RAC.

** Adotar este valor para a avaliação parcial da envoltória no caso da utilização do método do edifício completo (Subitem B.III.4.1). Para o método da atividade dos edifícios e potência ajustada, devem ser adotados os valores de potência de iluminação limite (DPIL) 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. Caso sejam adotados valores não tabelados, deve ser entregue memorial de cálculo e declaração de responsabilidade técnica (ART/RRT).

**** Os dias de ocupação desta tipologia foram calculados com base na média de dias úteis por ano, excluindo-se os meses de férias, feriados nacionais e fins de semana.

***** Caso exista a necessidade da edificação operar com um setpoint diferente, deverá ser entregue uma carta de justificativa ao OIA, seguindo-se então com o método de simulação; nestes casos, deve-se utilizar o mesmo setpoint para a edificação real e sua condição de referência.

Fonte: Manual INI-C (2025)

Como este trabalho tem o intuito de avaliar apenas a envoltória, não se fez necessário o levantamento de dados da densidade de potência dos equipamentos (DPE) e iluminação (DPI). Diante disto, utilizou-se os valores da edificação de referência para a edificação real.

Em relação ao condicionamento de ar, foram utilizados os valores da condição de referência para ambas as condições.

Como o projeto não fornece informações referentes ao aquecimento de água, esse elemento foi desconsiderado da análise.

2.3.6 Softwares utilizados

2.3.6.1 *Autodesk Revit*

O Autodesk Revit é um software BIM (Building Information Modeling) desenvolvido para arquitetos, engenheiros e demais profissionais da construção, permitindo projetar, documentar, visualizar e entregar edifícios e infraestrutura a partir de um modelo único em 3D (Autodesk, 2025).

Com o Revit, é possível modelar formas, estruturas e sistemas em três dimensões com precisão paramétrica — ou seja, ajustes em um elemento do modelo se propagam automaticamente para plantas, cortes, elevações e visualizações.

Além disso, o software facilita a colaboração entre equipes multidisciplinares — por exemplo, arquitetura, estrutura e instalações — unificando o fluxo de trabalho tanto no escritório quanto no canteiro de obras e promovendo maior eficiência e menos retrabalho.

No presente Trabalho, o Autodesk Revit foi utilizado como ferramenta de apoio para a remodelagem da futura edificação estudada e para a organização das informações necessárias à avaliação de eficiência energética da envoltória. O software permitiu estruturar o modelo arquitetônico em 3D com precisão, mantendo coerência entre plantas, cortes e demais vistas. Além disso, a extração automatizada de dados, como áreas de fachadas, tipos de materiais, esquadrias e características de cobertura, facilita a preparação dos insumos que serão posteriormente analisados com outras ferramentas, como o EnergyPlus.

Apesar das vantagens, o uso do Revit no contexto deste TCC não foi voltado para análise energética direta, já que o software ainda apresenta limitações nativas quanto às variáveis térmicas e à profundidade dos métodos exigidos pela INI-C. Assim, ele empregou-se principalmente como um meio confiável de documentação e obtenção de parâmetros construtivos, evitando erros de quantificação e inconsistências geométricas no processo de simulação.

2.3.6.2 *EnergyPlus*

O EnergyPlus é um software gratuito e de código aberto, desenvolvido pelo U.S. Department of Energy (DOE) como motor de simulação energética de edificações em larga escala — “whole-building energy simulation engine” segundo o site oficial (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2025).

Ele permite aos engenheiros, arquitetos e pesquisadores modelar o consumo de energia (aquecimento, refrigeração, ventilação, iluminação, cargas de plug-in) e uso de água em edifícios, com elevado nível de detalhe e com aplicação desde a fase de projeto até análises de desempenho em operação.

No contexto desta pesquisa, o EnergyPlus apresenta um papel fundamental na etapa de simulação de desempenho térmico da envoltória, oferecendo a capacidade de avaliar cenários com diferentes materiais, condições de uso, perfis de ocupação e clima real.

2.3.6.3 *OpenStudio*

O OpenStudio é uma plataforma de software de código aberto para modelagem de desempenho energético de edifícios, desenvolvida para facilitar a integração com o motor de simulação EnergyPlus (OpenStudio, 2025).

Através de sua arquitetura, permite que projetistas, engenheiros e pesquisadores representem o comportamento térmico, as cargas, os sistemas HVAC, a envoltória e outros componentes do edifício em um ambiente que organiza dados, bibliotecas e parâmetros de forma estruturada.

No âmbito do presente trabalho, o OpenStudio desempenhou um papel essencial na etapa de simulação energética, por meio da criação e manipulação dos modelos de edifícios que depois serão avaliados quanto ao desempenho térmico ou eficiência. Ele permite incorporar características reais da envoltória — como materiais, janelas, sombreamentos —, configurar variáveis de uso, padrões internos e perfil de ocupação, o que contribui para um cenário de simulação mais acurado. Além disso, a utilização de “measures” — scripts que automatizam transformações no modelo ou geração de cenários, como alteração de materiais ou sistemas — representa um ponto forte para estudos paramétricos e de sensibilidade.

Por tanto, ele foi usado como intermédio entre o Autodesk Revit e o EnergyPlus.

2.4 Determinação da classificação da edificação

Com a obtenção dos dados de consumo energético para os sistemas individuais da edificação (iluminação, equipamentos e ar-condicionado), retirados diretamente dos dados de saída da simulação computacional, chega-se aos valores totais de carga térmica de resfriamento anual da edificação para a condição real (CGT_{treal}) e de referência (CGT_{tref}). A partir desses valores, consegue-se obter o nível de eficiência energética geral da edificação por meio dos cálculos a seguir.

O fator de forma é razão entre a área da envoltória pelo volume total da edificação (Equação 1).

Equação 1 – Fator de forma

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}}$$

Onde:

FF é o fator de forma da edificação (m^2/m^3);

Aenv é a área da envoltória (m^2);

Vtot é o volume total construído da edificação (m^3).

A partir do valor de forma e do grupo climático anteriormente determinados, obtém-se o coeficiente de redução de energia primária da classificação D para a classificação A, utilizando as tabelas da INI-C de acordo com a tipologia da edificação.

Para edificações educacionais, a tabela a seguir representa o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A (CRCEpd-a), com base no fator de forma (FF) e grupo climático segundo a classificação proposta por Roriz (2014) que indica Florianópolis como pertencente ao grupo climático 1-B, correspondente (Figura 6).

Figura 6 - Edificações educacionais: o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A (CRCEpd-a), com base no fator de forma (FF) e grupo climático correspondente.

Grupo Climático	Coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a classificação A (C _{RPD-A})			
	FF ≤ 0,20	0,20 < FF ≤ 0,30	0,30 < FF ≤ 0,40	FF > 0,40
GC 1- A	0,33	0,34	0,31	0,30
GC 1- B	0,31	0,32	0,30	0,29
GC 2	0,33	0,34	0,31	
GC 3				
GC 4				
GC 5	0,31	0,32	0,29	0,27
GC 6				0,28
GC 7				
GC 8				
GC 9		0,33	0,31	0,29
GC 10	0,32	0,34		0,30
GC 11	0,31	0,32	0,30	0,28
GC 12				
GC 13	0,30	0,31	0,29	
GC 14				0,27
GC 15				
GC 16				
GC 17	0,27	0,28	0,27	0,25
GC 18		0,29		0,26
GC 19	0,28			
GC 20	0,28	0,30	0,28	
GC 21				
GC 22			0,27	
GC 23				
GC 24				

Fonte: INI-C (2025)

Em seguida, com os valores de consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência e o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A, encontra-se a variável “i” (Equação 2).

Equação 2 – Coeficiente de redução

$$i = \frac{(CEP_{ref} \times CRCEPD - a)}{3}$$

Onde:

i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes;

CEP_{ref} é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

CRCEPD-A é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A.

Por meio da comparação entre os valores de consumo de energia primária da edificação real e os intervalos calculados, consegue-se identificar a classificação da eficiência energética geral da edificação analisando a Figura 7 fornecida pela INI-C (2025).

Figura 7 - Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral.

Classif. de eficiência	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: INI-C (2025).

2.5 Definição dos materiais construtivos da envoltória

Segundo Oliveira (2024), a escolha dos materiais é bastante relevante para a eficiência energética de uma edificação, pois eles determinam o desempenho da envoltória (paredes, coberturas e aberturas), influenciando diretamente a carga térmica e a necessidade de sistemas ativos de refrigeração.

Nesse quesito, o PBE Edifica fornece o Manual A: Diretrizes para obtenção de classificação nível A para edificações comerciais, de serviços e públicas. Esse documento apresenta os pré-requisitos relacionados aos materiais e suas

características térmicas separados por zonas bioclimáticas, a fim de atingir o nível de classificação energética A.

Para a zona bioclimática 3A, por exemplo, é recomendado que as paredes externas tenham transmitância térmica menor ou igual a 3,70 W/(m²K). Já para as coberturas, estas devem ter primeiramente a classificação do ambiente definido entre condicionado artificialmente ou não condicionado artificialmente. A transmitância térmica destes deve ser, respectivamente, menor ou igual a 1,00 W/(m²K) e menor ou igual a 2,00 W/(m²K) (Figura 8).

Figura 8 - Pré-requisitos de transmitância térmica para classificação nível A.

1	Transmitância térmica [W/(m²K)]	Paredes externas	Cobertura	
			(ambientes condicionados artificialmente)	(ambiente não condicionados artificialmente)
		$U \leq 3,70$	$U \leq 1,00$	$U \leq 2,00$

Fonte: Manual A: Diretrizes para obtenção de classificação nível A para edificações comerciais, de serviços e públicas

Alguns exemplos de referência de materiais que se enquadram nesse requisito podem ser encontrados no anexo V (Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros) do Manual RAC (Requisitos de Avaliação da Conformidade) que são documentos cujo objetivo é fornecer suporte técnico para a aplicação da INI-C (PBE EDIFICA, 2025). Em relação aos tipos de vidros, não foram apresentadas especificações de pré-requisitos. A Figura 9 informa alguns exemplos de materiais indicados no manual e suas especificações.

Figura 9 - Exemplos de materiais construtivos e suas propriedades térmicas.

	Descrição: 5 Argamassa interna (2,5cm) Bloco de concreto (14,0 x 19,0 x 39,0cm) Argamassa externa (2,5cm) Pintura externa (α) <table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th><th>C_T</th></tr> <tr> <th>[W/(m²K)]</th><th>[kJ/m²K]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,69</td><td>272</td></tr> </tbody> </table>	U	C _T	[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	2,69	272
U	C _T						
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]						
2,69	272						
	Descrição: 27 Argamassa interna (2,5cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm) Câmara de ar (> 5cm) Placa melamínica <table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th><th>C_T</th></tr> <tr> <th>[W/(m²K)]</th><th>[kJ/m²K]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,63</td><td>121</td></tr> </tbody> </table>	U	C _T	[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	1,63	121
U	C _T						
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]						
1,63	121						
	Descrição: 29 Argamassa interna (2,5cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm) Poliestireno (8cm) Placa melamínica <table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th><th>C_T</th></tr> <tr> <th>[W/(m²K)]</th><th>[kJ/m²K]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,40</td><td>125</td></tr> </tbody> </table>	U	C _T	[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	0,40	125
U	C _T						
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]						
0,40	125						
	Descrição: 20 Laje maciça 10,0cm Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha metálica* 0,1cm Poliestireno (isopor) 4,0cm Telha metálica* 0,1cm * A transmitância térmica independe se a telha tem formato trapezoidal ou ondulada <table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th><th>C_T</th></tr> <tr> <th>[W/(m²K)]</th><th>[kJ/m²K]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,68</td><td>229</td></tr> </tbody> </table>	U	C _T	[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	0,68	229
U	C _T						
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]						
0,68	229						
	Descrição: 14 Laje pré-moldada 12cm (concreto 4cm + EPS 7cm + argamassa 1cm) Câmara de ar (> 5,0 cm) Telha cerâmica <table border="1"> <thead> <tr> <th>U</th><th>C_T</th></tr> <tr> <th>[W/(m²K)]</th><th>[kJ/m²K]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1,52</td><td>150</td></tr> </tbody> </table>	U	C _T	[W/(m²K)]	[kJ/m²K]	1,52	150
U	C _T						
[W/(m²K)]	[kJ/m²K]						
1,52	150						

Fonte: Manual A: Diretrizes para obtenção de classificação nível A para edificações comerciais, de serviços e públicas

3 METODOLOGIA

Este trabalho caracterizou-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e descritiva, que tem por finalidade analisar o desempenho energético da envoltória de uma edificação escolar com base nos critérios estabelecidos pela Instrução Normativa INI-C.

A metodologia fundamentou-se em procedimentos experimentais e analíticos, desenvolvidos a partir de um estudo de caso com base no projeto arquitetônico de um edifício de ensino técnico e superior pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC).

A investigação buscou compreender o comportamento termo energético da envoltória a partir da simulação computacional e análise comparativa de cenários construtivos, possibilitando propor intervenções arquitetônicas e materiais que promovam maior eficiência energética e conforto térmico.

3.1 Métodos aplicados

A metodologia foi organizada em duas etapas principais, conforme os objetivos específicos propostos:

Etapas 1 – Definição dos Cenários de Avaliação

Inicialmente foi realizado um levantamento das informações referentes ao projeto arquitetônico que constitui o objeto de estudo deste trabalho. Em paralelo, foi feita uma pesquisa bibliográfica abrangendo as legislações e normas técnicas vigentes relacionadas a desempenho térmico de edificações, os manuais e guias da INI-C que orientarão o trabalho, além das referências teóricas e metodológicas pertinentes ao tema.

Esse levantamento forneceu a base técnica e conceitual para a definição dos cenários da envoltória, que foram elaborados a partir das características construtivas do edifício e de possíveis alternativas de melhoria. Para essa definição, foram consideradas as seguintes variáveis:

- a) Zoneamento bioclimático;

- b) Materiais de fechamento vertical, cobertura e vidros, avaliando suas propriedades térmicas (transmitância, capacidade térmica e absorvância);
- c) Condições originais e de referência.

Etapa 2 – Aplicação do Método INI-C via Simulação no EnergyPlus

Com os cenários definidos, foi aplicada a metodologia de simulação da INI-C, que consiste em avaliar o comportamento térmico da edificação considerando as condições de uso e ocupação típicas de ambientes escolares. A simulação foi realizada no EnergyPlus, software de referência internacional desenvolvido pelo U.S. Department of Energy, compatível com o método de cálculo exigido pela norma.

O modelo tridimensional da futura edificação foi fornecido pelo IFSC no Autodesk Revit, utilizado como ferramenta de apoio para a extração das informações geométricas e construtivas, garantindo precisão e compatibilidade com o programa de simulação EnergyPlus. O software OpenStudio foi utilizado como intermediário entre ambos os programas. O modelo de referência foi remodelado no Revit, a partir do modelo real.

Por último, foram executadas as simulações termo energéticas no EnergyPlus, a partir da definição dos cenários com diferentes materiais para as vedações e coberturas. Esses testes objetivam identificar quais componentes construtivos resultam na melhor eficiência energética e conforto térmico da futura edificação.

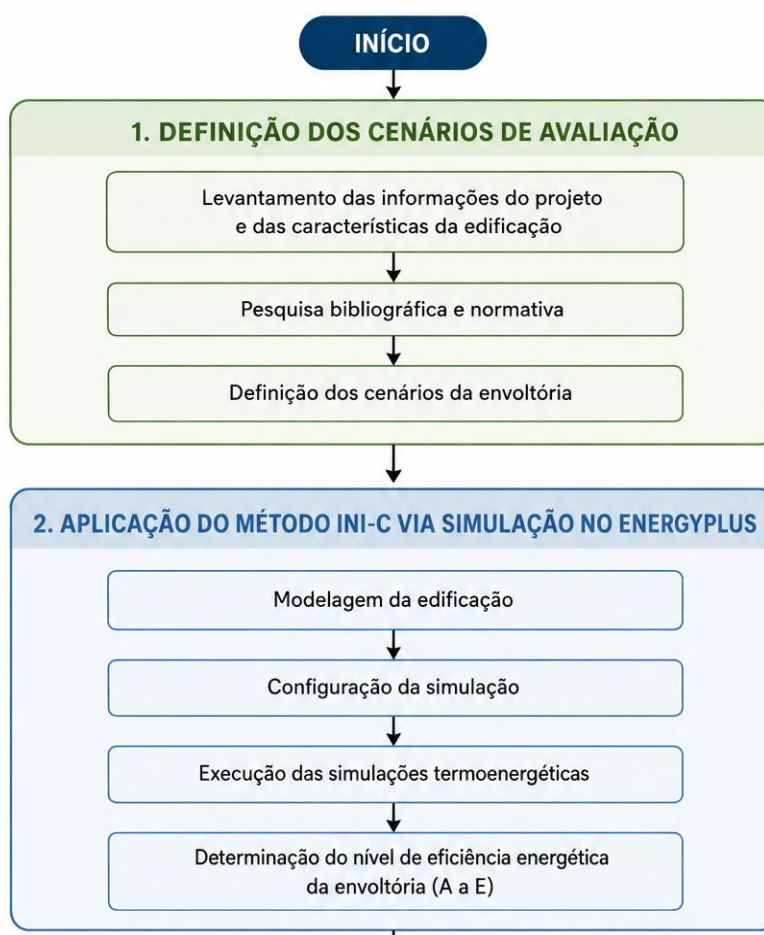
As principais etapas desta fase incluíram:

- a) Importação do modelo tridimensional gerado no Revit para o OpenStudio e, posteriormente, para o EnergyPlus;
- b) Inserção dos dados construtivos e térmicos da edificação, obtidos a partir das especificações do projeto e de catálogos de propriedades de materiais retirados do site ProjeetEEE e do documento "Cálculo da transmitância térmica de componentes construtivos usuais segundo a NBR 15220-2:2022", elaborado pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E/UFSC).

- c) Definição dos arquivos climáticos correspondentes à cidade de Florianópolis – SC, localizada na Zona Bioclimática 3, conforme a ABNT NBR 15220-3 (2005);
- d) Execução das simulações dos cenários conforme as diretrizes da INI-C – Método de Simulação;
- e) Determinação do nível de eficiência energética da envoltória (A a E) para cada caso analisado, com base no consumo de energia e desempenho térmico obtido.

A Figura 10 demonstra um fluxograma da metodologia que foi adotada no trabalho.

Figura 10 - Fluxograma metodológico.



Fonte: Autoria própria, 2026.

3.2 Estudo de caso

Como já informado anteriormente, o objeto de estudo deste trabalho é uma edificação escolar proposta para o Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACC) do IFSC – Campus Florianópolis. O edifício integra um conjunto de edificações que compõem o setor acadêmico da instituição e abriga espaços destinados ao ensino, pesquisa e extensão na área da construção civil.

O edifício apresenta características arquitetônicas e construtivas contemporâneas, incorporando princípios de acessibilidade, eficiência energética e conforto ambiental. O projeto está sendo desenvolvido por uma comissão interna de especialistas (IFSC, 2025), contemplando soluções como painéis fotovoltaicos, telhado verde e sistema de reaproveitamento de águas pluviais.

O projeto possui seis pavimentos, além de áreas técnicas e cobertura, totalizando diversos ambientes distribuídos conforme o uso:

- a) Pavimento térreo: laboratórios de Geotecnia, Topografia e Estruturas, almoxarifado e áreas administrativas.
- b) Primeiro Pavimento: Museu Ênio Miguel de Souza e auditório com capacidade para cerca de 90 lugares.
- c) Segundo e Terceiro Pavimentos: salas de aula, laboratórios de informática, espaços de apoio e circulação.
- d) Quarto e Quinto Pavimentos: laboratórios especializados, salas de professores, áreas de pesquisa e coordenações.
- e) Cobertura: painéis fotovoltaicos, telhado verde e reservatórios técnicos de água.

A estrutura apresentada no projeto é composta predominantemente por elementos de concreto, fechamentos em alvenaria cerâmica, e cobertura com sistemas planos e inclinados. As fachadas apresentam grandes aberturas e brises, visando otimizar a iluminação natural e reduzir a carga térmica interna.

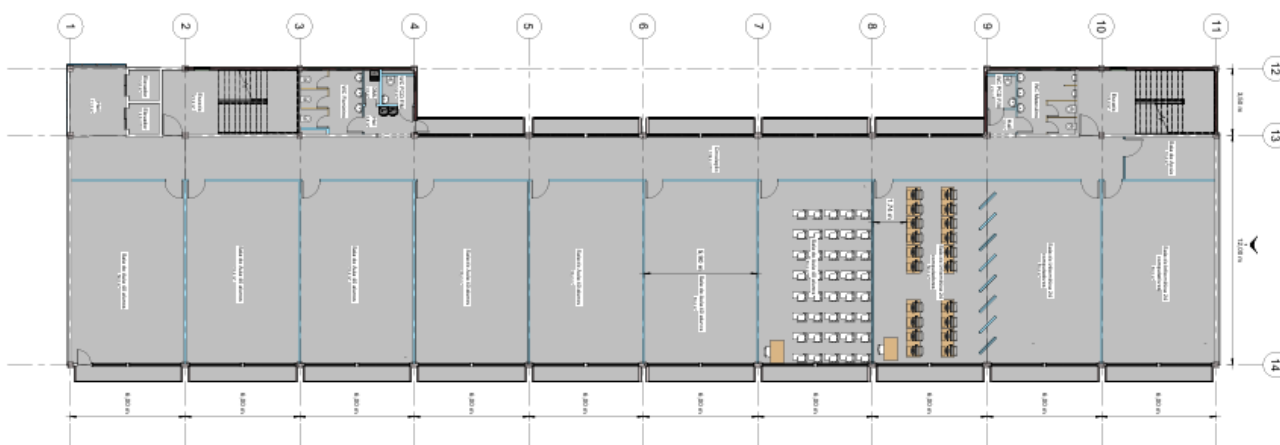
O projeto foi escolhido como objeto de estudo por se tratar de uma edificação representativa da tipologia acadêmica e com potencial para avaliação da eficiência energética da envoltória. Sua análise permite compreender o comportamento térmico dos materiais empregados e propor alternativas de melhoria baseadas na metodologia INI-C (Figuras 11 e 12).

Figura 11 - Perspectiva e elevação do edifício analisado.



Fonte: IFSC, 2025.

Figura 12 - Planta baixa do Segundo Pavimento do edifício analisado.



Fonte: IFSC, 2025.

Em relação aos dados climáticos, Florianópolis apresenta clima classificado como temperado, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002). De acordo com a NBR 15220-3, o município está inserido na Zona Bioclimática 3A.

Segundo a classificação proposta por Roriz (2014), que agrupa o território brasileiro em conjuntos climáticos com base em características térmicas e hídricas, Florianópolis pertence ao Grupo 1-B, o qual compreende regiões com temperatura média anual superior a 21 °C, reforçando seu enquadramento em um clima de comportamento termicamente ameno e úmido.

3.3 Etapas do Trabalho

Conforme citado anteriormente, o presente trabalho dividiu-se em 3 etapas principais, as quais foram detalhadas a seguir.

3.3.1 Etapa 1 – Definição dos Cenários de Avaliação

Para a modelagem da edificação de referência, foram utilizados os conjuntos construtivos especificados pelo manual da INI-C para edificações educacionais de referência.

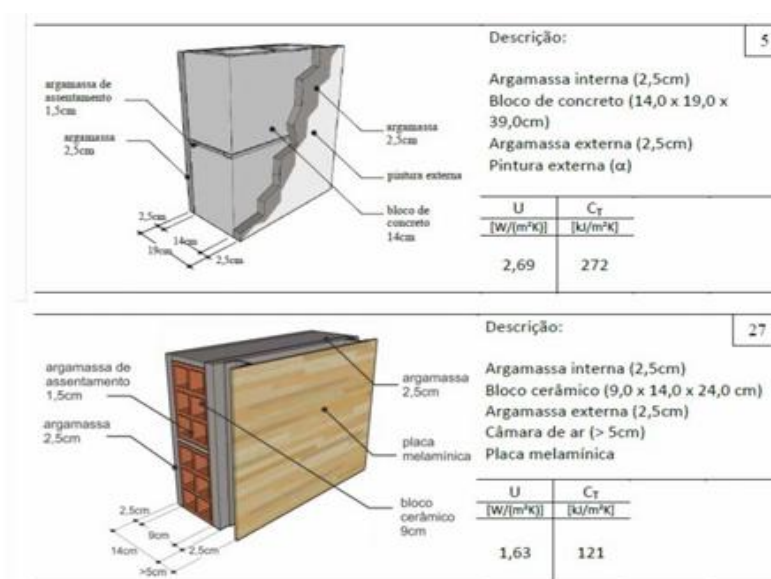
Já quanto a definição dos materiais utilizados nas simulações da envoltória do modelo real, teve como referência as diretrizes estabelecidas pelo RTQ-C para edificações inseridas na Zona Bioclimática 3, considerando os limites máximos de transmitância térmica para paredes externas e coberturas. Conforme o Manual A do Procel Edifica, para esta zona bioclimática recomenda-se transmitância térmica máxima de 3,70 W/m²K para paredes externas, 1,00 W/m²K para coberturas de ambientes condicionados artificialmente e 2,00 W/m²K para ambientes não condicionados artificialmente. O próprio Manual A do RTQ-C apresenta exemplos de materiais e composições construtivas recomendadas para atendimento aos critérios da Zona Bioclimática 3. A partir dessas recomendações, foram selecionadas duas tipologias de paredes e duas tipologias de coberturas para realização das simulações de desempenho térmico. Além disso, foi considerada uma terceira tipologia de parede correspondente ao sistema construtivo convencional da edificação analisada,

permitindo a comparação entre os materiais recomendados pelo regulamento e a solução originalmente utilizada na edificação.

Para a Zona Bioclimática 3, o RTQ-C estabelece limites relacionados ao fator solar das aberturas, visando reduzir os ganhos térmicos excessivos provenientes da irradiação solar. Dessa forma, a utilização de vidros refletivos é recomendada. Conforme Silva et al. (2017), vidros refletivos apresentam menor fator solar em relação aos vidros transparentes comuns, reduzindo a transmissão de calor proveniente da irradiação solar incidente e favorecendo o desempenho termoenergético das edificações. Neste trabalho, foram selecionados dois tipos de vidros refletivos obtidos no site ProjetEEE, considerando suas propriedades térmicas e seu potencial de contribuição para a eficiência energética da envoltória da edificação.

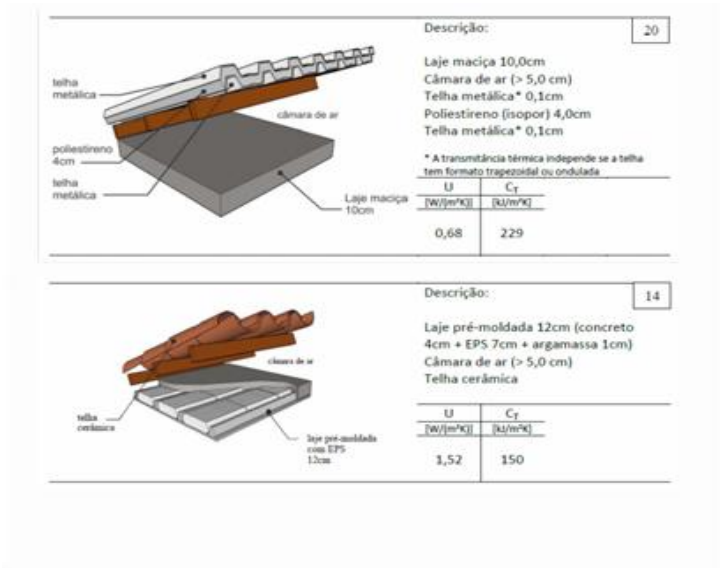
As Figuras 13, 14, 15 e 16 a seguir ilustram os materiais selecionados.

Figura 13 - duas tipologias de paredes selecionadas no Manual A do RTQ-C.



Fonte: Manual A do RTQ-C (2014)

Figura 14 - duas tipologias de coberturas selecionadas no Manual A do RTQ-C.



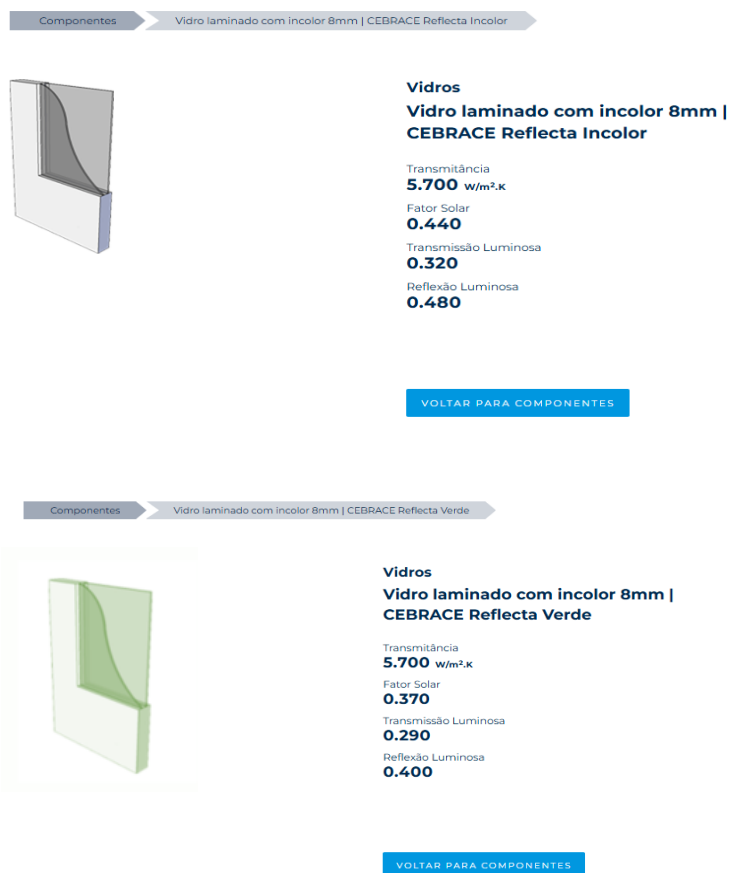
Fonte: Manual A do RTQ-C (2014)

Figura 15 - Parede correspondente ao sistema construtivo convencional da edificação.



Fonte: Manual de propriedades site ProjetEEE (2026)

Figura 16 - Vidros selecionados.



Fonte: Manual de propriedades site ProjetEEE (2026)

3.3.2 Etapa 2 – Aplicação do Método INI-C via Simulação no EnergyPlus

Para a realização da simulação termoeenergética, foi necessário executar algumas etapas preliminares, incluindo a adequação do modelo tridimensional, a definição dos espaços e zonas térmicas no software Revit e a configuração dos parâmetros de exportação para o OpenStudio.

No OpenStudio, foram realizadas as configurações necessárias para a simulação, como a inserção do arquivo climático da região de estudo, a definição das propriedades térmicas dos materiais construtivos e a configuração dos horários de ocupação, iluminação e utilização de equipamentos. Essas informações são

fundamentais para representar adequadamente as condições reais de operação da edificação durante o período analisado.

Após a conclusão dessas etapas, o modelo foi exportado em formato IDF (*Intermediate Data Format*) e importado para o software EnergyPlus, onde foram efetuadas configurações complementares. Entre elas, destacam-se a inserção das temperaturas mensais do solo, a definição das temperaturas de setpoint para aquecimento e resfriamento dos ambientes, a configuração do período anual de funcionamento da edificação e a exclusão da operação nos finais de semana, conforme as condições reais de uso do campus.

As etapas descritas anteriormente são apresentadas e detalhadas nas seções seguintes. Levando-se em consideração que foram atribuídas tanto para o edifício real quanto para o edifício de referência, sendo este modificado no sistema de aberturas.

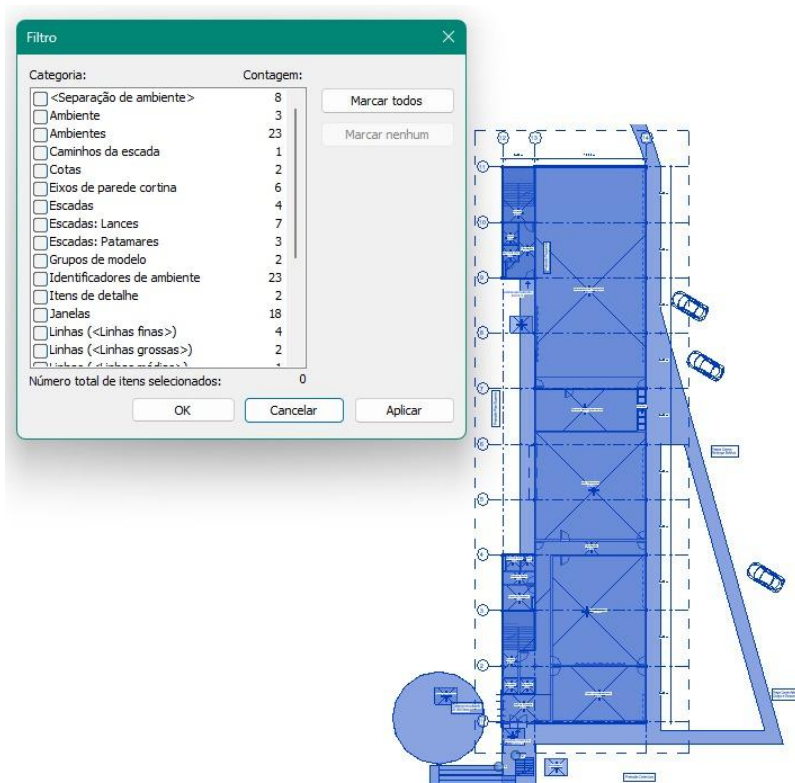
3.3.2.1 *Etapas iniciais de limpeza do modelo*

Para dar início ao processo de simulação energética, é necessário analisar o projeto original fornecido pelo IFSC e realizar uma etapa inicial de limpeza do modelo. Nessa etapa, devem ser removidos todos os elementos que não são relevantes para a análise energética, tais como cotas, anotações, mobiliário e demais componentes de representação gráfica.

O objetivo desse procedimento é manter no modelo apenas os elementos construtivos que compõem a envoltória e a estrutura da edificação, como paredes, pisos, janelas e cobertura.

Esse processo é realizado no software Autodesk Revit, por meio da abertura da planta de cada pavimento do edifício e da aplicação de filtros de visibilidade para excluir as categorias desnecessárias. A Figura 17 apresenta um exemplo desse procedimento, no qual são selecionadas as categorias que devem ser ocultadas no modelo.

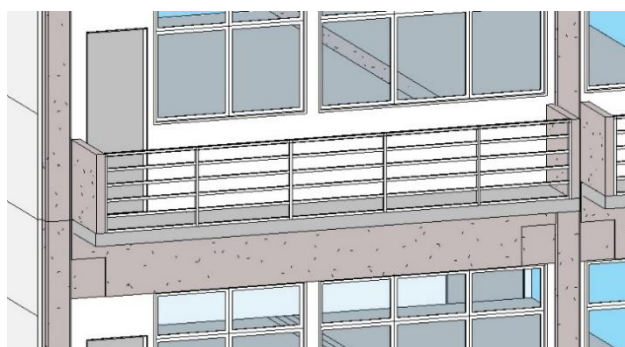
Figura 17 - Processo de simplificação do modelo 3D.



Fonte: Autoria própria (2026).

Alguns objetos presentes no modelo demandaram uma análise mais detalhada, pois estavam inseridos em grupos de modelos. Nesses casos, quando era necessário excluir um elemento específico, tornou-se indispensável desagrupar o conjunto de elementos previamente, permitindo assim a remoção isolada do objeto desejado. A Figura 18 ilustra um exemplo de grupo de modelos no qual foi necessário aplicar esse procedimento.

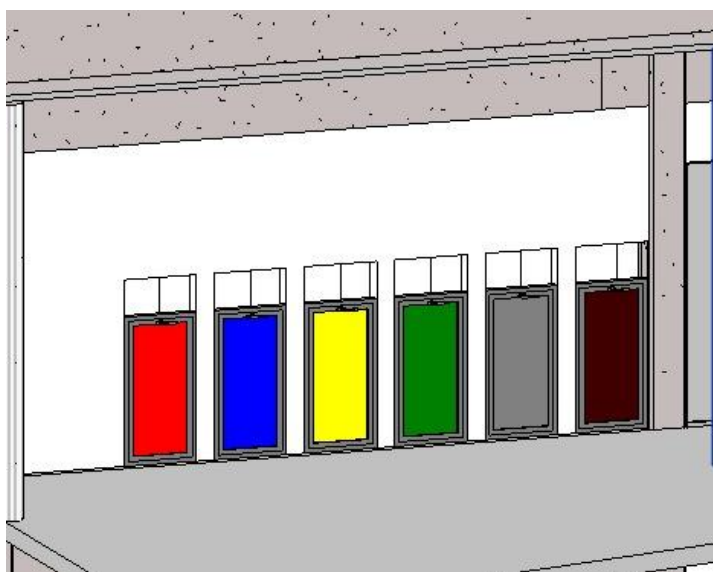
Figura 18 - Desagrupar elementos no processo de simplificação.



Fonte: Autoria própria (2026).

Outro ponto que mereceu atenção foi a presença de lixeiras modeladas como janelas embutidas nas paredes, conforme apresentado na Figura 19. Essa modelagem inadequada poderia comprometer o fluxo de trabalho durante as etapas seguintes da análise do modelo, especialmente nos processos de exportação e simulação energética. Dessa forma, optou-se pela exclusão desses elementos, garantindo maior consistência e confiabilidade ao modelo utilizado.

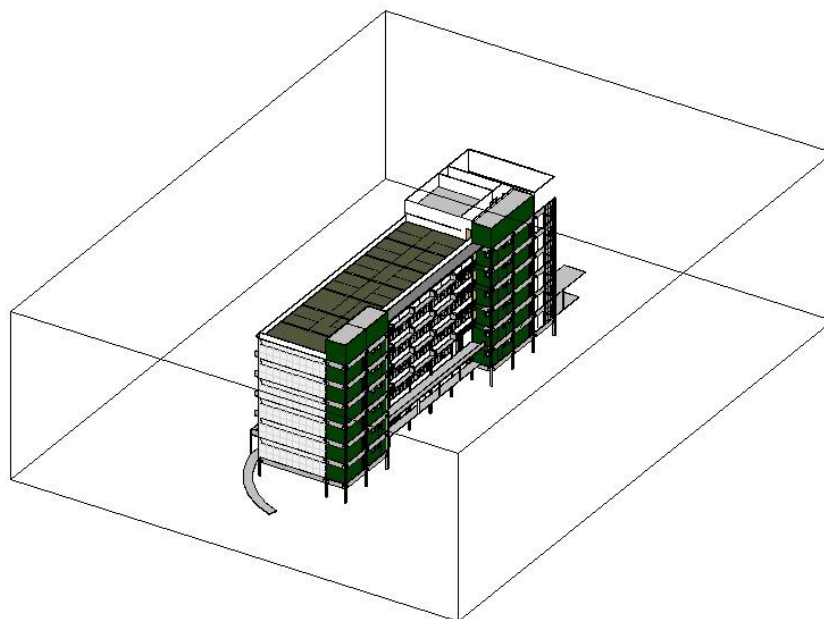
Figura 19 - Lixeiras modeladas como janelas.



Fonte: Autoria própria (2026).

Por fim, para verificar se apenas os elementos construtivos necessários permaneceram no modelo, foi utilizada a caixa de corte na vista 3D. Esse recurso permitiu realizar uma análise progressiva do edifício, deslocando o plano de corte verticalmente e avaliando cada pavimento individualmente, conforme ilustrado na Figura 20. Esse procedimento possibilitou identificar e remover possíveis elementos remanescentes que não fossem relevantes para a análise.

Figura 20 - Caixa de corte para melhor identificação dos elementos a serem removidos.



Fonte: Autoria própria (2026).

Além da remoção de elementos que atrapalhariam a simulação, foi removida as paredes internas e portas pois estas não eram necessárias para análise.

3.3.2.2 Criação do modelo de referência

O modelo de referência manteve a geometria original da edificação, tendo como principal alteração o dimensionamento das aberturas.

Para a definição das aberturas, o manual da INI-C estabelece um percentual de 40% de área de abertura em relação à área total de cada fachada. Dessa forma, foram levantadas as áreas das quatro fachadas da edificação e aplicado esse percentual separadamente por pavimento.

Em seguida, realizou-se a comparação entre as aberturas existentes no modelo da edificação real e as áreas de abertura necessárias para o modelo de referência. A partir dessa análise, optou-se por ajustar as dimensões das janelas por meio da alteração de sua altura, de modo que a área total de abertura atendesse aos valores calculados anteriormente.

A Tabela 1 apresenta as divergências de área das esquadrias, por fachada e pavimento, entre o modelo real e o modelo de referência.

Tabela 1 - Cálculo de Percentual de Área de Abertura na Fachada (PAF).

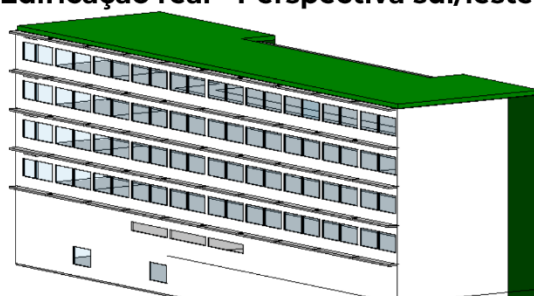
Pavimento	Fachada (orientação)	Área fachada (m²)	PAF	Área abertura (m²)	Área real de esquadrias (m²)	Diferença (m²)	Alteração
Pavimento Térreo	Norte	210	40,00%	84,0	25,48	58,5	Aumentar
	Sul	210	40,00%	84,0	8,64	75,4	Aumentar
	Leste	54,25	40,00%	21,7	0	21,7	Aumentar
	Oeste	54,25	40,00%	21,7	15,5	6,2	Aumentar
Pavimento 1	Norte	210	40,00%	84,0	60	24,0	Aumentar
	Sul	210	40,00%	84,0	13,44	70,6	Aumentar
	Leste	54,25	40,00%	21,7	0	21,7	Aumentar
	Oeste	54,25	40,00%	21,7	15,5	6,2	Aumentar
Pavimento 2	Norte	210	40,00%	84,0	60	24,0	Aumentar
	Sul	210	40,00%	84,0	84,96	-1,0	Diminuir
	Leste	54,25	40,00%	21,7	0	21,7	Aumentar
	Oeste	54,25	40,00%	21,7	15,5	6,2	Aumentar
Pavimento 3	Norte	210	40,00%	84,0	60	24,0	Aumentar
	Sul	210	40,00%	84,0	84,96	-1,0	Diminuir
	Leste	54,25	40,00%	21,7	0	21,7	Aumentar
	Oeste	54,25	40,00%	21,7	15,5	6,2	Aumentar
Pavimento 4	Norte	210	40,00%	84,0	60	24,0	Aumentar
	Sul	210	40,00%	84,0	84,96	-1,0	Diminuir
	Leste	54,25	40,00%	21,7	0	21,7	Aumentar
	Oeste	54,25	40,00%	21,7	15,5	6,2	Aumentar
Pavimento 5	Norte	210	40,00%	84,0	60	24,0	Aumentar
	Sul	210	40,00%	84,0	84,96	-1,0	Diminuir
	Leste	54,25	40,00%	21,7	0	21,7	Aumentar
	Oeste	54,25	40,00%	21,7	15,5	6,2	Aumentar

Fonte: Autoria própria (2026).

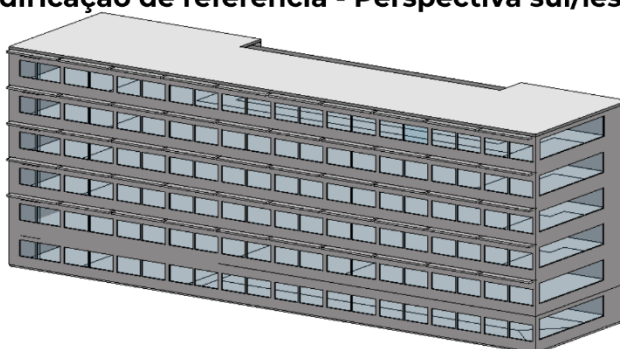
Considerando os percentuais de abertura estabelecidos para a edificação de referência, optou-se por ajustar as dimensões das esquadrias por meio da alteração de suas alturas, preservando as larguras originalmente adotadas no projeto arquitetônico. As Figuras 21 e 22 apresentam as diferenças de forma visual em relação ao tamanho de aberturas por fachadas.

Figura 21 - Janelas referência/real perspectiva 1.

Edificação real - Perspectiva sul/leste



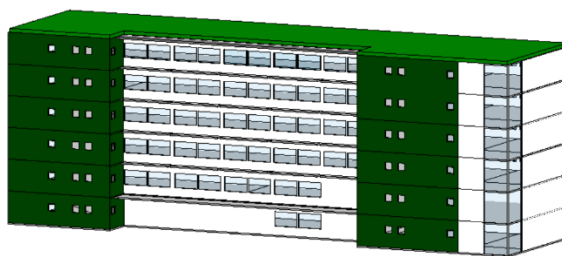
Edificação de referência - Perspectiva sul/leste



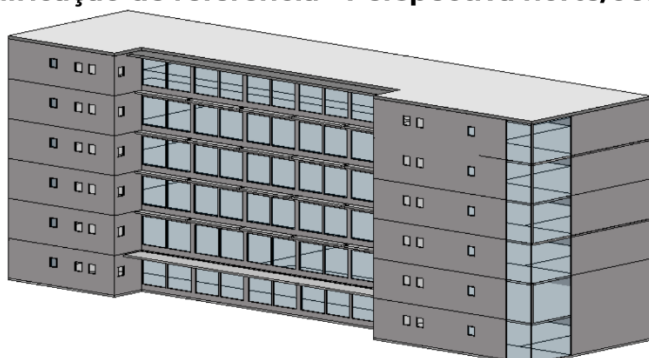
Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 22 - Janelas referência/real perspectiva 2.

Edificação real - Perspectiva norte/oeste



Edificação de referência - Perspectiva norte/oeste

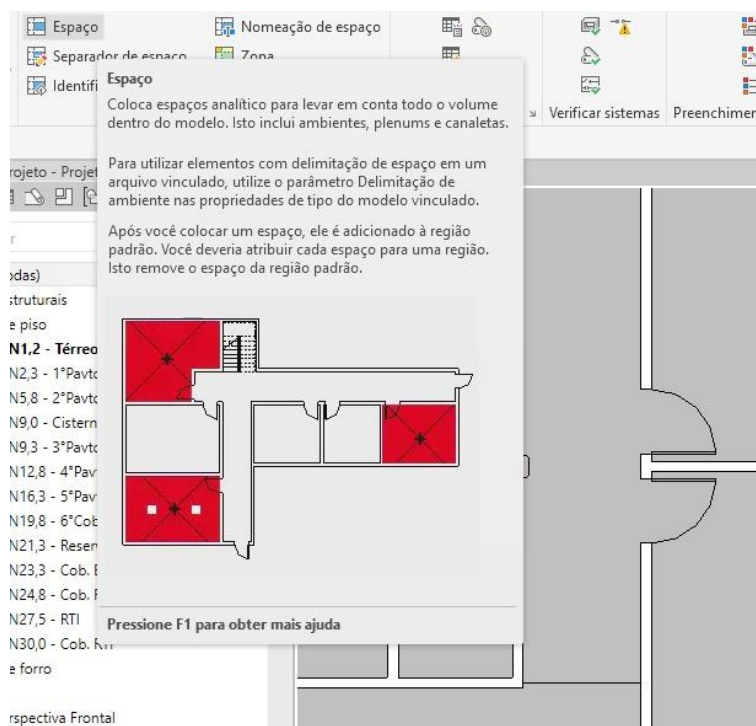


Fonte: Autoria própria (2026).

3.3.2.3 Criação de espaços no Revit

Para criar as zonas térmicas no Revit, é necessário adicionar espaços a cada ambiente. Esses espaços são elementos fundamentais para a análise energética, pois representam os volumes internos da edificação que serão considerados nos cálculos de desempenho térmico. A Figura 23 mostra a ferramenta de criação de espaços no software.

Figura 23 - Ferramenta de criação de espaços.



Fonte: Autoria própria (2026).

Após inserir os espaços em todos os ambientes, é importante verificar se eles estão corretamente delimitados pelas superfícies (paredes, pisos, lajes e coberturas), garantindo que não existem falhas na definição dos limites. Isso assegura que o modelo energético seja interpretado de forma adequada pelos softwares de simulação.

3.3.2.4 Agrupamento em zonas térmicas

Com todos os espaços previamente delimitados no modelo, procede-se à definição das zonas térmicas, etapa fundamental para a simulação do desempenho energético da edificação. Cada zona térmica deve ser devidamente nomeada e configurada, agrupando ambientes que apresentem características semelhantes de uso, ocupação, cargas internas e padrões de operação.

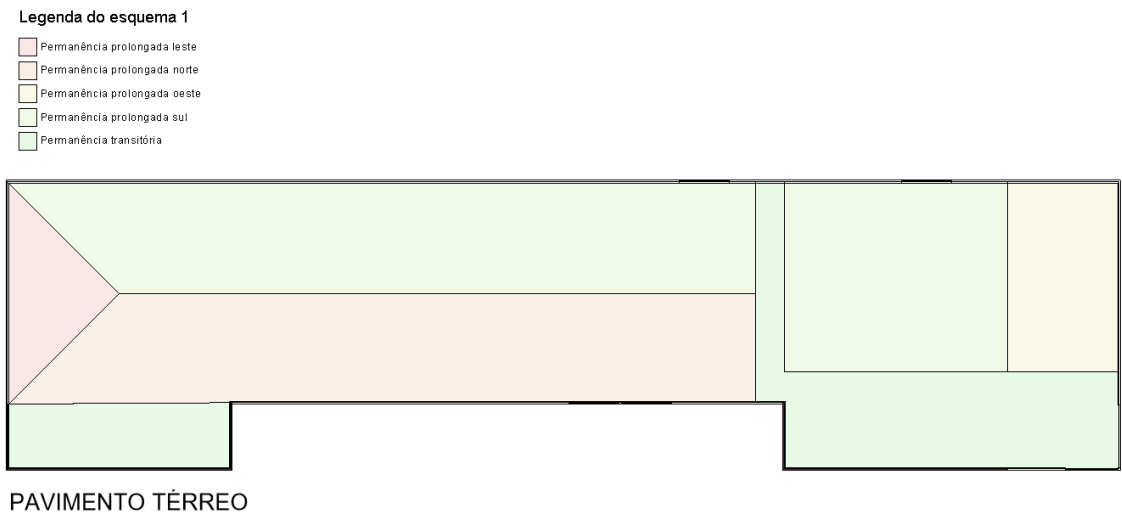
No presente trabalho, adotou-se como critério de zoneamento a classificação dos ambientes conforme o tipo de permanência dos usuários,

distinguindo-se entre áreas de permanência prolongada e áreas de permanência transitória. Essa abordagem permite uma representação mais fiel das condições reais de ocupação, uma vez que influencia diretamente nos ganhos internos de calor, nas taxas de ventilação e nos perfis de uso ao longo do tempo.

Além disso, buscou-se garantir que cada zona térmica apresentasse homogeneidade quanto às suas posições de fachadas, evitando a combinação de ambientes com comportamentos térmicos distintos em uma mesma zona. Tal cuidado é essencial para aumentar a precisão dos resultados da simulação energética, conforme recomendado em metodologias de análise baseadas em simulação computacional, como a adotada pela INI-C.

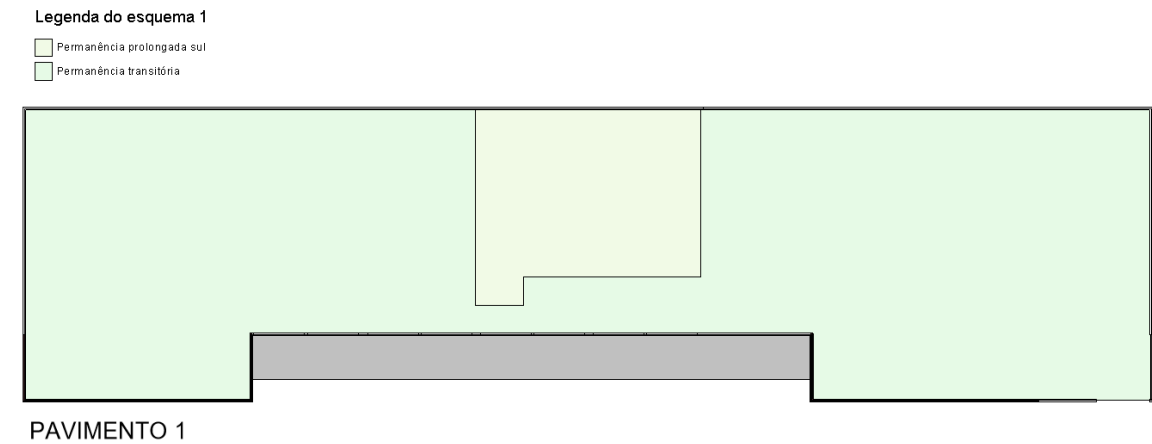
Dessa forma, as Figuras 24 a 29 a seguir apresentam a divisão das zonas térmicas para cada planta baixa do projeto, evidenciando a organização dos ambientes conforme os critérios estabelecidos.

Figura 24 - Zonas térmicas pavimento térreo.



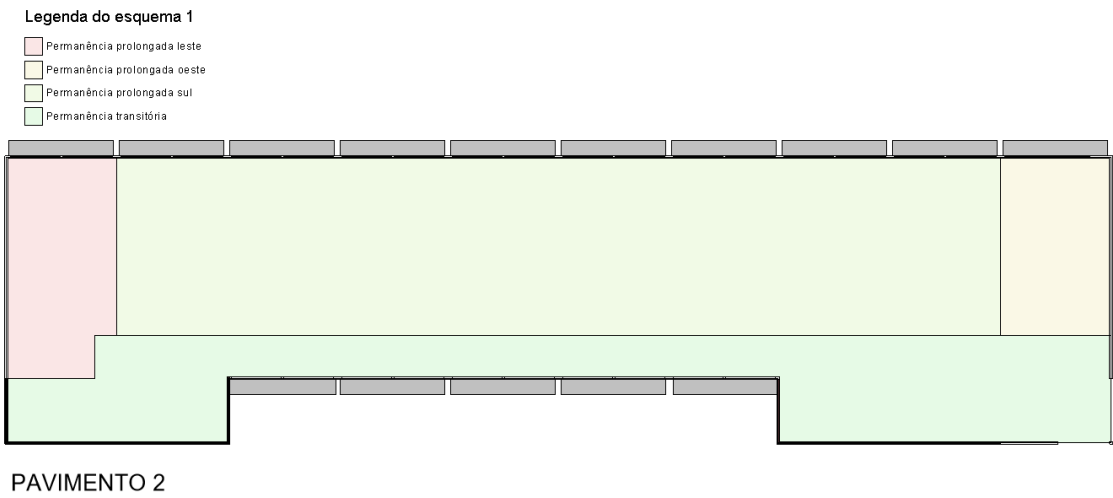
Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 25 - Zonas térmicas pavimento 1.



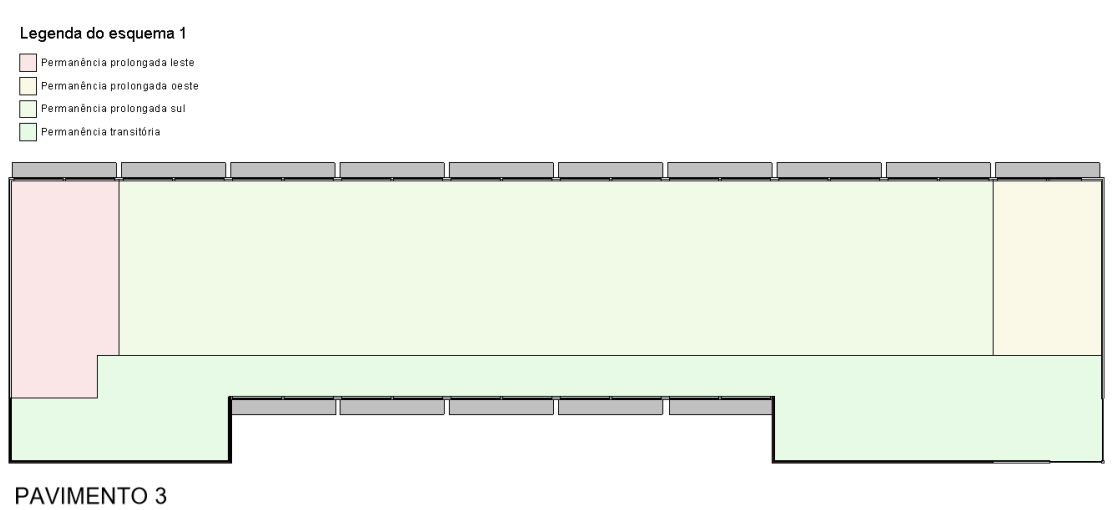
Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 26 - Zonas térmicas pavimento 2.

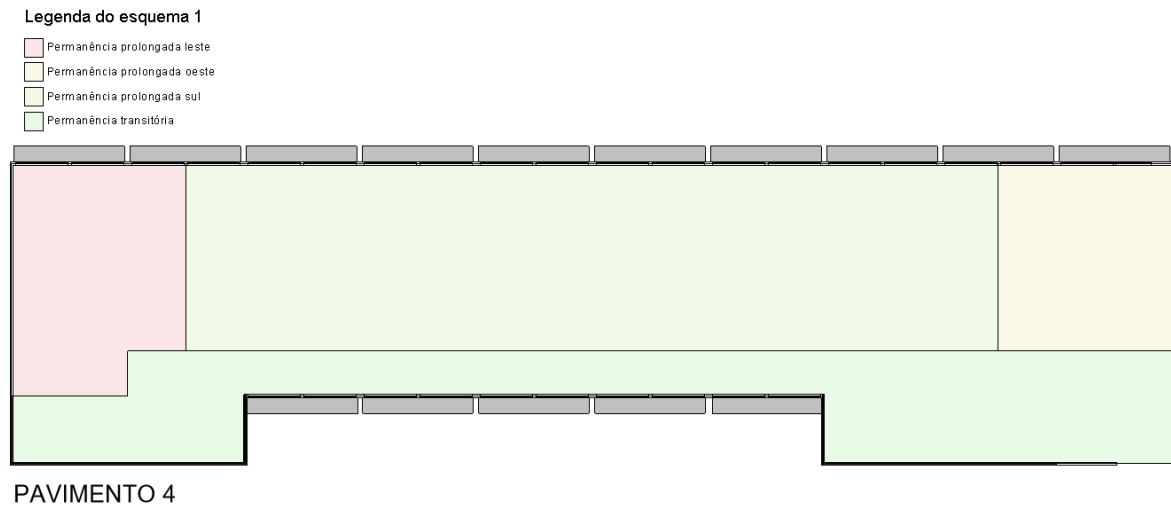


Fonte: Autoria própria (2026).

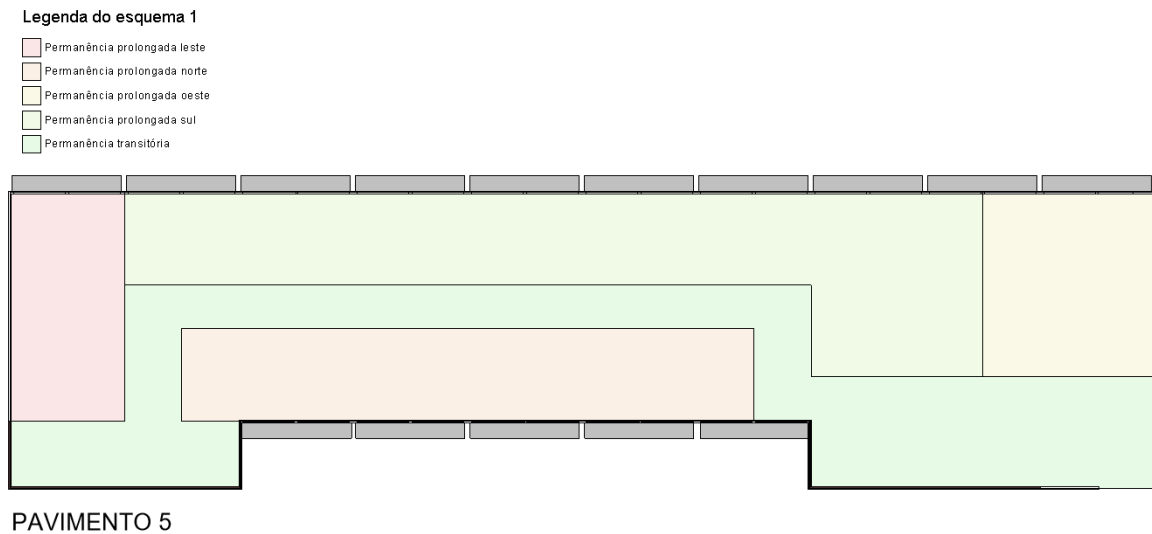
Figura 27 - Zonas térmicas pavimento 3.



Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 28 - Zonas térmicas pavimento 4.

Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 29 - Zonas térmicas pavimento 5.

Fonte: Autoria própria (2026).

3.3.2.5 Exportação do arquivo gbXLM (Green Building XML)

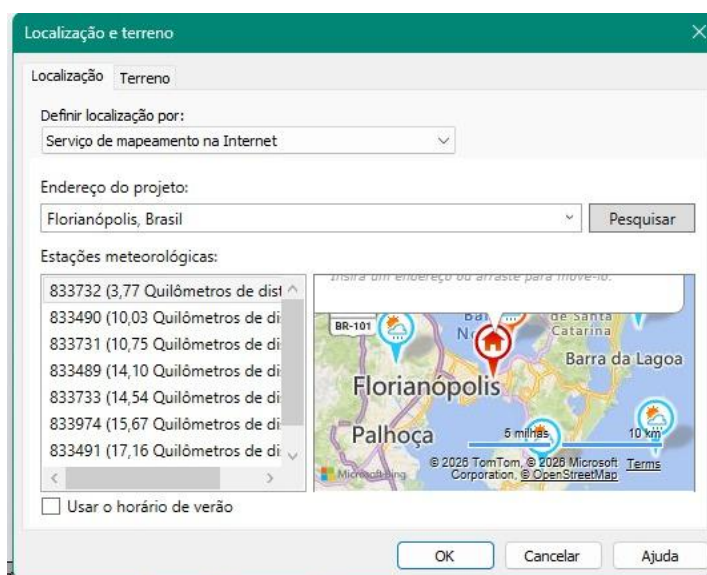
Por fim, com os espaços e zonas térmicas definidos, o modelo estará preparado para exportação em formato gbXML e posterior utilização na ferramenta de simulação, o OpenStudio, permitindo a avaliação do desempenho térmico da edificação conforme metodologias como a INI-C.

Para realizar a exportação em formato gbXML foi necessário fazer algumas configurações. Primeiramente colocou-se a localização de Florianópolis como mostra

Por fim, com todos os espaços devidamente definidos e organizados em zonas térmicas, o modelo encontra-se apto para a exportação no formato gbXML e sua posterior utilização em ferramentas de simulação energética, como o OpenStudio. Esse processo possibilita a avaliação do desempenho térmico da edificação, conforme metodologias de análise estabelecidas, como a INI-C.

Para a realização da exportação em formato gbXML, foi necessário realizar previamente algumas configurações no modelo. Inicialmente, definiu-se a localização geográfica da edificação como Florianópolis/SC, garantindo maior precisão na análise climática e na simulação energética (Figura 30).

Figura 30 - Localização geográfica.



Fonte: Autoria própria (2026).

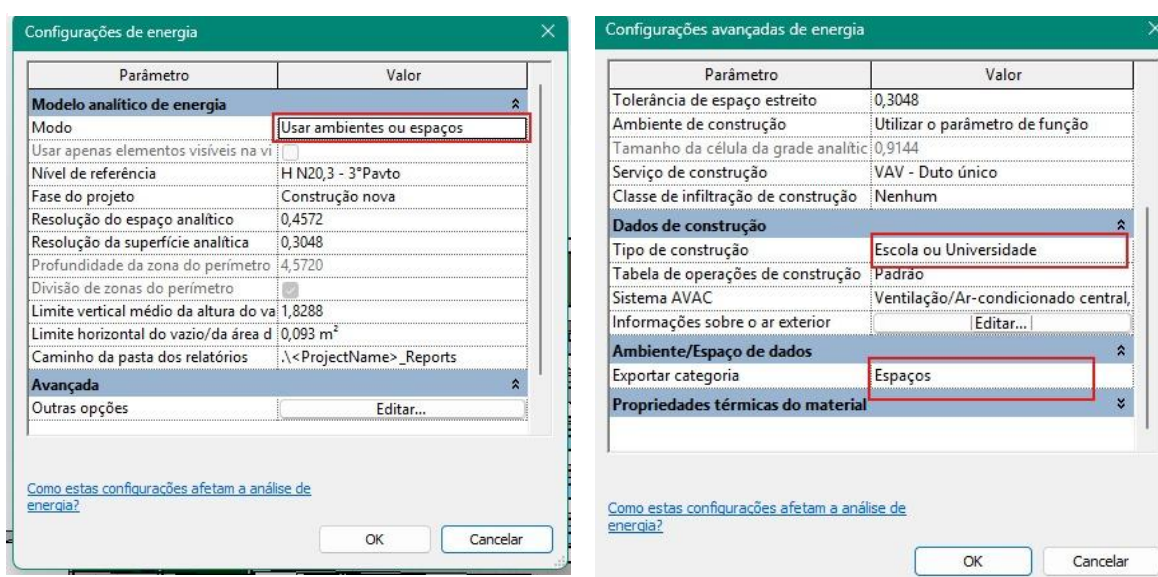
Em seguida, foram ajustadas as configurações de energia no ambiente do software, incluindo:

- a definição do modo de energia para utilização dos espaços (Spaces) como base de cálculo;
- a seleção do tipo de construção, compatível com a tipologia educacional (escola/universidade);
- a configuração dos elementos a serem exportados, com ênfase na inclusão das categorias de espaços e zonas térmicas.

Após a realização dessas etapas, com a visualização em vista 3D ativa, procedeu-se à exportação do modelo no formato gbXML. Esse procedimento garante a correta interpretação geométrica e das zonas térmicas pelo software de simulação.

A Figura 31 a seguir ilustram as etapas descritas.

Figura 31 - Configurações para exportação.



Fonte: Autoria própria (2026).

3.3.2.6 Configurações no OpenStudio

a) Arquivo climático

O arquivo climático utilizado para as simulações foi o da cidade de Florianópolis, obtido por meio do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina, disponível no site LABEEE UFSC. Esse arquivo contém dados meteorológicos horários necessários para a realização das simulações computacionais no software OpenStudio, como temperatura do ar, irradiação solar, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos.

Após o download, o arquivo climático foi inserido no OpenStudio por meio da aba Site, no campo destinado à definição do clima (Weather File). A utilização do arquivo climático local é fundamental para garantir maior confiabilidade nos resultados da simulação energética, uma vez que representa as condições reais de clima da região analisada.

b) Determinação do tempo de atividade

O tempo de atividade da edificação foi definido com base no período de funcionamento do campus estudado, compreendendo o intervalo das 7h às 23h. Esse horário foi adotado para representar a rotina de ocupação da edificação e o uso dos ambientes ao longo do dia.

A determinação desse período é necessária para a configuração dos horários de operação dos sistemas e cargas internas no software OpenStudio, incluindo os equipamentos de refrigeração, iluminação artificial e equipamentos eletrônicos. Dessa forma, os cronogramas de funcionamento (schedules) utilizados na simulação energética tornam-se mais compatíveis com as condições reais de utilização da edificação, contribuindo para maior precisão nos resultados obtidos.

c) Configurações de materiais para paredes, coberturas e vidros

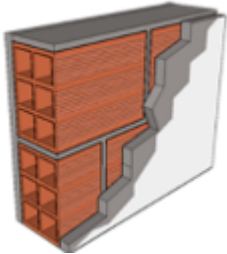
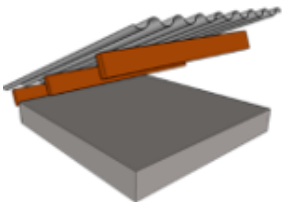
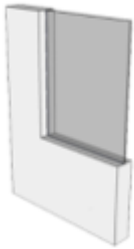
As propriedades térmicas dos materiais que compõem sistemas de paredes e coberturas utilizados nas simulações foram obtidas a partir do relatório elaborado pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (Geraldi et al., 2022), baseado nos métodos de cálculo da ABNT NBR 15220-2:2022.

A seguir, são apresentados os materiais selecionados para as simulações da edificação de referência e da edificação real, bem como suas respectivas propriedades térmicas, incluindo densidade e condutividade térmica. Também é apresentada uma breve explicação sobre a configuração desses materiais no software OpenStudio, etapa necessária para a realização das simulações termoenergéticas da envoltória da edificação.

- Edificação de referência

Os elementos construtivos indicados para a edificação escolar de referência pelo manual da INI-C e suas respectivas propriedades térmicas são apresentados a seguir, na Tabela 2.

Tabela 2 - Elementos construtivos edificação de referência e suas propriedades térmicas.

Número	Parede	Condutividade térmica [W/(m.K)]	Densidade [kg/m³]	Representação
1	Argamassa 2,5 cm	1	1800	
	Bloco cerâmico: 9,0 × 14,0 × 24,0 cm	0,7	1300	
	Argamassa 2,5 cm	1	1800	
Número	Cobertura	Condutividade térmica [W/(m.K)]	Densidade [kg/m³]	Representação
1	Telha de fibrocimento	0,65	1800	
	Câmara de ar (> 5 cm)	-	-	
	Laje maciça 10 cm	2,5	2400	
Número	Vidro	Transmitância [W/m².K]	Fator Solar	Representação
1	Vidro simples incolor 6mm	5,7	0,82	

Fonte: Autoria própria (2026).

- Combinações edifício real

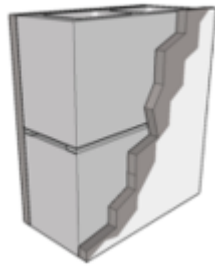
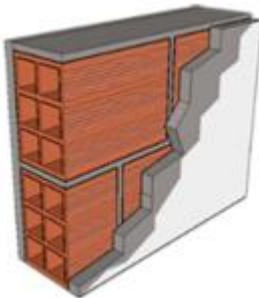
Para a edificação real, foram elaboradas doze combinações distintas de materiais de cobertura, paredes externas e vidros, com o objetivo de analisar a influência desses elementos no desempenho térmico da edificação.

Para cada combinação analisada, foi realizado o mesmo procedimento descrito anteriormente, consistindo na obtenção das propriedades térmicas dos

materiais por meio do relatório elaborado pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (Geraldi et al., 2022) e posterior configuração dessas propriedades no software OpenStudio. Dessa forma, foram inseridos parâmetros como espessura, condutividade térmica e densidade dos materiais utilizados nas composições construtivas.

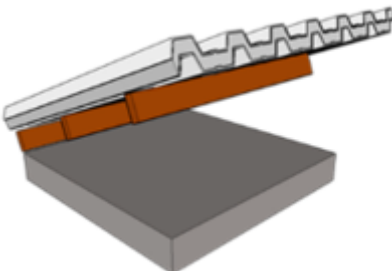
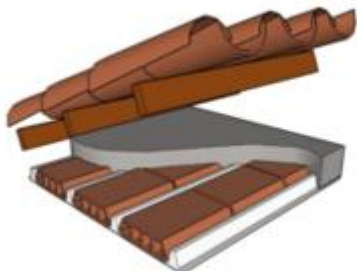
A seguir as Tabelas 3, 4 e 5 indicam os materiais utilizados nas doze combinações do modelo real e suas respectivas propriedades.

Tabela 3 - Materiais usados no modelo real da edificação - Paredes.

Número	Parede	Condutividade térmica [W/(m.K)]	Densidade [kg/m³]	Representação
1	Argamassa 2,5 cm	1	1800	
	Bloco de concreto: 14,0 × 19,0 × 39,0 cm	1,15	1800	
	Argamassa 2,5 cm	1	1800	
2	Argamassa 2,5 cm	1	1800	
	Bloco cerâmico: 9,0 × 14,0 × 24,0 cm	0,7	1300	
	Argamassa 2,5 cm	1	1800	
	Câmara de ar: 2,5 cm	-	-	
	Placa melamínica 1 cm	0,27	800	
3	Argamassa 2,5 cm	1	1800	
	Bloco cerâmico: 9,0 × 14,0 × 24,0 cm	0,7	1300	
	Argamassa 2,5 cm	1	1800	

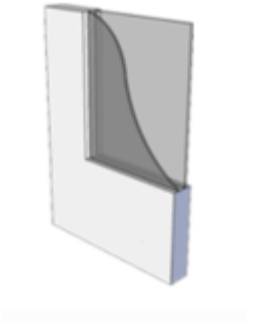
Fonte: Autoria própria (2026).

Tabela 4 - Materiais usados no modelo real da edificação - Coberturas.

Número	Cobertura	Condutividade térmica [W/(m.K)]	Densidade [kg/m³]	Representação
1	Telha metálica (0,1 cm)	160	2800	
	Câmara de ar (> 5 cm)	-	-	
	Poliestireno (isopor) 4 cm	0,03	1200	
	Laje maciça 10 cm	2,5	2400	
2	Telha cerâmica	1,3	2300	
	Câmara de ar (> 5 cm)	-	-	
	Laje pré-moldada 12 cm:			
	concreto 4cm	1,15	1800	
	eps 7 cm	0,03	38	
	argamassa 1 cm	1	1800	

Fonte: Autoria própria (2026).

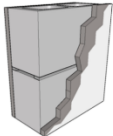
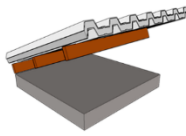
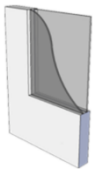
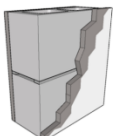
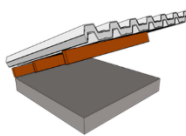
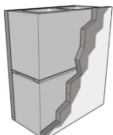
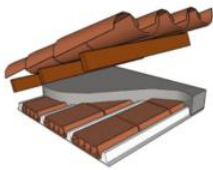
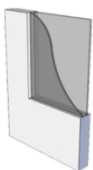
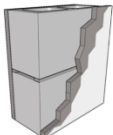
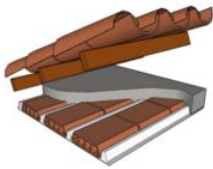
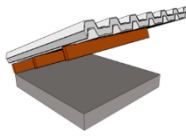
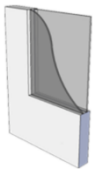
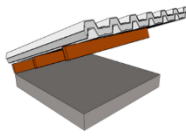
Tabela 5 - Materiais usados no modelo real da edificação - Vidros.

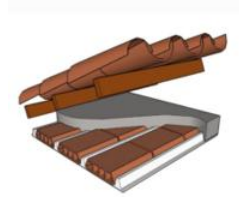
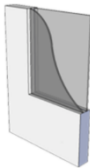
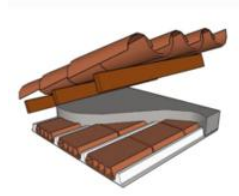
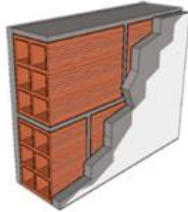
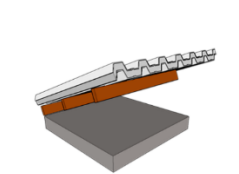
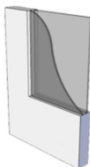
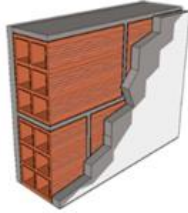
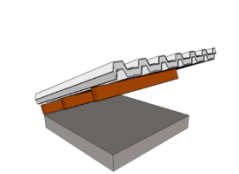
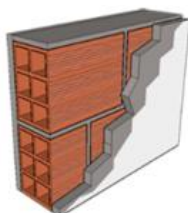
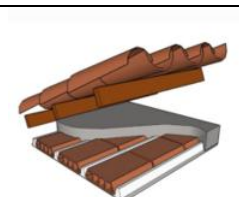
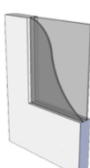
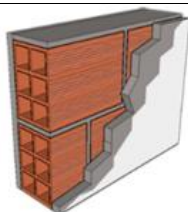
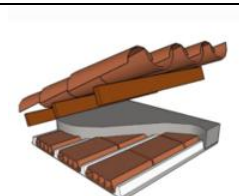
Número	Vidro	Transmitância [W/m ² .K]	Fator Solar	Transmissão Luminosa	Representação
1	Vidro laminado com incolor 8mm CEBRACE Reflecta Incolor	5,7	0,44	0,32	
2	Vidro laminado com incolor 8mm CEBRACE Reflecta verde	5,7	0,37	0,29	

Fonte: Autoria própria (2026).

A Tabela 6 apresenta a composição das combinações de materiais utilizadas nas simulações termoenergéticas. Para facilitar a identificação dos elementos construtivos empregados em cada caso, foram utilizados os mesmos códigos numéricos apresentados nas tabelas anteriores, referentes aos diferentes tipos de paredes, coberturas e vidros analisados.

Tabela 6 - Combinações.

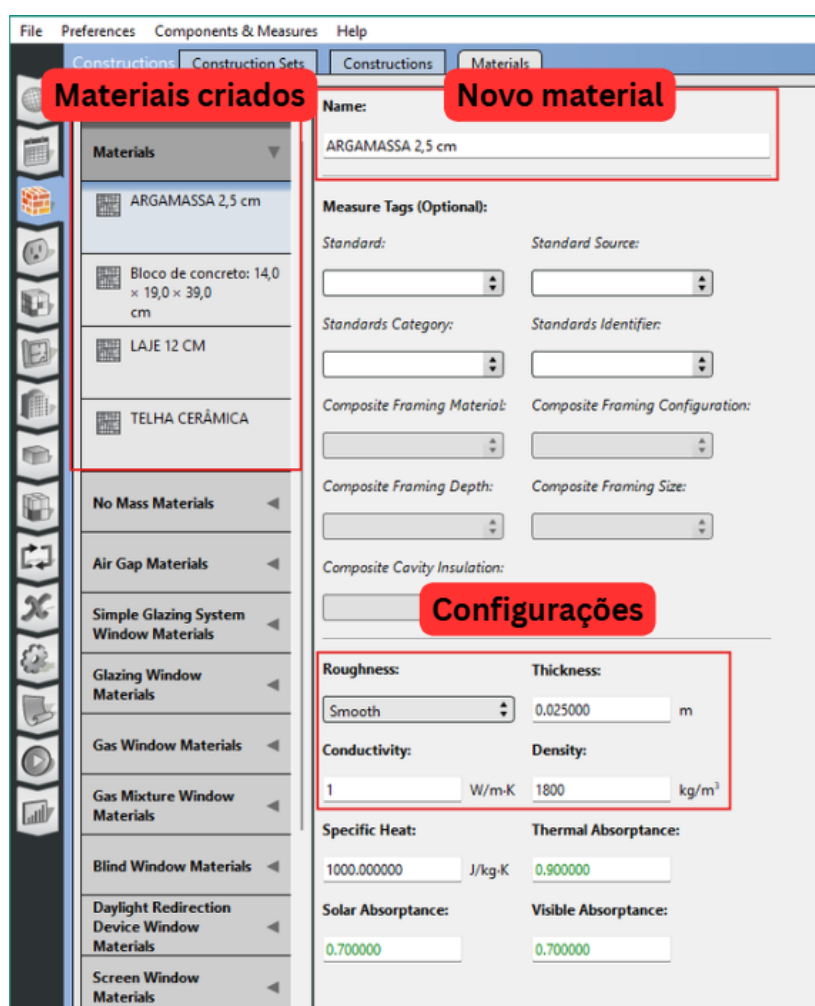
Combinações	Parede	Cobertura	Vidro
Combinação 1	Parede 1	Cobertura 1	Vidro 1
			
Combinação 2	Parede 1	Cobertura 1	Vidro 2
			
Combinação 3	Parede 1	Cobertura 2	Vidro 1
			
Combinação 4	Parede 1	Cobertura 2	Vidro 2
			
Combinação 5	Parede 2	Cobertura 1	Vidro 1
			
Combinação 6	Parede 2	Cobertura 1	Vidro 2
			
	Parede 2	Cobertura 2	Vidro 1

Combinação 7			
Combinação 8	Parede 2	Cobertura 2	Vidro 2
			
Combinação 9	Parede 3	Cobertura 1	Vidro 1
			
Combinação 10	Parede 3	Cobertura 1	Vidro 2
			
Combinação 11	Parede 3	Cobertura 2	Vidro 1
			
Combinação 12	Parede 3	Cobertura 2	Vidro 2
			

Fonte: Autoria própria (2026).

No OpenStudio, os materiais que compõem a envoltória da edificação são configurados por meio da definição de suas propriedades físicas e térmicas, permitindo representar com maior precisão o comportamento térmico dos elementos construtivos durante as simulações. Cada material é inserido individualmente na biblioteca de construções do software, onde são especificados parâmetros como espessura, condutividade térmica e densidade. A Figura 32 mostra esses processos dentro da interface do software.

Figura 32 - Criação de um novo material no Openstudio.



Fonte: Autoria própria (2026).

Após a criação dos materiais, estes são organizados em camadas para formar os elementos construtivos da edificação, como paredes, coberturas, pisos e vidros. A sequência das camadas segue a composição real do sistema construtivo,

respeitando a ordem dos materiais desde a face externa até a face interna do elemento.

3.3.2.7 Configuração de ocupação, iluminação e equipamentos

As configurações de densidade de potência de equipamentos e iluminação por metro quadrado foram definidas com base nos valores estabelecidos pela metodologia do INI-C para edificações educacionais de referência. Esses mesmos parâmetros foram adotados para a edificação real analisada, garantindo a padronização dos critérios de comparação.

Da mesma forma, a taxa de ocupação dos ambientes seguiu os valores recomendados pelo INI-C para esse tipo de edificação.

A Figura 33 apresenta os valores de referência fornecidos pelo INI-C para edificações educacionais, utilizados como base para as configurações do modelo.

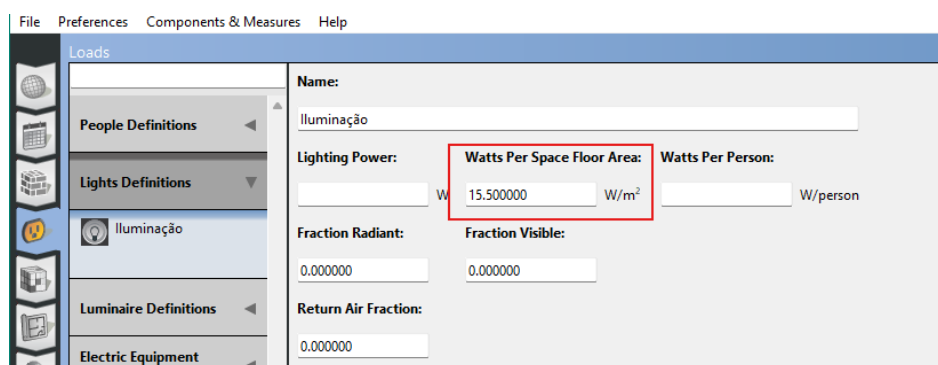
Figura 33 - Valores de referência fornecidos pelo INI-C para edificações educacionais.

Iluminação e ganhos				
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	Condição real	15,5**		
Ocupação (m ² /pessoa)	Condição de referência	2,5	1,5	1,5
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)***	Condição de referência	15,0		

Fonte: Manual INI-C (2025).

Esses valores foram adicionados na aba Loads do OpenStudio, responsável pela configuração das cargas internas da edificação, como iluminação, equipamentos e ocupação (Figura 34).

Figura 34 - Configuração das cargas internas da edificação no OpenStudio.



Fonte: Autoria própria (2026).

3.3.2.8 Transferência para o energypplus

Para realizar as simulações no software EnergyPlus, foi exportado um arquivo no formato IDF a partir do OpenStudio. Essa transferência teve como objetivo possibilitar a adição de informações complementares diretamente no EnergyPlus, além de otimizar o tempo de processamento das simulações.

No software EnergyPlus, foram configuradas algumas informações adicionais, como as temperaturas de setpoint utilizadas para o condicionamento térmico da edificação e as temperaturas mensais do solo para a cidade de Florianópolis. Esses parâmetros foram inseridos com o objetivo de tornar as simulações mais compatíveis com as condições climáticas locais e com os critérios adotados no estudo.

3.3.2.9 Temperaturas de setpoint

As temperaturas de setpoint adotadas na simulação foram definidas com base em parâmetros de conforto térmico estabelecidos pela ABNT NBR 16401-2, que trata das condições internas de conforto em ambientes climatizados. Para ambientes de permanência prolongada, a norma recomenda temperaturas operativas internas próximas da faixa entre 22,5 °C e 25,5 °C no verão, visando proporcionar condições aceitáveis de conforto térmico para a maioria dos ocupantes. Dessa forma, foi adotado o setpoint de 24 °C para resfriamento, enquanto o valor de 20 °C foi utilizado para

aquecimento, representando uma condição coerente de operação dos sistemas de climatização em edificações educacionais.

A definição adequada desses valores é importante, pois influencia diretamente o consumo energético da edificação e o desempenho térmico dos ambientes simulados.

3.3.2.10 *Temperaturas do solo de Florianópolis*

As temperaturas mensais do solo utilizadas na simulação foram obtidas a partir do arquivo climático EPW de Florianópolis, disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEEE/UFSC). Inicialmente, foram extraídas as temperaturas horárias de bulbo seco do ar externo presentes no arquivo climático. Posteriormente, realizou-se o cálculo das médias mensais dessas temperaturas.

Para estimativa das temperaturas do solo, adotou-se a metodologia simplificada recomendada pelo EnergyPlus e difundida pelo LabEEEE/UFSC, na qual se recomenda reduzir 2 °C da temperatura média mensal do ar para obtenção aproximada da temperatura média mensal do solo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, [s.d.]).

Os valores obtidos foram inseridos no objeto Site:GroundTemperature:BuildingSurface do EnergyPlus/OpenStudio, responsável pela definição das condições térmicas de superfícies em contato com o solo. A Tabela 7 apresenta esses valores.

Tabela 7 - Temperaturas do solo.

Mês	Média do ar (°C)	Solo (°C)
Janeiro	25	23
Fevereiro	25,1	23,1
Março	24,75	22,75
Abril	22,42	20,42
Mai	19,52	17,52
Junho	17,84	15,84
Julho	16,48	14,48
Agosto	17,44	15,44
Setembro	18,54	16,54
Outubro	20,76	18,76
Novembro	21,93	19,93
Dezembro	23,62	21,62

Fonte: Autoria própria (2026).

Por fins de simplificação, os valores obtidos foram arredondados para números inteiros, visando facilitar sua inserção e interpretação durante as etapas de modelagem e simulação energética.

3.3.2.11 *Definição do período de funcionamento anual do campus*

Com base no calendário acadêmico da instituição, definiu-se como período de funcionamento da edificação o intervalo compreendido entre 23 de fevereiro de 2026 e 23 de dezembro de 2026. Para fins de simulação, o período de recesso entre os semestres letivos foi considerado como ocupado, uma vez que a edificação permanece em funcionamento para atividades administrativas e de apoio.

Dessa forma, esse período foi configurado no software EnergyPlus por meio da definição do calendário anual de operação da edificação. Adicionalmente, foram realizadas configurações para desconsiderar a ocupação durante os finais de semana, de modo a representar de forma mais fiel as condições reais de uso do campus ao longo do ano.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Proposição de Intervenções Construtivas

A partir dos resultados obtidos nas simulações, foi realizada uma análise comparativa entre os cenários real e de referência, a fim de identificar quais soluções apresentaram melhor desempenho térmico e menor demanda energética.

Com base nisso, foram sugeridas intervenções construtivas que potencializem a eficiência da envoltória, tais como: substituição de materiais e revestimentos e tamanho das aberturas.

Essas recomendações visam aprimorar o desempenho térmico da edificação sem comprometer sua funcionalidade ou viabilidade técnica.

4.1.1 Resultados da simulação termoenergética

Após a configuração de todos os elementos e parâmetros necessários, foram realizadas as simulações termoenergéticas da edificação de referência e das 12 combinações de componentes construtivos propostas para o modelo real da edificação. Essas simulações permitiram a análise comparativa do desempenho energético entre os diferentes cenários avaliados.

O arquivo gerado pelo software fornece o valor total de kwh gastos ao ano e o valor total de kwh/m² gastos ao ano, esses valores incluem os valores de energia de equipamentos, iluminação e ar-condicionado. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos com a simulação termo energética.

Tabela 8 - Resultados obtidos com a simulação termo energética.

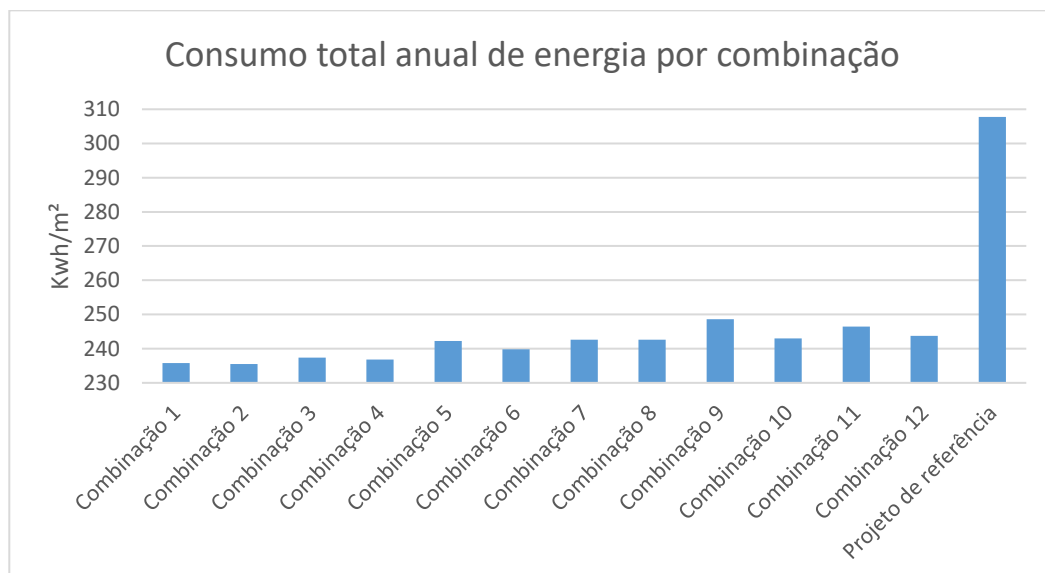
Combinações	kwh/m ² ano	kwh anual total	Iluminação kwh	Equipamen tos kwh	Ar- condicionad o kwh	Aquecimen to kwh
Combinação 1	235,83	1.167.550,00	167925	162.508,33	803.591,67	33.525,00
Combinação 2	235,47	1.165.786,11	167.925,00	162.508,33	808.313,89	27.038,89
Combinação 3	237,36	1.175.155,56	167925	162.508,33	810.502,78	34.216,67
Combinação 4	236,85	1.172.616,67	167925	162.508,33	806.744,44	35.438,89
Combinação 5	242,27	1.199.438,89	167.925,00	162.508,33	832.922,22	36.080,56
Combinação 6	239,80	1.187.222,22	167.925,00	162.508,33	819.644,44	37.141,67
Combinação 7	242,62	1.201.200,00	167.925,00	162.508,33	834.150,00	36.613,89
Combinação 8	242,64	1.201.297,22	167.925,00	162.508,33	833.094,44	37.766,67
Combinação 9	248,58	1.230.697,22	167.925,00	162.508,33	860.583,33	39.677,78
Combinação 10	242,95	1.202.830,56	167.925,00	162.508,33	831.783,33	40.613,89
Combinação 11	246,49	1.220.355,56	167.925,00	162.508,33	849.702,78	40.216,67
Combinação 12	243,79	1.206.961,11	167.925,00	162.508,33	835.255,56	41.269,44
Projeto de referência	307,79	1.523.852,78	167.925,00	162.508,33	1.192.997,22	466,67

Fonte: Autoria própria (2026).

A Figura 35 apresenta o consumo total anual de energia para a edificação de referência e para as diferentes combinações analisadas. Observa-se que todas as combinações propostas apresentaram desempenho superior ao da edificação de referência, resultando em reduções significativas do consumo energético anual. A diferença observada demonstra a influência das propriedades térmicas dos materiais da envoltória sobre o desempenho energético da edificação, contribuindo para a

redução das cargas de resfriamento e, conseqüentemente, do consumo total de energia.

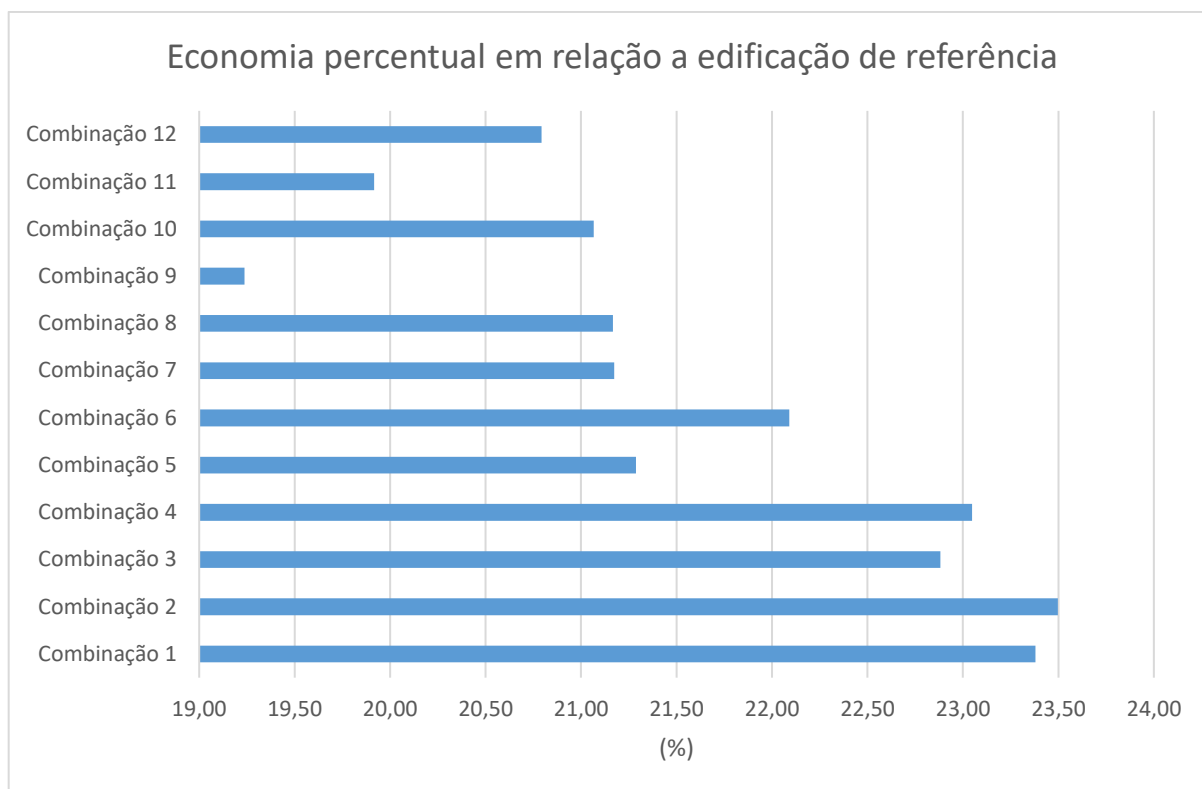
Figura 35 - Gráfico do consumo total anual de energia por combinação.



Fonte: Autoria própria (2026).

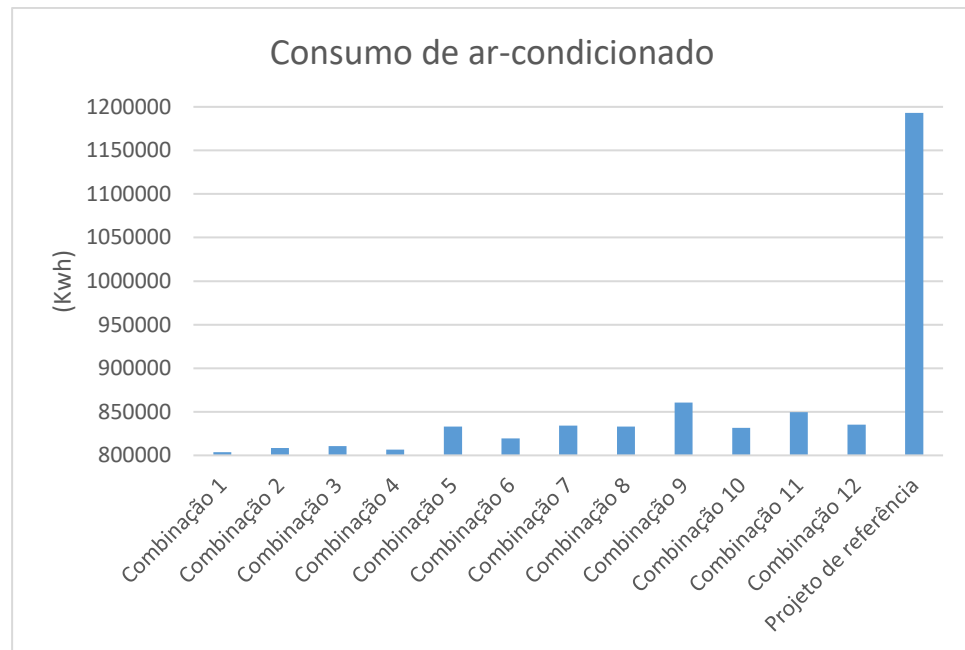
Outra análise feita é representada pela Figura 36, que apresenta a economia percentual obtida pelas combinações em relação à edificação de referência. Verifica-se que todas as soluções analisadas proporcionaram redução do consumo energético, com economias variando entre aproximadamente 19% e 24%. A Combinação 2 apresentou o melhor desempenho energético, alcançando economia próxima de 24%, enquanto a Combinação 9 apresentou a menor economia dentre as soluções avaliadas. Esses resultados evidenciam que pequenas alterações nos componentes da envoltória podem produzir impactos significativos sobre o consumo energético anual da edificação.

Figura 36 - Gráfico da economia percentual em relação a edificação de referência.

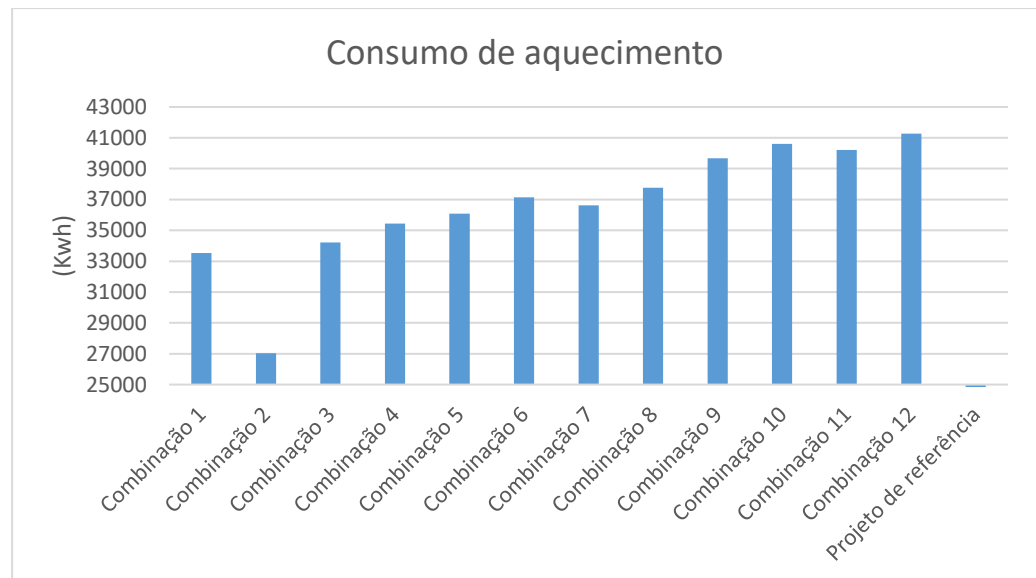


Fonte: Autoria própria (2026).

Em relação a participação dos sistemas no consumo total, a Figura 37 e 38 apresenta a participação dos sistemas de ar-condicionado e aquecimento. Observa-se que o sistema de ar-condicionado representa a maior parcela do consumo energético em relação ao aquecimento. Dessa forma, as reduções observadas no consumo total anual estão diretamente relacionadas à diminuição da demanda de resfriamento proporcionada pelas melhorias na envoltória.

Figura 37 -Gráfico de consumo de ar-condicionado.

Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 38 - Gráfico de consumo de aquecimento.

Fonte: Autoria própria (2026).

4.3.2 Identificação dos componentes construtivos mais indicados

Após a obtenção dos valores de consumo anuais da edificação de referência e das 12 combinações para a edificação real, classificou-se a edificação quanto ao nível de eficiência energética por meio dos cálculos a seguir.

Primeiramente calculou-se o fator de forma, que é a razão entre a área da envoltória pelo volume total da edificação (Equação 3).

Equação 3 - Fator de forma

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}}$$

Onde:

FF é o fator de forma da edificação (m²/m³);

A_{env} é a área da envoltória (m²);

V_{tot} é o volume total construído da edificação (m³).

Sendo: Área da envoltória considerada na simulação: 4950,90 m²

Volume da envoltória considerado na simulação: 17414,00 m³

Equação 4 - Fator de forma.

$$FF = \frac{4950,90}{17414,00}$$

$$FF = 0,28$$

Com o fator de forma e o grupo climático da edificação selecionado, encontrou-se a valor de coeficiente de redução de energia primária da classificação D para a classificação A através da Figura 39, retirada da INI-C de acordo com a tipologia da edificação.

Figura 39 - Coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A.

Grupo Climático	Coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a classificação A (CRC_{EPD-A})			
	$FF \leq 0,20$	$0,20 < FF \leq 0,30$	$0,30 < FF \leq 0,40$	$FF > 0,40$
GC 1- A	0,33	0,34	0,31	0,30
GC 1- B	0,31	0,32	0,30	
GC 2				0,29
GC 3	0,33	0,34	0,31	
GC 4				
GC 5				0,27
GC 6				
GC 7	0,31	0,32	0,29	0,28
GC 8				
GC 9		0,33	0,31	0,29
GC 10	0,32	0,34		0,30
GC 11	0,31	0,32	0,30	
GC 12				0,28
GC 13				
GC 14	0,30	0,31	0,29	
GC 15				0,27
GC 16				
GC 17	0,27	0,28		0,25
GC 18				
GC 19		0,29	0,27	0,26
GC 20				
GC 21	0,28			0,27
GC 22		0,30	0,28	
GC 23				0,26
GC 24				

Fonte: Manual INI-C (2025).

De acordo com a tabela acima, o coeficiente de redução é 0,32.

Seguindo com os valores de consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência e o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A, encontrou-se a variável (i) que é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes (Equação 5).

Equação 5 - Coeficiente de redução.

$$i = \frac{(CEP_{ref} \times CRC_{epd} - a)}{3}$$

Onde:

i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes;

CEP_{ref} é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

$CRCE_{PD-A}$ é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A.

Equação 6 - Coeficiente de redução.

$$i = \frac{(1523852,78 \times 0,32)}{3}$$

$$i = 162544,30$$

Por fim, através da tabela que representa os Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral (Figura 40), comparou-se o consumo de energia primária da edificação real (CEP_{real}) e os limites dos intervalos calculados (Tabela 9), identificou-se a classificação de eficiência energética geral da edificação.

Figura 40 - Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral.

Classif. de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	–	$> CEP_{ref} - 3i$	$> CEP_{ref} - 2i$	$> CEP_{ref} - i$	$> CEP_{ref}$
Limite inferior	$\leq CEP_{ref} - 3i$	$\leq CEP_{ref} - 2i$	$\leq CEP_{ref} - i$	$\leq CEP_{ref}$	–

Fonte: INI-C (2026).

Tabela 9 - Limites calculado dos intervalos das classificações de eficiência energética geral.

Classificação	a	b	c	d	e
Limite superior	.	1036219,89	1198764,19	1361308,48	1523852,78
Limite inferior	1036219,89	1198764,19	1361308,48	1523852,78	.

Fonte: Autoria própria (2026).

Com isso, a Tabela 10 a seguir representa a classificação energética geral da edificação.

Tabela 10 - Classificação energética geral da edificação.

Combinações	Classificação	kwh anual total
Combinação 1	b	1167550
Combinação 2	b	1165786,11
Combinação 3	b	1175155,56
Combinação 4	b	1172616,67
Combinação 5	c	1199438,89
Combinação 6	b	1187222,22
Combinação 7	c	1201200
Combinação 8	c	1201297,22
Combinação 9	c	1230697,22
Combinação 10	c	1202830,56
Combinação 11	c	1220355,56
Combinação 12	c	1206961,11

Fonte: Autoria própria (2026).

Observa-se que as combinações 1, 2, 3, 4 e 6 obtiveram classificação energética B, apresentando os menores consumos anuais de energia primária entre as alternativas avaliadas. As demais combinações foram classificadas como C, demonstrando que pequenas alterações nos materiais da envoltória podem influenciar significativamente o desempenho energético da edificação.

Ao analisar as combinações de melhor desempenho, verifica-se que todas utilizam a Parede 1, composta por argamassa de 2,5 cm, bloco de concreto de 14 cm e argamassa de 2,5 cm. A presença de um elemento de maior espessura proporciona maior inércia térmica e resistência à transferência de calor através da envoltória, reduzindo os ganhos térmicos para o ambiente interno e, consequentemente, a necessidade de resfriamento artificial.

Além disso, a combinação 2 apresentou o menor consumo anual de energia primária entre todas as alternativas estudadas, totalizando 1.165.786,11 kWh/ano. Essa configuração é composta pela Parede 1, Cobertura 1 e Vidro 2.

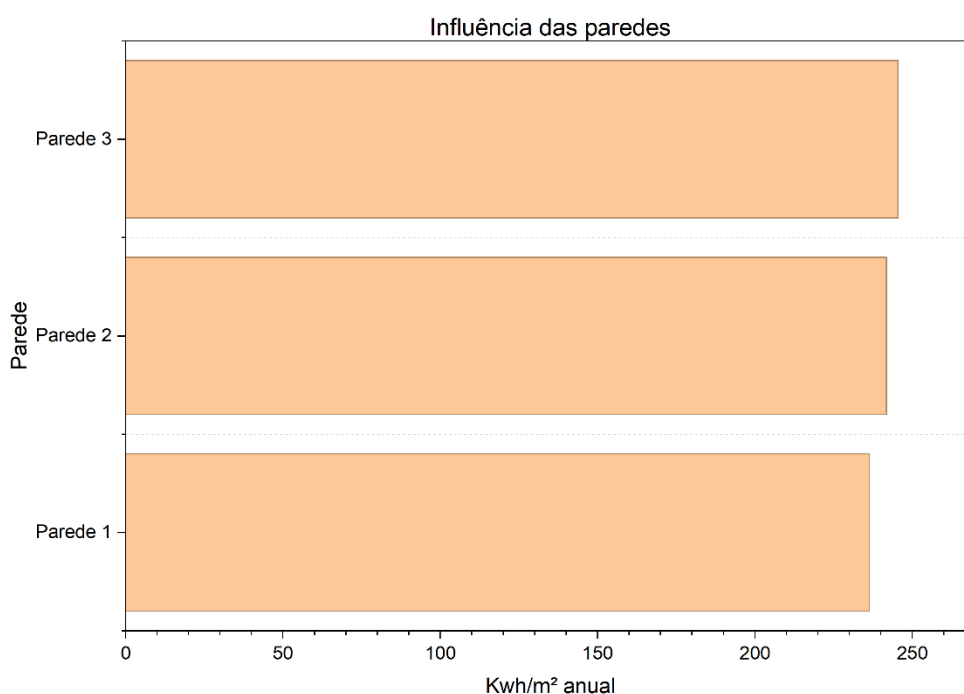
A Cobertura 1 (composta por telha metálica, poliestireno, câmara de ar e laje maciça) apresentou desempenho superior por incorporar uma camada de

poliestireno expandido (EPS) de 4 cm associada a uma câmara de ar superior a 5 cm. O EPS possui baixa condutividade térmica, reduzindo a transferência de calor proveniente da irradiação solar incidente na cobertura. Já a câmara de ar atua como barreira adicional ao fluxo térmico, aumentando a resistência térmica do sistema construtivo.

Quanto aos vidros, observa-se que o Vidro refletivo verde contribuiu para a redução do consumo energético devido à ao menor valor de fator solar. Esse comportamento é especialmente importante para edificações localizadas na Zona Bioclimática 3, onde a redução dos ganhos térmicos solares auxilia na diminuição da carga de resfriamento.

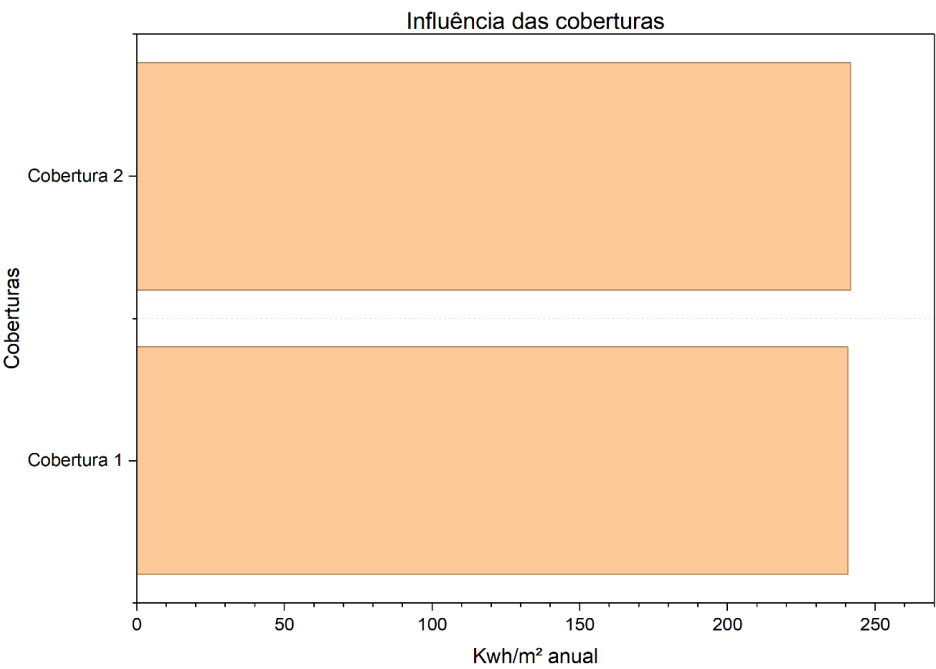
As Figuras 41, 42 e 43 apresentam a influência dos diferentes tipos de paredes, coberturas e vidros sobre o consumo energético anual da edificação. De modo geral, observa-se que todos os elementos da envoltória exerceram influência no desempenho energético, ainda que em magnitudes distintas.

Figura 41 - Gráfico de influência das paredes nos resultados.



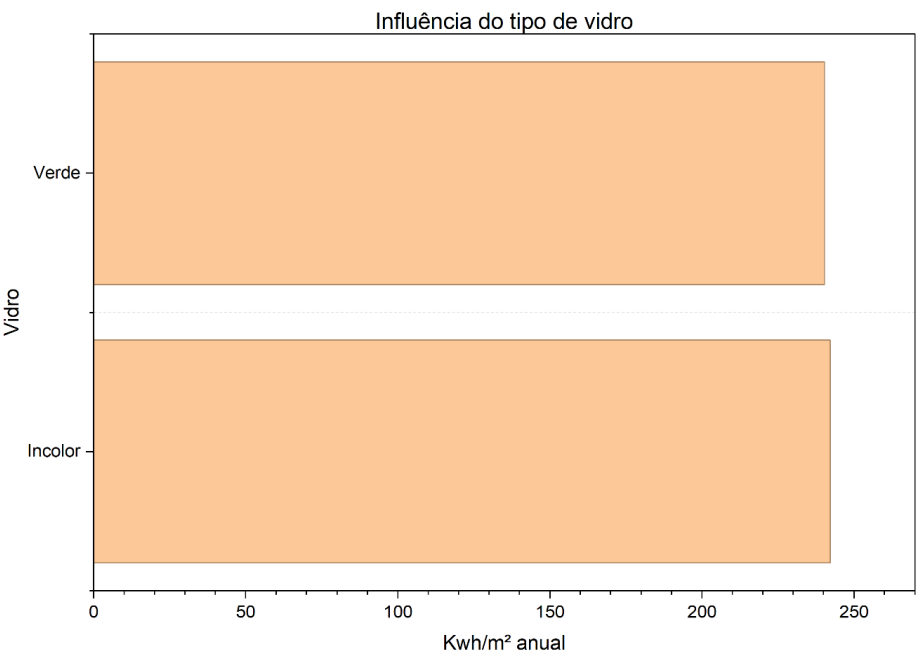
Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 42 - Gráfico de influência das coberturas nos resultados.



Fonte: Autoria própria (2026).

Figura 43 - Gráfico de influência dos vidros nos resultados.



Fonte: Autoria própria (2026).

Comparando os resultados obtidos, observa-se que as diferenças provocadas pelos vidros e pelas coberturas foram inexpressivas do que aquelas observadas entre os diferentes sistemas de paredes. Isso sugere que, para a edificação analisada, estratégias voltadas à melhoria do desempenho térmico das paredes podem apresentar maior potencial de redução do consumo energético do que alterações realizadas exclusivamente nos sistemas de cobertura e vidros. Entretanto, a combinação adequada de todos os elementos da envoltória mostrou-se fundamental para a obtenção dos melhores resultados de eficiência energética observados nas simulações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que os materiais utilizados na envoltória exercem influência direta sobre a eficiência energética da edificação. Entre as alternativas avaliadas, a combinação 2 apresentou o melhor desempenho energético, alcançando o menor consumo anual de energia primária e classificação B.

Os resultados demonstraram que a utilização de paredes com maior espessura, coberturas com isolamento térmico em EPS e vidros refletivos contribui para a redução da demanda energética da edificação. Dessa forma, a adoção desses componentes construtivos pode representar uma estratégia eficiente para melhorar o desempenho termoenergético de edificações educacionais localizadas na Zona Bioclimática 3.

Embora nenhuma das combinações avaliadas tenha alcançado a classificação A de eficiência energética, verificou-se que a escolha adequada dos materiais da envoltória possibilita reduções expressivas no consumo energético quando comparadas às alternativas de menor desempenho. Assim, os resultados obtidos reforçam a importância da análise da envoltória ainda na fase de projeto, permitindo a adoção de soluções construtivas mais eficientes e alinhadas aos princípios de sustentabilidade e racionalização do consumo de energia.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como continuidade desta pesquisa, recomenda-se a realização de estudos que contemplem a inserção de dispositivos de sombreamento na modelagem termoenergética da edificação. A utilização de elementos como brises, marquises e proteções solares pode contribuir para a redução dos ganhos térmicos decorrentes da irradiação solar incidente sobre as superfícies envidraçadas e opacas. Dessa forma, sugere-se a modelagem e análise comparativa de diferentes estratégias de sombreamento no OpenStudio/EnergyPlus, visando verificar sua influência sobre o consumo energético da edificação e sua classificação de eficiência energética.

Além disso, recomenda-se a realização de uma análise econômica associada às alternativas construtivas avaliadas. Para isso, podem ser utilizados os custos dos materiais obtidos por meio das composições e valores de referência do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), comparando-os com a economia gerada no consumo de energia elétrica ao longo da vida útil da edificação. Essa abordagem permitiria avaliar não apenas o desempenho energético dos materiais, mas também sua viabilidade econômica, possibilitando a identificação das soluções que apresentam melhor relação custo-benefício.

Por fim, estudos futuros podem considerar a análise do período de retorno do investimento das soluções mais eficientes energeticamente, fornecendo subsídios técnicos para a tomada de decisão durante as etapas de projeto e especificação de materiais em edificações educacionais.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 140. Disponível em: <https://data.ashrae.org/standard140/>. Acesso em: 1 out. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 10456:2022. Materiais e produtos para edificações — Propriedades higrotérmicas — Valores tabelados de projeto e procedimentos para determinação de valores térmicos declarados e de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: desempenho térmico de edificações – Parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica e do atraso térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-2: instalações de ar-condicionado — sistemas centrais e unitários — Parte 2: parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

AUTODESK, Inc. Autodesk Revit: BIM software to design and make anything. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>. Acesso em: 23 nov. 2025.

BONISEM, Marcela Mazzine; SILVA, Saulo Vieira de Oliveira. Avaliação da eficiência energética de um edifício escolar a partir da simulação da certificação do Procel Edifica – INI-C. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC). Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, [s.d.]. p. 1–16.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria Inmetro nº 50, de 1º de fevereiro de 2013. Anexo V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros. Brasília, 2013. Atualizado em 27 nov. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Portal Eletrônico ProjetEEE. Disponível em: <https://projeteeee.mme.gov.br/>. Acesso em: 10 out. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Quem é quem da Eficiência Energética no Brasil. Brasília: MME, 2019.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (CB3E). Diretrizes para obtenção de classificação nível A para edificações comerciais, de serviços e públicas: Manual A. Florianópolis: UFSC/Eletronbras/Procel Edifica, 2014. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br>. Acesso em: 22 maio 2026.

ELETROBRAS. Manual A: diretrizes para obtenção de classificação nível A para edificações comerciais, de serviços e públicas. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2020: ano base 2019. Rio de Janeiro: EPE, 2020.

FELIPPE, Anna Rita Tomich Magalhães et al. Análise da envoltória em edificação escolar de ensino superior: aplicação da metodologia INI-C. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2023, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ENCAC/ELACAC, 2023.

GERALDI, Matheus Soares; LONGEN, João; NUNES, Victória Silveira. Cálculo da transmitância térmica de componentes construtivos usuais segundo a NBR 15220-2:2022. Florianópolis: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, Universidade Federal de Santa Catarina, 2022. Disponível em: <https://www.cb3e.ufsc.br>. Acesso em: 22 maio 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mapa de clima do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 1 mapa, escala 1:5.000.000. Disponível em: [Mapa de Clima do Brasil \(PDF\)](#). Acesso em: 20 jun. 2026.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA. Portaria da Direção-Geral do Câmpus Florianópolis n. 364/2025. Comissão de Projetos Arquitetônicos e Complementares do Departamento Acadêmico de Construção Civil. Florianópolis: IFSC, 2025.

MANUAL de Definições INI-C. Florianópolis: CB3E/UFSC; PROCEL; ENBPar, 2026.

MANUAL INI-C – Anexos D, E e F: geração local de energia renovável, emissões de CO₂ e uso racional de água. Florianópolis: CB3E/UFSC; PROCEL; ENBPar, 2026.

MANUAL INI-C – Método Simplificado. Florianópolis: CB3E/UFSC; PROCEL; ENBPar, 2026.

MANUAL INI-C – Natural Comfort. Florianópolis: CB3E/UFSC; PROCEL; ENBPar, 2026.

NORMATIVA Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Florianópolis: Inmetro, 2020. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br>. Acesso em: 12 nov. 2025.

OLIVEIRA, Emmanuella Flora Amaral Barbosa de. Avaliação da eficiência energética da envoltória através do método simplificado da INI-C: estudo de caso do Bloco CW da UFCG. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2024. OPENSTUDIO. OpenStudio®: cross-platform software tools for whole-building energy modeling using EnergyPlus. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://openstudio.net/>. Acesso em: 23 nov. 2025.

PACHECO, Thalysson Paulo Alves. Avaliação da eficiência energética de envoltória e classificação de acordo com o método simplificado da INI-C: estudo de caso de uma EAS em Cacoal/RO. 2022. Monografia (Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

PBE EDIFICA. Portal PBE Edifica. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/inicio>. Acesso em: 1 out. 2025.

PBE EDIFICA. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C). [S.l.], 2022.

PEREIRA DE SOUZA, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Comparativo de predição de carga térmica por meio de simulação e metamodelo com base na INI-C. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. Anais [...]. Canela: ANTAC, 2022.

RORIZ, Maurício. Classificação de climas do Brasil – Versão 3.0. São Carlos: ANTAC, 2014.

SILVA, J. et al. Influência dos vidros no desempenho térmico. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 25., 2017, Ijuí. Anais [...]. Ijuí: UNIJUÍ, 2017. Disponível em: <https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/8205/6936>. Acesso em: 22 maio 2026.

SILVA, M. K. P. da. Análise econômica de medidas de eficiência energética em um prédio histórico de Florianópolis, de acordo com a nova etiquetagem do Procel Edifica. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SOUZA, Kelly Katharinne da Silva; CORRÊA, Beatriz Castilho; LOPES, Felipe da Silva Duarte. Avaliação de eficiência energética pelo método de simulação da INI-C em edifício educacional em Macapá/AP. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2023, São Paulo. Anais [...]. São Paulo, 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Portal eletrônico. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/>. Acesso em: 1 out. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). Processador Slab no programa EnergyPlus. Florianópolis: UFSC, [s.d.]. Material técnico interno.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond Foundations – Mainstreaming Sustainable Solutions to Cut Emissions from the Buildings Sector. Nairobi: UNEP, 2024.

Disponível em: <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>. Acesso em: 30 set. 2025.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus: whole-building energy simulation engine. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://energyplus.net/>. Acesso em: 23 nov. 2025.