

UFPE

Ewerton Dias Leal Pereira

Orientado por Max Lira Veras Xavier de Andrade

# BIM E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA



Aplicações do BIM para a etiquetagem de edificações públicas,  
a partir do método de simulação computacional da Instrução  
Normativa do Inmetro (INI-C)

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE ARTES E COMUNICAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

Ewerton Dias Leal Pereira  
Orientador: Max Andrade

# **BIM E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA:**

Aplicações do BIM para a etiquetagem de edificações públicas, a partir do método de simulação computacional da Instrução Normativa do Inmetro (INI-C)

Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pernambuco como requerimento para a obtenção do título de bacharel em Arquitetura e Urbanismo

Recife, 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Pereira, Ewerton Dias Leal.

BIM e eficiência energética: aplicações do BIM para a etiquetagem de edificações públicas, a partir do método de simulação computacional da Instrução Normativa do Inmetro (INI-C) / Ewerton Dias Leal Pereira. - Recife, 2022.

99 : il., tab.

Orientador(a): Max Lira Veras Xavier de Andrade  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação, Arquitetura e Urbanismo - Bacharelado, 2022.

1. BIM. 2. Eficiência Energética. 3. Simulação Computacional. 4. INI-C. 5. ENCE. I. Andrade, Max Lira Veras Xavier de. (Orientação). II. Título.

690 CDD (22.ed.)

## AGRADECIMENTOS

Após uma longa lista de mais de sessenta nomes, julguei injusto esquecer de alguém e preferi me resumir.

Certa vez, quando certo de que não iria mais existir, tomei nota de momentos recentes com pessoas que me confortaram de alguma forma e, para este trabalho, eu preciso agradecer...

Belinha, Mari, Neto, eu lembro do dia no Marco Zero. Davi, eu me lembro daquela conversa no Whatsapp. Perry, eu ainda tenho a pulseira laranja.

Jack, Xandy, André, Clarinha, Camillinha, Amadinha, Berta e Ruama, eu me lembro de todas as piadas, de todos os memes e de todas as frases de efeito, eu me lembro de ter sorrido muito com vocês, e me lembro de ter encontrado o maior conforto do mundo quando mais precisava.

Bia, Jonas, Joelly, Bela, eu me lembro que eu dei o maior trabalho e eu me lembro como ajudaram a moldar boa

parte do que me tornei nos últimos tempos. Regina, eu ainda tenho aquele papel que a senhora nem deve lembrar de ter deixado na minha mesa sem eu ver.

Gui, eu reli todos os cartões várias vezes, eu me lembro das mensagens de madrugada e sempre me lembrei de todos os eventos, brincadeiras e conselhos.

Mãe, Pai, Irmã, Veia, Princesa, Batata e Bolinha, vocês já sabem, eu sempre disse, eu vou amar e cuidar de vocês para sempre, como sempre fizeram comigo, onde quer que eu esteja.

... Se por qualquer motivo o universo ainda quis que eu existisse, algum deles foi para viver mais algo fantástico com vocês...

Procurando pelo paraíso, encontrei o inferno dentro de mim mesmo... Liberte-se... É sempre mais escuro antes do amanhecer. - Trechos da canção *Shake it Out*, por *Florence and The Machine*

## RESUMO

A emergência das questões socioambientais tem suscitado diferentes mudanças na indústria da construção civil, sobretudo em relação ao consumo de recursos naturais. No Brasil, a Instrução Normativa SLTI/MPOG nº 2 determinou que obras de retrofit e projetos de edificações públicas federais obtenham a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Programa Brasileiro Etiquetagem (PBE Edifica), com vias a promover projetos mais sustentáveis. Neste cenário, este trabalho propôs experimentar e avaliar as aplicações do BIM para a Instrução Normativa do Inmetro para edifícios comerciais (INI-C), a partir da simulação computacional, a fim de gerar relatórios auxiliares à classificação do nível de eficiência de um edifício. Utilizando como estudo de caso o edifício do Departamento de Física da UFPE, foram empregados métodos de avaliação integrados, sem a exportação ou remodelagem da edificação em programas terceiros, a fim de avaliar um

procedimento que possa ser mais facilmente implementado ao processo projetual em arquitetura. Neste contexto, estudos preliminares sugeriram o maior potencial do Archicad, frente ao Revit, para atendimento à normativa. No entanto, os resultados finais evidenciaram que a aplicação do motor de simulação termo energética do Archicad no modelo do edifício de estudo não ofereceu resultados confiáveis, alinhados às exigências da normativa. Por fim, evidenciou-se que, mesmo que promissoras, estas plataformas ainda não conseguem ser aplicadas integralmente na avaliação da INI-C pelo método integrado de simulação computacional, haja vista, sobretudo, incompatibilidades entre as exigências da normativa e as possibilidades de inserção de dados e métodos de simulação para avaliação da eficiência energética que estão disponíveis em ambas as plataformas analisadas.

Palavras-Chave: BIM, ENCE, INI-C, eficiência energética, simulação computacional

## ABSTRACT

The emergence of socio-environmental issues has given rise to different changes in the construction industry, especially in relation to the consumption of natural resources. In Brazil, Normative Instruction SLTI/MPOG n° 2 determined that retrofit works and projects of federal public buildings obtain the National Energy Conservation Label (ENCE) of the Brazilian Labeling Program (PBE Edifica), with ways to promote more sustainable projects. In this scenario, this work proposed to experiment and evaluate BIM applications for Inmetro's Normative Instruction for commercial buildings (INI-C), based on computer simulation, in order to generate auxiliary reports for classifying the efficiency level of a building. Using the UFPE physics department building as a case study, integrated evaluation methods were used, without exporting or remodeling the building in third-party programs, in order to evaluate a procedure that can be more

easily implemented in the design process in architecture. In this context, preliminary studies suggested the greatest potential of Archicad, compared to Revit, to comply with regulations. However, the final results showed that the application of the Archicad thermo-energy simulation engine in the study building model did not offer reliable results, in line with the requirements of the regulations. Finally, it was shown that, even if promising, these platforms still cannot be fully applied in the evaluation of the INI-C by the integrated method of computational simulation, given, above all, incompatibilities between the requirements of the regulations and the possibilities of insertion of data and simulation methods for energy efficiency assessment that are available on both analyzed platforms.

Keywords: BIM, ENCE, INI-C, energy efficiency, computer simulation

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo energético e emissões de carbono relacionadas à indústria da construção civil, 2020.....	14
Figura 2 – Gráfico do consumo estimado de Energia pelo setor comercial, por cenário no Brasil, de 2010 a 2030.....	15
Figura 3 – Gráfico do consumo estimado de Energia das outras classes, por cenário no Brasil, de 2010 a 2030.....	15
Figura 4 - Tabela 6.1 da INI-C para definição do método de avaliação da edificação. ....	24
Figura 5 – Nova Ence proposta pela INI-C.....	45
Figura 6 - Visualização das propriedades dos materiais e elementos construtivos no Archicad.....	49
Figura 7 - Janela de exportação para gbXML do Revit permite sobrepor a porcentagem de área de aberturas. ....	49
Figura 8 - Janela de cálculo da Transmitância Térmica do Archicad.....	50
Figura 9 - Opções pré-definidas do sistema AVAC no REVIT .....	51
Figura 10 - Opções de definição do COP no Archicad.....	51
Figura 11 – Foto evidenciando as fachadas da lâmina principal, em L, do Departamento de Física da UFPE. ....	55
Figura 12 – Imagem da fachada do edifício do Departamento de Física, apresentando os brises em concreto armado sobre as janelas.....	56
Figura 13 – Módulos mais recentes da edificação que não se assemelham esteticamente ao edifício principal do Departamento de Física da UFPE. ....	57

Figura 14 -Imagens do modelo 3D evidenciando as diferentes formas e planos de fachada do edifício.....	57	Figura 20 - Janela dos dados climáticos do motor de simulação do Archicad 25.....	70
Figura 15 - Recorte da planta do CCEN em CAD, disponibilizada pelo CCBI, evidenciando as informações disponíveis.....	58	Figura 21 - Janela de definições ambientais do Archicad 25. ....	71
Figura 16 - Recorte das fachadas do CCEN em CAD, disponibilizada pelo CCBI .....	59	Figura 22 - Janela de perfis de operação do Archicad 25 ....	72
Figura 17 - Sobreposição gráfica indicando os 8 módulos identificados .....	63	Figura 23 - Janela de criação dos perfis diários com exemplo do perfil de Salas de Aula. ....	73
Figura 18 - Exemplo de componente construtivo disponível no site do Projeteer. ....	65	Figura 24 - Janela para definição dos Sistemas do Edifício .	74
Figura 19 - Modelo de simulação termoenergética evidenciando as zonas sem cobertura no Archicad.....	67	Figura 25 - Opções de definição do COP no Archicad.....	75
		Figura 26 - Janela de fatores de energia do Archicad 25. ....	76
		Figura 27 - Janela para atualização de zonas do Archicad 25. ....	77

Figura 28 - Consumo energético por objetivos da edificação real.....	79
Figura 29 - Consumo energético por objetivos da edificação de referência .....	79
Figura 30 - Definição dos limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral .....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ASHRAE** American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers

**BIM** Building Information Modelling

**CAD** Computer Aided Design

**CB3E** Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações

**ENCE** Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

**EPE** Empresa de Pesquisa Energética

**HVAC** Heating, Ventilating and Air Conditioning

**IES** Integrated Environmental Solution Limited

**IFC** Industry Foundation Class

**INI-C** Instrução Normativa Inmetro - Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas

**INMETRO** Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

**LOD** Level of Development

**ONU** Organização das Nações Unidas

**PBE** Programa Brasileiro de Etiquetagem

**PROCEL** Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

**RTQ-C** Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

**XML** Extensible Markup Language

## SUMÁRIO

01 INTRODUÇÃO .....	12	05 ESTUDO DE CASO PARA O EDIFÍCIO DO DEPARTAMENTO DE FÍSICA DA UFPE .....	54
02 RESUMO METODOLÓGICO .....	20	5.1 O EDIFÍCIO ESCOLHIDO.....	54
2.1 LIMITAÇÕES .....	25	5.2 PROCESSO DE MODELAGEM BIM .....	58
03 BIM E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: CONCEITOS E APLICAÇÕES.....	29	5.2.1 DEFINIÇÃO DOS DIFERENTES MÓDULOS DE CONSTRUÇÃO	61
3.1 UMA BREVE CONCEITUAÇÃO SOBRE O BUILDING INFORMATION MODELING (BIM).....	29	5.2.2 MODELAGEM BIM DO EDIFÍCIO REAL .....	64
3.2 BIM E SUSTENTABILIDADE .....	32	5.2.3 MODELAGEM BIM DO EDIFÍCIO DE REFERÊNCIA .....	68
3.3 BIM E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	34	5.3 SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA NO ARCHICAD .....	69
04 BIM E ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL .....	39	5.3.1 DADOS CLIMÁTICOS E INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS .....	69
4.1 O PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES (PBE EDIFICA) .....	39	5.3.2 BLOCOS TÉRMICOS .....	71
4.2 AS DIFERENÇAS ENTRE O RTQ E A INI.....	42	5.3.3 PERFIS DE OPERAÇÃO .....	71
4.3 ESTUDO DA APLICABILIDADE DO ARCHICAD E DO REVIT PARA O MÉTODO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA INI-C .....	45	5.3.4 SISTEMAS DO EDIFÍCIO .....	74
		5.3.5 FATORES DE FONTE DE ENERGIA .....	76
		5.3.6 RELATÓRIOS .....	78
		5.4 CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PELA INI-C .....	78
		5.4.1 CÁLCULO PARA CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA GERAL DO CCEN COMPLETO .....	79
		5.4.2 DEFINIÇÃO DA ESCALA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	82
		5.4.3 CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA GERAL DO CCEN POR MÓDULO .....	85

06 CONCLUSÕES ..... 88

07 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....91

# 01

# INTRODUÇÃO

Tratando-se de sociedades cada vez mais preocupadas com as questões ambientais, sobretudo pela emergência de manifestações naturais indicativas de mudanças pertinentes no meio ambiente, produzir edificações capazes de apresentar um consumo energético eficiente se apresenta como uma proposta relevante aos projetos de desenvolvimento de ambientes construídos voltados à sustentabilidade, sobretudo a partir do uso consciente das variadas formas de energia (ONU, 2021).

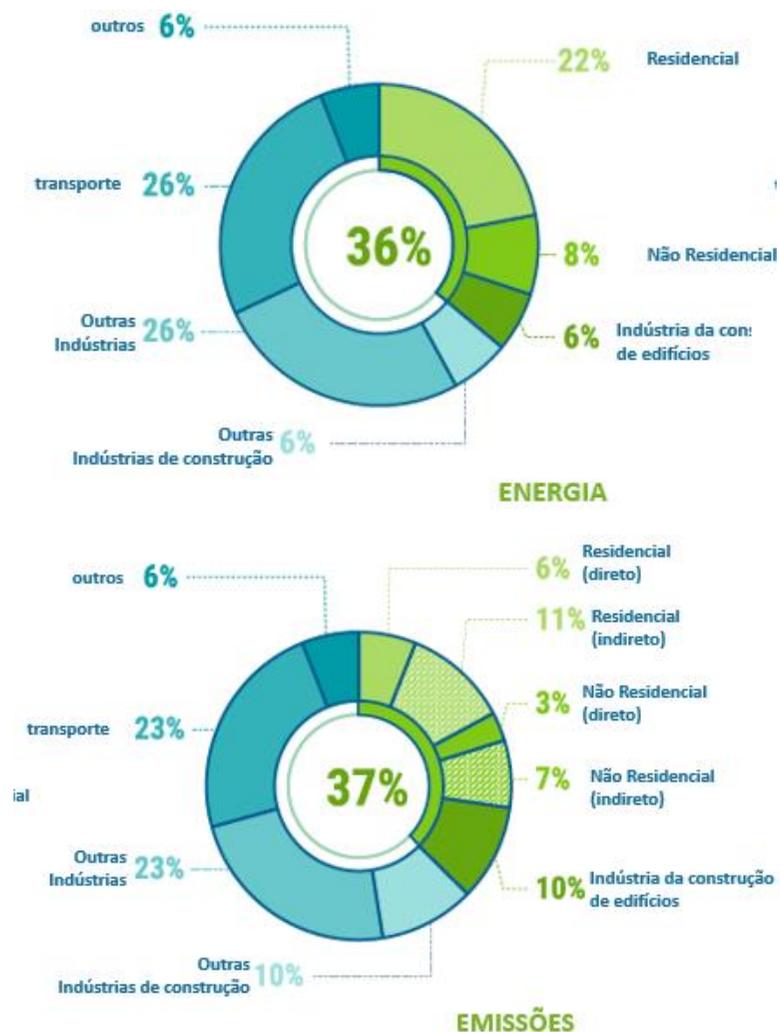
Como explica Lamberts, Dutra e Pereira (1997), tratando-se do conceito sintético e primordial sobre o que seria eficiência energética, estes autores colocam que “um edifício é mais eficiente energeticamente quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia que outro nas mesmas condições”.

Desta forma, pode-se inferir que adotar uma postura projetual, em arquitetura, que trate com relevância a questão da eficiência no consumo energético se revela como uma estratégia que pode impactar positivamente na construção de um ambiente urbano mais sustentável, ou seja, que consuma menos recursos naturais, que produza energia limpa, gerando menos resíduos e alinhado às necessidades atuais e futuras dos usuários e da sociedade, sendo sustentável de forma econômica, social e ambiental. (SILVA, SALGADO e SILVA, 2015).

Cabe pontuar que a indústria da construção civil, considerando a operação e manutenção de edificações já construídas, bem como os seus processos construtivos, apresenta-se como uma das principais consumidoras de recursos energéticos. Prova disso, é que do total de energia consumida no Brasil no ano de 2021, 15,7% representou a soma do consumo de residências e de serviços, de acordo

com o Balanço Energético Nacional da Empresa de Pesquisa Energética brasileira (EPE, 2022). Além disso, de acordo com Leite e Hackenberg (2020), a construção de edifícios chega a representar um consumo de 30% dos recursos naturais, enquanto o Relatório Anual da Situação Global para Edifícios e Construção de 2021 da ONU (2021) indica que as edificações são responsáveis por 37% das emissões de carbono na atmosfera (Figura 01). Também, o consumo de energia elétrica por edificações residenciais deve subir cerca 86% até 2050, enquanto o de edificações industriais e comerciais, pode subir 43% e 55%, respectivamente, considerando as demandas do avanço tecnológico e as mudanças trazidas pela pandemia da COVID-19 (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2021).

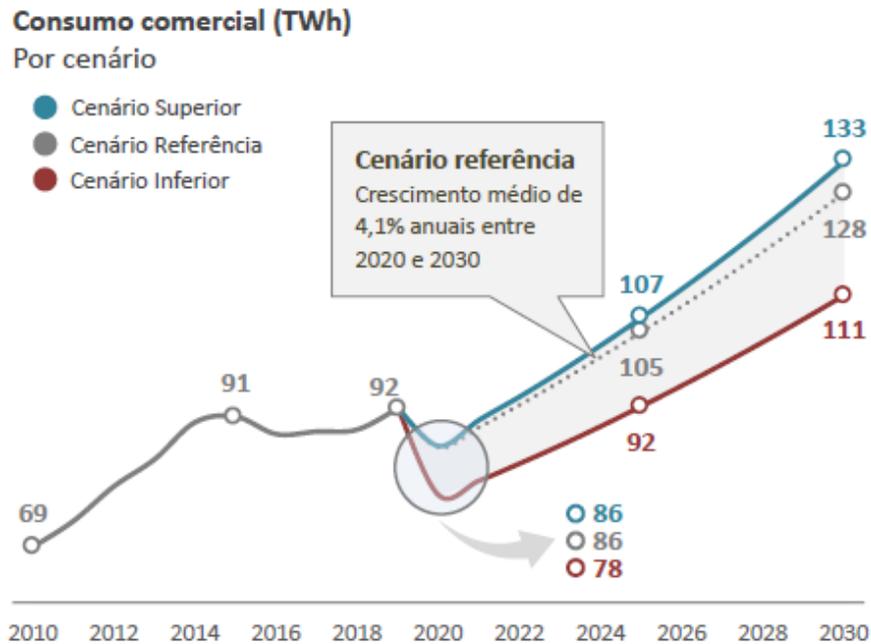
Figura 1 - Consumo energético e emissões de carbono relacionadas à indústria da construção civil, 2020.



Fonte: ONU, 2021. Tradução Livre.

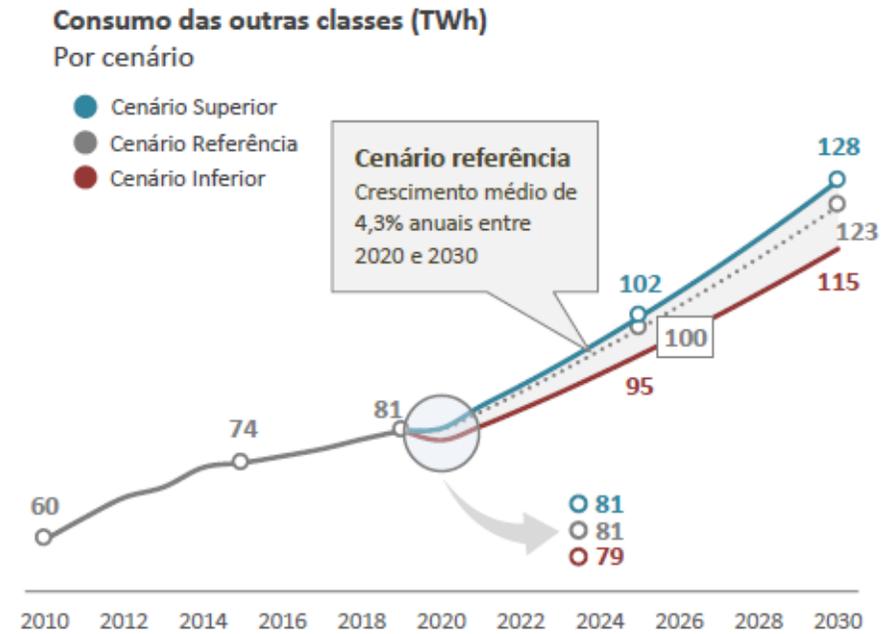
Também de acordo com o Balanço Energético Nacional de 2022 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022), espera-se um crescimento médio do consumo energético de 4,1% anuais entre 2020 e 2030 pelos setores comerciais no Brasil, saindo de 92 TWh em 2019 para 128 TWh em 2030, como mostra a figura 02 que apresenta um gráfico evidenciando a estimativa desse crescimento. E já para edificações de outras classes exceto indústrias e residências, o que inclui prédios públicos, espera-se um crescimento médio ainda maior, de 4,3% entre os anos de 2020 e 2030, conforme o gráfico na figura 03.

Figura 2 – Gráfico do consumo estimado de Energia pelo setor comercial, por cenário no Brasil, de 2010 a 2030.



Fonte: Balanço Energético Nacional, Empresa de Pesquisa Energética 2022.

Figura 3 – Gráfico do consumo estimado de Energia das outras classes, por cenário no Brasil, de 2010 a 2030.



Fonte: Balanço Energético Nacional, Empresa de Pesquisa Energética 2022.

Davis (2020) também contribui para esse entendimento ao desenvolver um estudo que demonstra que os custos envolvidos na operação e manutenção de um edifício, ao longo de sua vida útil, correspondem a cerca de três ou quatro vezes o custo inicial de sua construção, afirmando, ainda, que parte desse custo tem relação com o consumo energético do edifício.

Sobre este fato, os impactos socioeconômicos oriundos da Pandemia da Covid 19 estimularam a promoção de condições sociais e de políticas públicas, que incentivaram à construção civil como forma de reação frente à desaceleração da economia e, sobretudo, às mudanças no modo de vida da população, enquanto a produção e pesquisa de insumos era afetada, sendo pouco incentivada a busca por materiais menos poluentes ou mesmo o desenvolvimento de projetos, ou de políticas públicas que sugerissem o consumo consciente desses, conformando

uma situação de grandes centros ainda menos eficientes com a desocupação parcial e temporária de inúmeros edifícios, situação na qual não é possível adaptar totalmente os sistemas construtivos (como ar condicionado) para o atendimento a ambientes específicos, ao passo que as residências sofreram modificações para atender aos trabalhos remotos, os quais configuram uma situação que demanda, substancialmente, mais energia da residência (ONU, 2021).

## JUSTIFICATIVA

Dada a situação atual, recentemente, a ONU (2021) apresentou que as questões de eficiência energética para edificações, e suas normas, tem se tornado um termo de grande relevância no cenário da construção. Ainda assim, não é recente que diferentes regulamentações estatais têm sido estabelecidas com o propósito de desenvolver e disseminar atividades que estimulem a aplicação dos conceitos relativos à eficiência energética nas edificações, reduzindo os custos operacionais na construção e na utilização dos imóveis, sendo reconhecido internacionalmente, o Acordo de Paris (BROER, SIMJANOVIC, TOTH, 2022), tratado das Nações Unidas que determina estratégias para a redução das emissões de carbono até 2050, e, mais especificamente, como é o caso do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL),

criado pelo Ministério de Minas e Energia, em 1985 o qual, em 2003, tornou-se o PROCEL Edifica.

Nesta perspectiva, o BIM (Building Information Modeling) apresenta-se como uma ferramenta que pode ajudar na melhoria da qualidade dos edifícios ao longo do seu ciclo de vida, na medida em que pode contribuir para a construção de edifícios mais sustentáveis (CHONG ET AL, 2020). As duas tecnologias que sustentam o BIM (interoperabilidade e modelagem paramétrica) são a base de práticas colaborativas e integradas que permitem uma troca contínua e direta de informações entre diferentes *stakeholders*<sup>1</sup> (EASTMAN ET AL, 2011).

Além disso, com a modelagem paramétrica, diferentes soluções de projeto podem ser simuladas e avaliadas mesmo durante a fase de projeto, e as soluções resultantes têm maior probabilidade de atender aos critérios de

---

<sup>1</sup>Stakeholder é um termo comumente utilizado na gestão de projetos, sobretudo digitais, referindo-se às partes, grupos, pessoas ou organizações interessadas no projeto, podendo ser agentes internos e externos essenciais ao projeto. **BIM E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

sustentabilidade estabelecidos com mais facilidade, permitindo um processo de correção do sistema mais inteligente (NAKAMURA e CARLO, 2013), além de possibilitar a coleta de informações que podem auxiliar na tomada de decisão do projeto, facilitando a obtenção do selo de certificação.

Por fim, é de carácter fundamental do arquiteto a definição dos materiais e elementos construtivos da edificação, como parte das definições projetuais, a fim de garantir um projeto que atenda às normas de desempenho e códigos de obras, bem como ao conforto do usuário, em todas as suas esferas.

## OBJETIVOS

É neste contexto que o presente trabalho se insere, com o objetivo geral de **classificar o nível de eficiência do Departamento de Física da UFPE, a partir de simulação computacional BIM, baseado na Instrução Normativa do Inmetro para edifícios comerciais (INI-C)**. O prédio do Departamento de Física da Universidade de Pernambuco foi utilizado como estudo de caso para este método.

Assim, tem-se como objetivos específicos (1) investigar o panorama atual do uso do *Building Information Modeling* na avaliação da eficiência energética de edificações; (2) reconhecer e estudar as possibilidades de aplicação do BIM para os métodos de etiquetagem brasileiros (3) desenvolver um *digital twin* do edifício do Departamento de Física da UFPE a partir de levantamentos *in loco* e projetos disponibilizados pela UFPE; (4) realizar a avaliação de

eficiência energética desse edifício utilizando ferramentas BIM e modelos BEM, considerando as várias reformas e ampliações ocorridas ao longo dos anos no edifício escolhido;

# 02

## RESUMO

### METODOLÓGICO

A experimentação desenvolvida propôs auxiliar na decisão do projeto de arquitetura, a fim de contribuir para a geração de soluções mais eficientes energeticamente. Para a condução desta pesquisa, utilizou-se o método hipotético-dedutivo. Neste contexto, baseando-se em Karl Popper (apud MARCONI e LAKATOS, 2010), parte-se para um processo investigatório guiado por uma hipótese a ser confrontada pelos resultados experimentados.

A partir disso, tem-se a problemática que se identifica na avaliação da eficiência energética pelo método de simulação computacional para etiquetagem de edifícios da INI-C, sobre a qual surge a hipótese de ser possível a utilização de motores de simulação termoenergética integrados a plataformas BIM para atendimento à tal problemática, propondo experimentações em um edifício real, a fim de

promover os testes de falseamento para validação ou não da hipótese levantada.

Com isso, a primeira etapa da pesquisa consistiu na conscientização do problema. Nesta fase, foi realizada uma revisão da literatura, a fim de aprofundar os conhecimentos na área. A partir disso, identificou-se o método de avaliação do RTQ e posteriormente o da INI-C. Do INI-C, optou-se pela avaliação do método de Simulação Computacional, pois esse pode ser aplicado a uma maior variedade de edificações, frente às limitações observadas no método simplificado. Então, seguiu-se as instruções informadas no manual da INI-C para o procedimento de simulação, buscando aplicá-las aos programas Revit e Archicad, identificando e apresentando quais as incompatibilidades do método da INI-C ao ser empregado em ambos os *softwares* BIM analisados.

As etapas subsequentes apresentam-se em Modelagem BIM do edifício do Departamento de Física da UFPE em Nível de Detalhamento (LOD) 300, pautando-se nos projetos básicos de arquitetura; Análises da eficiência energética do edifício original e das várias ampliações; Discussão de como o BIM poderia auxiliar na avaliação da eficiência energética da edificação, baseada no método INI-C; Evidenciar como as simulações em BIM podem auxiliar nas análises das eficiências energéticas das reformas, sejam de ampliações e modificações (não necessariamente para aumentar, mas para mudar a configuração inicial do prédio) do edifício em estudo, como possíveis impactos nas decisões de projeto arquitetônico, de modo a gerar projetos mais eficazes e sustentáveis.

Por nível de detalhamento (LOD) 300 (MANZIONI, 2013), deve-se entender que foram modeladas as esquadrias externas do edifício, bem como as camadas de materiais

componentes dos elementos construtivos, pois são os conteúdos necessários para a realização das análises de eficiência energética do edifício em questão, na medida em que as ferramentas BIM utilizam-se das informações tridimensionais e dos parâmetros e propriedades físicas atribuídos aos materiais para a realização dos cálculos e simulações que resultam nos relatórios de eficiência energética.

Para o processo de definição do consumo de energia primária da edificação pelo método de simulação computacional da INI-C, é necessário o desenvolvimento de dois modelos (PORTARIA Nº 42, 2021). O primeiro é referente ao que a norma chama de edificação real, que se pode considerar o gêmeo digital do edifício, apresentando a mesma geometria, condições de uso e ocupação, os mesmos materiais, elementos e sistemas construtivos, incluindo proteções solares como Brises. O segundo

modelo é o que a norma especifica como sendo a edificação de referência, a qual terá seus resultados postos em comparação com a edificação real. A edificação de referência apresenta a mesma geometria que a edificação real, porém todos os outros parâmetros são definidos pela norma a partir do tipo de uso do edifício. Além disso, o modelo de referência não apresenta elementos de proteção solar como brises, nem sistemas que beneficiem o edifício, como geração de energia solar.

Na etapa seguinte à modelagem, a edificação de referência é então simulada no programa escolhido, e o resultado do consumo de energia primária da mesma será caracterizado como sendo o consumo D para aquele edifício em específico. Isso porque a norma define parâmetros de composição e condições de uso que são caracterizados como aqueles pouco eficientes, os quais colocariam a edificação dentro de uma faixa pouco eficiente, no caso, a

faixa D. Ainda assim, caso o projeto real consuma ainda mais energia primária que o modelo de referência ele pode classificado como E.

A pesquisa tem foco na utilização dos métodos de combinação BIM-BEM denominados de *integrated*. O método *integrated* é baseado no processo dos dados dentro do próprio software, enquanto o *run-time interoperable* é formulado a partir da utilização de plugins ou APIs (BRACHT, MELO E LAMBERTS, 2021). Optou-se por um método com o qual não seja necessária a exportação entre diferentes softwares, a fim de facilitar a avaliação, objetivando estudar a possibilidade de maior adesão ao processo.

Para o estudo apresentado neste trabalho serão analisados os softwares Revit 2021 e Archicad 25, com seus simuladores de eficiência energética padrão, o DOE 2.2 e o

VIPCore (EcoDesigner Star, versão 4.6.17), respectivamente, dos quais um foi escolhido para prosseguimento no edifício de estudo da aplicação do método de classificação por simulação computacional da INI-C.

É válido pontuar, ainda, que, para a escolha do método de avaliação energética pela INI-C, quando pretende-se avaliar sistemas por dois processos diferentes, devem ser observadas as combinações disponibilizadas na tabela 6.1 (figura 4) da INI-C (PORTARIA Nº 42, 2021), a qual aponta em quais edifícios é exigida a simulação termoenergética como única forma de avaliação do edifício, quando não é válida a avaliação pelo método simplificado.

Figura 4 - Tabela 6.1 da INI-C para definição do método de avaliação da edificação.

**Tabela 6.1** – Combinações possíveis entre os sistemas individuais e os métodos de avaliação

			Método de simulação					
			Envoltória		Iluminação Natural	Iluminação artificial	Condic. de ar	Aquecimento de água
			Edif. CA	Edif. VN				
Método simplificado	Envoltória	Edif. CA		×	✓	✓	×	×
		Edif. VN	×		✓	✓	×	×
	Iluminação Natural		✓	✓		×	×	×
	Iluminação artificial		✓	✓	✓		✓	×
	Condic. de ar		×	×	✓	✓		×
	Aquecimento de água		✓	✓	✓	✓	✓	

Fonte: Portaria N° 42, Brasil, 2021.

Pela tabela 6.1, pode-se identificar que, avaliando o condicionamento de ar pelo método simplificado, seguindo pela horizontal, pode-se combinar o mesmo à avaliação dos sistemas de iluminação natural e artificial pelo método de simulação. Já utilizando-se do método de simulação

computacional da iluminação natural, descendo pela vertical, pode-se perceber que é possível avaliar todos os outros sistemas a partir do método simplificado, em combinação.

## 2.1 LIMITAÇÕES

Dada a abrangência de conceitos tratados neste trabalho, é importante indicar as limitações observadas, a fim enquadrar os resultados da pesquisa dentro das possibilidades as quais pode-se sugerir, com maior propriedade, os resultados.

### CÁLCULOS INTERNOS

Cada programa realiza os cálculos da simulação termoenergética de acordo com a forma como foi projetado. Aqui, para o estudo de caso no capítulo cinco, foi utilizado o motor de simulação termoenergética do Archicad. Logo, mesmo que a norma especifique quais condições o programa de simulação deve atender, não é garantido que o motor irá realizar os cálculos exatamente como idealizado para norma, haja vista que esta indica as

NBR's que servem de auxílio para sua elaboração, mas não explicita a forma de cálculo de cada e parâmetro específico, nem o Archicad disponibiliza todas as informações sobre como cada ferramenta é projetada. No entanto, tratando-se de que as edificações real e de referência serão simuladas no mesmo programa, existe uma correlação válida entre os resultados, haja vista que estarão sendo simulados em um mesmo sistema. Desta forma, a sugestão, tal qual realizadas por referências apontadas neste trabalho, em situações diferentes, seria a comparação dos resultados em programas consolidados como o Energyplus e o OpenStudio, que, dado o prazo para a pesquisa, não puderam ser realizadas.

### SIMULAÇÃO DA ILUMINAÇÃO

O anexo C.II da INI-C (PORTARIA Nº 42, BRASIL, 2021) dispõe sobre as características do programa computacional para a

simulação de iluminação natural, características as quais o REVIT e o Archicad não indicam possuir. A INI-C sugere que para a obtenção da ENCE geral pelo método de simulação, devem ser realizadas as simulações de todos os sistemas do edifício, mas, diferente do método simplificado, o qual especifica o que é necessário calcular em cada sistema para a obtenção de cada ENCE parcial (iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água), no método de simulação não fica claro qual etiqueta pode ser considerada, quando o programa simula o consumo energético de iluminação em conjunto com os outros sistemas, como é o caso do Archicad. Isso porque o Revit e o Archicad recebem os parâmetros de referência indicados na norma para a iluminação, mas não atendem exatamente às especificações do programa de simulação de iluminação exigidas pela norma, logo, não fica claro se os dados obtidos pelas simulações no Revit e no Archicad podem ser

utilizados na obtenção da ENCE parcial, mesmo se atenderem à simulação termoenergética. Desta forma, os dados gerados pela simulação do Archicad no capítulo de estudo de caso serão empregados na fórmula para o cálculo da classificação energética da INI-C, a fim de identificar a coerência dos resultados, bem como os limites de simulação do programa, indicando, nesta oportunidade, que há a limitação em relação ao estrito alinhamento com a norma no que se refere à simulação da iluminação.

### COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)

O CFD é uma metodologia utilizada para a modelagem digital de fluídos, como o ar, permitindo o estudo do comportamento de sistemas de ventilação e refrigeração, possibilitando uma análise mais acurada sobre esses. No entanto, dada a complexidade e a não exigência desse processo na norma, o mesmo não foi aprofundado aqui.

## ETAPAS DO TRABALHO

Dessa forma, após o resumo metodológico disposto no **Capítulo 2**, o **Capítulo 3** abarcará a realização de uma investigação do panorama atual do BIM e de seu uso para a sustentabilidade, partindo para o foco nas análises de eficiência energética, destacando os principais e mais gerais conceitos em pauta, bem como os potenciais de aplicação e o que se tem estudado sobre o tema, a fim de imergir a pesquisa nos fundamentos básicos do universo da proposta.

No **Capítulo 4**, serão apresentados os métodos de etiquetagem brasileiros do PBE Edifica, o Relatório Técnico da Qualidade (RTQ) e a Instrução Normativa do Inmetro (INI), com as principais modificações desses, a fim de compreender e aplicar a metodologia mais recente de classificação da eficiência energética. Ao fim do capítulo,

serão analisados dois softwares autorais BIM, o Revit e o Archicad, com vias a identificar as aplicações destes para a metodologia de etiquetagem brasileira, através do método de simulação computacional, selecionando, finalmente, o Archicad como ferramenta BIM para o estudo de caso do edifício do Departamento de Física da UFPE.

Por fim, o **Capítulo 5** apresentará os resultados da aplicação do Archicad para a avaliação da eficiência energética do Departamento de Física da UFPE, a partir da instrução normativa do Inmetro para edificações comerciais (INI-C), pelo método da simulação computacional, quais as possibilidades e os desafios encontrados, descrevendo o percurso até o resultado final.

Por fim, é válido pontuar que este trabalho não teve a intenção de se tratar de uma pesquisa com fins históricos, teóricos ou analíticos quando considerada a relevância da

edificação enquanto exemplar do estilo brutalista, como é o caso do volume original do Departamento de Física da UFPE, na medida em que se entende que questões patrimoniais podem se sobressair às sugestões de modificações que melhorem a eficiência energética, mas que impactem diretamente na integridade ou autenticidade da edificação. Dessa forma, confirma-se que, pelo não aprofundamento dessas questões, dado o espectro de tempo e o teor da pesquisa, é prudente não discorrer efetivamente sobre as mesmas sem dispor de propriedade para tal.

# 03

## BIM E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: CONCEITOS E APLICAÇÕES

### 3.1 UMA BREVE CONCEITUAÇÃO SOBRE O BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Anteriormente ao conteúdo de cunho específico ao tema deste trabalho, entende-se importante discorrer brevemente sobre o BIM, sua conceituação, as principais e mais atuais aplicabilidades, a fim de imergir a pesquisa dentro universo que é núcleo fundamental desta, o universo do BIM.

Uma das principais referências sobre o tema, Bilal Succar (2009) define o BIM como sendo “um conjunto de políticas, processos e tecnologias que interagem desenvolvendo uma

metodologia para o gerenciamento dos dados essenciais do projeto da edificação em formato digital ao longo do ciclo de vida do edifício” (SUCCAR, 2009, p. 357, *tradução livre*).

Logo, conforme pontua Eastman *et al.* (2008), o BIM trata-se principalmente, da colaboração entre diferentes atores, relacionados a variadas disciplinas e procedimentos, a fim de compor e tratar os dados do projeto de maneira digital, os quais podem ser úteis em diferentes etapas do ciclo de vida do edifício, até mesmo em sua demolição, não estando, essencialmente, relacionado à figura de um *software* ou plataforma específicos, mas a um processo guiado pelo trabalho colaborativo.

Considerando as ambiguidades, e em busca de propor definições claras sobre o BIM, Succar (2016) apresentou o desenvolvimento de uma lista do que chama de Usos do Modelo BIM. A partir de variados outros trabalhos, o autor

identificou três principais tipos de informações do projeto, propondo três diferentes categorias para taxonomia dos usos BIM. A primeira categoria, denominada de Usos Gerais, trata de informações modeladas que são aplicadas em diferentes domínios do conhecimento, indústrias e sistemas de informação. A segunda categoria trata dos Usos de Domínio, os quais representam as informações modeladas para indústrias específicas, como a da construção civil. A terceira categoria mistura as categorias de Usos Gerais e Usos de Domínio, a fim de refletir quaisquer necessidades de um projeto específico, conformando uma lista com 125 itens para os Usos do Modelo BIM.

Tratando-se deste trabalho em específico, utilizando as definições de Succar (2016), pode-se entender que o trabalho se enquadra na categoria II, série 4010 – Simulação e Quantificação, com uso **4220 – Análises de Sustentabilidade**.

Consultando a iniciativa do *BIM Dictionary* (2022), uma plataforma Open Source que visa expandir gratuitamente os conhecimentos sobre o BIM, pode-se definir o uso 4220 como sendo “uma representação de como os modelos 3D são utilizados para calcular o impacto ambiental do projeto de novas construções, ou de sistemas existentes, as quais podem incluir a pegada de carbono, Energia incorporada e outras métricas de sustentabilidade.” (*tradução livre*).

## 3.2 BIM E SUSTENTABILIDADE

A partir de uma revisão sistemática da literatura, afim de estudar a adoção do BIM no que se trata de sustentabilidade, Chong *et al.* (2020) selecionaram e analisaram variados trabalhos sobre as diferentes categorias do ciclo de vida da edificação, definidas como Planejamento, Projeto, Construção, Consumo Energético, Operação e Manutenção, Reformas e demolições, além de Produtos e Materiais. Os autores concluíram que o BIM pode ser aplicado em todas as três definições de sustentabilidade, sendo elas a ambiental, social e econômica. Também, constaram que a fase de projeto é a fase em que as soluções são mais exploradas no intuito de atender às definições de sustentabilidade, principalmente no que diz respeito à redução do consumo de energia, pois implica na concepção e desenvolvimento do projeto do

objeto a ser executado, com um número maior de atores com diferentes atribuições envolvidos no processo, de variadas disciplinas, e porque permite uma ampla gama de experimentos, análises e modificações com base nos resultados notados antes da fase de construção.

Ainda, Chong *et al.* (2020) pontuam que o emprego do BIM pode ser uma das melhores maneiras de reduzir as emissões de carbono no ambiente construído, entendendo que o BIM pode ajudar a melhorar diversas áreas de um processo de construção, ajudando os analistas a tomar decisões mais precisas e fornecendo detalhes sobre edifícios existentes e suas reformas. Isso porque o processo de renovação ou Retrofit<sup>2</sup> do edifício tem que ser muito preciso, pois o impacto de alterações em um edifício já existente não pode ser desfeito.

---

<sup>2</sup>O termo Retrofit é utilizado para se referir à revitalização de uma construção com sistemas ou configurações antigos, adaptando-a para que atenda às necessidades atuais referentes ao uso e a padrões técnicos, não configurando, exatamente, em uma reforma ou um restauro.

Portanto, fica claro que, com base nos parâmetros que levam à uma produção totalmente sustentável, a tecnologia BIM pode se destacar significativamente na adequação das edificações já executadas ou a serem construídas, a fim de atingir um consumo energético eficiente, além de permitir múltiplas análises para possibilitar processos mais inteligentes, tendo em vista corrigir sistemas em operação e garantir que informações e resultados sejam coletados de forma otimizada, para avaliar a conquista do selo de certificação de Sustentabilidade e Eficiência Energética.

## 3.3 BIM E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Em 2011, Freire e Amorim (2011) estudaram a afinidade dos não especializados com a tecnologia e os softwares BIM. Esses autores afirmam que muitos dos conhecimentos em BIM são insuficientes para simular as soluções que levem em consideração a eficiência energética da edificação. Tem-se que os programas mais conhecidos são empregados apenas nas etapas finais do processo de projeto, momento no qual as alterações no projeto são mais custosas e representam pouco impacto nas soluções iniciais. Por outro lado, ferramentas usadas nas simulações da eficiência energética das edificações são cada vez mais comuns na etapa de concepção e geração do partido, alguns dos quais usam plugins para programas, como o Rhino para o Grasshopper. Esses têm possibilitado simulações na etapa

de concepção, permitindo realizar múltiplas avaliações de desempenho das soluções inicialmente concebidas.

Já Coelho (2020) apresenta, também, uma revisão acerca da relação entre BIM e BEM, indicando que raramente é possível essa integração, destacando que, ainda, é recorrente a necessidade de adaptação ou remodelagem completa dos dados incorporados ao modelo BIM para simulação do projeto a partir de softwares que trabalham com o BEM, situação que dificulta a otimização dos processos referentes à avaliação energética desde as etapas iniciais do projeto, momento no qual as alterações são menos custosas e apresentam mais benefícios.

Apontando as utilidades da análise de eficiência energética nas diferentes fases de projeto, Coelho (2020) indica que as fases de estudo preliminar com volumetrias básicas podem servir de parâmetros iniciais para posicionamento e forma

em relação à ventilação e à análise solar. Já na fase estudo preliminar, são iniciadas as proposições dos materiais, a partir dos quais podem ser definidas as características principais para avaliação. A elaboração do projeto propriamente dito passa a agregar as diversas informações e detalhes sobre os diferentes elementos construtivos, configurando um modelo BIM mais acurado, com maiores informações sobre as características Físicas de cada material, o que permite uma análise mais fiel ao que virá a ser executado.

Também, Coelho (2020) descreve que os resultados do processo de construção podem ser empregados para analisar quais as mudanças na eficiência energética que alterações dessa fase resultaram, bem como, o seguimento contínuo de avaliação e de manutenção ajudam a regular e manter o padrão de eficiência. Vale pontuar que, também, é imprescindível a elaboração do modelo informatizado

para avaliação da eficiência energética as quais se deseja transformar ou recuperar à um padrão de eficiência energética adequado. Ainda, Coelho (2020) aponta a relevância do comportamento do usuário nas questões referentes à eficiência energética, sobretudo como ele utiliza equipamentos e mecanismos, indicando serem a principal causa de diferenças significativas entre o desempenho esperado para baixa energia pelo projeto e as medições reais após a conclusão da edificação e seu uso propriamente dito.

Em outra situação, a partir de uma abrangente Revisão Sistemática da Literatura sobre as aplicações da tecnologia do *Machine Learning* (ML) para o BIM, Zabin et al. (2021) identificaram diferentes autores que tem estudado o emprego do tema para questões referentes à eficiência energética. Zabin et al. (2021) explicam que dada a essência dos processos em BIM de promover a agregação e a geração

de diferentes dados sobre a construção e os objetos baseados em BIM, a aplicação do *Machine Learning* apresentou-se promissora, mesmo que de forma embrionária, na produção de projetos mais sustentáveis, com baixo consumo energético, sendo a questão da eficiência energética uma das principais linhas de pesquisa quando estudadas as aplicações do *Machine Learning* para o BIM. Isso porque é possível se basear em dados disponíveis em modelos já desenvolvidos previamente, analisando padrões que podem influenciar nas decisões, desde a fase inicial do projeto, até a disposição da mobília no ambiente como forma de otimizar o consumo de energia. Nesse contexto, Zabin et al. (2021) definem o que chamam de "*Intelligent BIM*", um sistema intuitivo capaz de se utilizar de dados importantes de modelos previamente desenvolvidos a partir do consumo e processamento de dados possibilitado pelo *Machine Learning*, para auxílio na

tomada de decisões, e até mesmo automações de processos inerentes à construção e ao projeto.

Por sua vez, Souza (2021) propôs estudar as possibilidades de inserção da simulação computacional termoenergética nas etapas iniciais de projeto, identificando grupos de estudantes e arquitetos profissionais, nos quais a pouca afinidade com os softwares e termos referentes ao tema, se apresentaram como dificuldades relevantes, que podem justificar a pouca adesão dessas ferramentas no processo projetual desses grupos, identificando, porém, que após a introdução dos conceitos e a instrução básica sobre a utilização dos programas, foi possível obter resultados satisfatórios sobre a proposta da sua pesquisa. Dessa forma, pode-se supor que a utilização do BIM, enquanto tecnologia mais difundida, integrado aos métodos de simulação energética se configura uma alternativa

promissora para a promoção de projetos mais sustentáveis desde o início do processo projetual.

Em outra oportunidade, Pimentel *et al.* (2021b) analisaram a possibilidade de utilização do BIM para a simulação termoenergética pela INI-C, através do método de exportação do modelo BIM do Revit em gbxml para ser simulado no *Designbuilder*, identificando que o método apresenta uma diferença de apenas 1,00% nos resultados observados quando o projeto é modelado diretamente dentro dos *softwares* de simulação.

Em uma Revisão Sistemática da Literatura sobre a utilização do BIM para promoção da eficiência energética em edificações, Pereira *et al.* (2021) identificaram que as questões de interoperabilidade entre os programas ainda configuram um dos principais problemas na relação entre BIM e BEM e que os gêmeos digitais ainda não funcionam

totalmente em determinadas avaliações de simulações, apontando, no entanto, inúmeras aplicações do BIM neste contexto em escalas da edificação, às urbanas, concluindo que a utilização do BIM para eficiência energética proporciona projetos mais eficientes e que os métodos dessas propostas devem ser adotados ao processo projetual.

Issa, Ferreira e Borges (2020), mesmo que não empregando uma metodologia de etiquetagem específica, estudaram as ferramentas de análise da eficiência energética do REVIT e do ARCHICAD, em 2020, realizando uma comparação entre ambos para apresentar as potencialidades e as fraquezas do Green Building Studio (REVIT) e do EcoDesigner STAR – Energy Evaluation (ARCHICAD 21). Os autores identificaram a possibilidade de utilização de ambas as ferramentas com resultados satisfatórios e similares em relação à

usabilidade, indicando, também, a possibilidade de emprego nos estágios iniciais de projeto.

# 04

## BIM E ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES NO BRASIL

### 4.1 O PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES (PBE EDIFICA)

Como explica Zemero (2016), o Brasil apresentava três principais certificações para edificações que são relacionadas com a questão da eficiência energética, sendo elas a LEED<sup>3</sup> (*Leadership in Energy and Environmental Design*), a AQUA<sup>4</sup> (Alta qualidade ambiental) e a Procel Edifica (ou PBE Edifica), todas com formas de avaliação e objetivos finais diferentes.

Inicialmente, o PROCEL desenvolveu os métodos de avaliação energética denominados Requisitos Técnicos 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), incluindo ainda os Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações (RAC) e seus documentos complementares, como os Manuais para aplicação do RTQ-C, do RTQ-R e do RAC (PORTARIA Nº 50, BRASIL, 2013). Em vias de propor uma forma de avaliação da eficiência energética em edificações, que pudesse suprir as limitações do método dos Requisitos Técnicos de qualidade (RTQ), em substituição ao antigo método de etiquetagem, foi desenvolvida a Instrução Normativa do Inmetro para edificações comerciais (INI-C) em 2018.

Pela INI-C, de acordo com a Portaria nº 42, do Ministério da Economia, “o novo método se baseia no consumo da energia primária de edificações a partir da utilização de dados provenientes de um metamodelo fundamentado através de redes neurais artificiais” (PORTARIA Nº 42, BRASIL, 2021), apresentando, ainda, um resultado quantitativo no qual é baseada a classificação diferente do método RTQ que resulta em um valor adimensional para definir a classificação. A INI-C teve sua última atualização pela portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021 do INMETRO, que passa a obrigar o uso do novo método a partir de 24 meses da publicação. A INI-C foi o método base pelo qual as etapas de análises de sustentabilidade baseadas no método da simulação foram realizadas para esta pesquisa.

Em 2014, a Instrução Normativa nº 2, lançada no Diário Oficial da União, passou a obrigar que edifícios públicos federais novos, ou em processos de reformas e ampliações,

---

<sup>3</sup>Dividida em quatro tipologias, a certificação LEED é internacional e funciona com um sistema de pontuação que avalia oito critérios como qualidade do ambiente interno, inovações e eficiência da água, garantindo diferentes selos desde a pontuação 40 à 110.

passem pelo processo de etiquetagem da PROCEL para que obtenham a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

Não menos importante, é necessário pontuar as indicações da NBR 15575, Norma de Desempenho de edificações residenciais, (ABNT, 2013), quando considera, dentre os requisitos de habitabilidade, o desempenho térmico, questão intrínseca à definição de materiais adequados ao tipo de edificação e à região bioclimática, bem como à proposição de soluções projetuais voltadas à sustentabilidade, alinhadas à economia no consumo energético e de recursos naturais, deixando clara a consideração da exploração e consumo racionalizado de recursos naturais, privilegiando materiais que causem menor impacto ambiental.

---

<sup>4</sup>Desenvolvida pela certificação francesa Démarche HQE, o selo AQUA foi adaptado ao Brasil pela fundação Vanzolini junto à USP. As certificações podem ser para o ciclo construção ou operação, baseadas nos referenciais SGE, QAE e GAE, avaliando 14 categorias de premissas de desempenho ambiental.

## 4.2 AS DIFERENÇAS ENTRE O RTQ E A INI

Em consulta pública divulgada 12 de julho em 2018 pelo Inmetro (ABRAVA, 2018), apresentaram-se as principais diferenças entre o RTQ e INI, destacando:

- (1) RTQ-C não diferencia área envidraçada e proteções solares por orientação, enquanto a INI-C permite a entrada de dados diferenciada por fachada.
- (2) RTQ-C tem limitação da representação por volumetria da edificação, enquanto a INI-C permite a modelagem de diferentes formas geométricas.
- (3) RTQ-C não responde bem à aplicação de vidros de controle solar, enquanto a INI-C considera o uso de vidros de controle solar.

- (4) RTQ-C utiliza de parâmetros ponderados para toda a edificação, enquanto a INI-C permite a entrada de dados de cada zona térmica da edificação.
- (5) RTQ-C tem a necessidade de levantamento de dados não significativos na avaliação, enquanto a INI-C simplifica a entrada de dados por significância no resultado.
- (6) RTQ-C considera apenas um tipo de sistema HVAC (split), enquanto a INI-C possibilita a avaliação de qualquer sistema HVAC.
- (7) RTQ-C não considera influências do entorno edificado, enquanto a INI-C considera o ângulo de obstrução vizinha.
- (8) No RTQ-C os pré-requisitos de paredes e coberturas podem penalizar uma edificação onde estes itens não são representativos, enquanto a INI-C permite a

entrada das características térmicas de paredes e cobertura, independente de pré-requisitos.

(9) No RTQ-C há a impossibilidade das equações descreverem diversas variações volumétricas, enquanto a INI-C permite a modelagem de diferentes formas geométricas.

(10) No RTQ-C há o uso de apenas um padrão de carga térmica interna e padrão de uso e ocupação, enquanto a INI-C permite a especificação do tipo de uso da edificação.

(11) RTQ-C não considera a influência da iluminação natural e ventilação natural, enquanto a INI-C permite a avaliação da iluminação natural e ventilação natural.

A partir da disponibilização da nova norma, diferentes trabalhos propuseram a comparação entre os métodos de

avaliação da eficiência energética da RTQ e da INI, a fim de identificar a viabilidade da atualização.

Utilizando-se do método simplificado para avaliação energética, a partir do novo método de avaliação baseado em energia primária, CELLA et al (2020) analisaram a eficiência energética de um pavimento de uma edificação comercial aplicando o procedimento para três grupos climáticos brasileiros, a fim de analisar se o método era efetivo. A partir das análises, identificaram que o método, mesmo que considerado adequado, necessita de revisões, na medida em que padroniza valores de referência em um cenário, no qual a diferença entre os grupos climáticos é de grande relevância, fato observado pela grande diferença entre os valores reais e os valores de referência, situação que pode comprometer a precisão do método, ao não considerar uma heterogeneidade de situações.

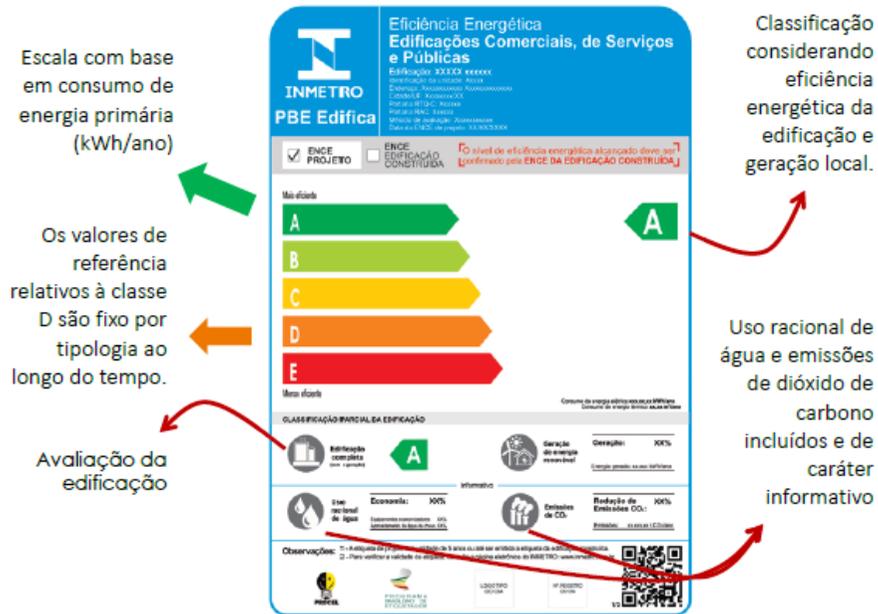
Já Oliveira (2021) propôs comparar a metodologia de avaliação prescritiva do RTQ, com a metodologia simplificada da INI, utilizando como objeto de estudo um edifício já construído do exército brasileiro, apontando que os resultados obtidos pela INI tem maior relevância para os projetistas e consumidores finais, justamente por apresentar valores absolutos, propondo estudos de retrofit que indicaram que intervenções na composição das paredes, telha e vidros garantiriam um maior percentual de economia. Além disso, apresentou como vantagem da INI a inclusão da Densidade de Potência de Equipamento (DPE), o Zoneamento bioclimático mais atualizado, além dos parâmetros pré-definidos para caracterização da edificação de referência.

Em outro estudo, Pimentel *et al.* (2021a) compararam os métodos de avaliação da eficiência energética da INI-C, simplificado e através de simulação computacional

(utilizando-se dos softwares *Designbuilder* e *Energyplus*), confirmando a confiabilidade dos procedimentos propostos pela INI-C entre os seus diferentes métodos, haja vista que, mesmo com variações a partir da utilização de diferentes arquivos climáticos, foi possível convergir a um resultado próximo, ainda que não tenham utilizado plataformas BIM.

A INI-C também foi responsável pela introdução de uma nova Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (figura 5), em substituição àquela proporcionada pelo RTQ. Para cada tipo de avaliação, seja da envoltória completa, seja de cada uma das suas combinações, a etiqueta apresentará as informações analisadas para cada contexto.

Figura 5 – Nova Ence proposta pela INI-C



Fonte. CB3E, 2022.

## 4.3 ESTUDO DA APLICABILIDADE DO ARCHICAD E DO REVIT PARA O MÉTODO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA INI-C

Anteriormente à aplicação do método de simulação da INI-C de forma integrada ao edifício do Departamento de Física da UFPE, fez-se necessária a análise sobre a possibilidade de aplicação do método em plataformas BIM diferentes. Dentre das possibilidades, o REVIT e o ARCHICAD despontam no mercado da arquitetura e engenharia como sendo as plataformas mais utilizadas nos escritórios brasileiros, oferecendo ferramentas de organização, gestão e modelagem que possibilitam variadas aplicações do BIM, inclusive simulação de eficiência energética, conforme

elencam Issa, Ferreira e Borges (2020) e por conta da popularidade e utilidade, foram escolhidos para essa pesquisa. Em artigo publicado por Pereira e Andrade (2021), extrai-se que a INI-C exige uma lista de atributos que os softwares de avaliação necessitam abranger para que seja apto a realizar as simulações da norma, sendo uma das mais importantes a validação pela ASHRAE Standard 140, a qual o simulador do Archicad indica possuir.

A atribuição dos dados necessários para a simulação energética padrão em ambos os softwares, Revit e Archicad, não apresentou dificuldades significativas quando utilizados os materiais e elementos padrões, já pré-configurados, os quais apresentam propriedades já definidas, situação que permite agilidade e facilidade na execução da simulação. É necessário apenas configurar as condições de uso, ocupação e o sistema de ventilação de cada ambiente, situação que no Archicad é feita a partir da própria

ferramenta “zona”, enquanto no Revit é necessário a utilização da função “espaço”, não tão recorrente na modelagem comum da edificação, quando se utiliza a função “ambiente”.

No entanto, a atribuição das propriedades que são necessárias para avaliação da edificação de referência solicitada pela INI-C (PORTARIA Nº 42, BRASIL, 2021) tornam o processo complexo. Isso porque ambos os programas calculam automaticamente valores como a transmitância térmica (U) a partir dos dados padrões agregados aos materiais pré-configurados, baseando-se também na espessura modelada em projeto para as diferentes camadas de um elemento construtivo, como uma parede ou uma cobertura, situação que exige que sejam alterados os dados reais dos materiais, até que os cálculos automáticos atinjam os valores exigidos pela norma para a transmitância, por exemplo, já que esta é calculada a partir

espessura da camada do material (indicada pela norma) e da sua condutividade térmica. Especificamente sobre o Archicad, o manual de simulação indica que o algoritmo de cálculo do valor da transmitância térmica (U) é fixo e baseado em um cálculo utilizado pela maioria das normas nacionais, o inverso da resistência térmica total, sendo ele dado pela fórmula:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h1} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h0}}$$

Onde U é a transmitância, o h1 é coeficiente interno, h0 o coeficiente externo, d é a espessura do elemento e  $\lambda$  a condutividade térmica. Como comparação, a ABNT NBR 15220-2:2005 “Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações” (ABNT, 2005),

define o mesmo cálculo, exceto por não incluir os coeficientes citados pela fórmula do Archicad.

Nesse sentido, o Revit permite sobrepor esses valores apenas para avaliação térmica ou exportação do modelo em gbxml, enquanto o Archicad permite a alteração da transmitância térmica (U) manualmente, dentro de três categorias limitantes. Entretanto, a configuração de sobreposição de propriedades térmicas padrão para elementos construtivos do Revit não atinge, nem se aproxima, da exigida pela norma, questão que exige a alteração contínua das propriedades dos materiais até que se atinja o valor exigido pela norma, caso se deseje prosseguir pelo cálculo automático.

Outra propriedade que não é possível alterar como a norma solicita é a absorvência, sendo utilizada a absorvência solar em ambos os *softwares*, entendendo-a como equivalente,

ou uma diferença de tradução. O Fator Solar (FS) do vidro das aberturas também aparece de outra forma no Archicad, sendo chamado de TST (Transmitância Solar Total), que equivale ao Coeficiente de Ganho de Calor Solar (SHGC) do padrão norte americano de nomenclatura, quando dividido por 100. No Archicad também é possível alterar a Transmitância Solar Direta (TSD), a qual compõe a TST. No Revit, o fator solar já é descrito como Coeficiente de Ganho de Calor Solar, mas é selecionado a partir de materiais pré-definidos, não podendo ser alterado manualmente na janela de propriedades do tipo. Na figura 06, é possível observar que grande parte das propriedades Físicas dos diferentes elementos construtivos que compõem o projeto podem ser visualizadas e alteradas de maneira conjunta em uma única janela.

A norma também exige um percentual máximo de aberturas na fachada de 40%, situação não controlável no

Archicad, a não ser que seja adequado, manualmente, cada uma das esquadrias. Sobre esse item, o REVIT permite sobrepor esse valor quando é exportado para a extensão Gbxml (figura 07), mas não permite enquanto simulação no próprio software. Ainda sobre as esquadrias, o REVIT não permite alterar facilmente as propriedades de material das mesmas, nem as selecionar no modelo energético simplificado, enquanto no Archicad, a visualização das propriedades de todos os materiais é explícita em uma única janela.

Figura 6 - Visualização das propriedades dos materiais e elementos construtivos no Archicad.

Revisão do Modelo Energético - Estruturas

Blocos Térmicos Estruturas Aberturas

Tipo	Orientação	C... Bloco Térmico	Nome	Área [m <sup>2</sup> ]	Espessura...	Valor U [W/m <sup>2</sup> K]	Infiltração [l/sm <sup>2</sup> ]	Abso
Laje	Base	002 Novo Bloco Tér...	Cobertura, Telha Simples	1354,39	0,15	0,3,10	1,10	85,00
Virtual	Leste para cim...	001 Novo Bloco Tér...	Baixa Resistência	1353,31	-----	-----	-----	-----
Virtual	Leste para cim...	002 Novo Bloco Tér...	Baixa Resistência	1353,31	-----	-----	-----	-----
Laje	Horizontal (Pe...	001 Novo Bloco Tér...	Cobertura, Telha Simples	826,82	0,15	0,2,06	-----	-----
Virtual	Leste para cim...	002 Novo Bloco Tér...	Baixa Resistência	631,12	-----	-----	-----	-----
Laje	Base	003 Novo Bloco Tér...	Cobertura, Telha Simples	631,12	0,15	0,3,10	1,10	85,00
Virtual	Leste para cim...	003 Novo Bloco Tér...	Baixa Resistência	631,12	-----	-----	-----	-----
Laje	Horizontal (C...	001 Novo Bloco Tér...	Cobertura, Telha Simples	329,92	0,15	0,2,06	-----	-----
Parede	Norte	001 Novo Bloco Tér...	PAREDES	170,10	0,14	0,2,39	1,10	50,00
Parede	Sul	001 Novo Bloco Tér...	PAREDES	160,50	0,14	0,2,39	1,10	50,00
Parede	Oeste	001 Novo Bloco Tér...	PAREDES	157,78	0,14	0,2,39	1,10	50,00
Parede	Leste	001 Novo Bloco Tér...	PAREDES	128,62	0,14	0,2,39	1,10	50,00
Parede	Norte	002 Novo Bloco Tér...	PAREDES	127,68	0,14	0,2,39	1,10	50,00
Parede	Oeste	002 Novo Bloco Tér...	PAREDES	111,53	0,14	0,2,39	1,10	50,00
Parede	Leste	002 Novo Bloco Tér...	PAREDES	111,51	0,14	0,2,39	1,10	50,00
Parede	Sul	002 Novo Bloco Tér...	PAREDES	98,50	0,14	0,2,39	1,10	50,00
Parede	Norte	003 Novo Bloco Tér...	PAREDES	98,26	0,14	0,2,39	1,10	50,00
Parede	Sul	003 Novo Bloco Tér...	PAREDES	83,79	0,14	0,2,39	1,10	50,00
Parede	Oeste	003 Novo Bloco Tér...	PAREDES	81,77	0,14	0,2,39	1,10	50,00
Parede	Leste	003 Novo Bloco Tér...	PAREDES	81,75	0,14	0,2,39	1,10	50,00

Limite de área: 0,00 m<sup>2</sup>

Fonte: o autor, 2022.

Figura 7 - Janela de exportação para gbXML do Revit permite sobrepôr a porcentagem de área de aberturas.

Configurações avançadas de energia

Parâmetro	Valor
<b>Modelo detalhado</b>	
Porcentual de destino da vidraça	0%
Altura de destino do parapeito	0.7500
A vidraça está sombreada	<input type="checkbox"/>
Profundidade da sombra	0.4572
Porcentual de claraboias do destino	0%
Largura e profundidade da clarabóia	0.9144
<b>Dados de construção</b>	
Tipo de construção	Escola ou Universidade
Tabela de operações de construção	Padrão
Sistema AVAC	Ventilação/Ar-condicionado central, Aquecimento HW, Resfriador 5,9
Informações sobre o ar exterior	<a href="#">Editar...</a>
<b>Ambiente/Espaço de dados</b>	
Exportar categoria	Ambientes
<b>Propriedades térmicas do material</b>	
Tipos conceituais	<a href="#">Editar...</a>
Tipos esquemáticos	<Construção>
Elementos detalhados	<input type="checkbox"/>

[Como estas configurações afetam a análise de energia?](#)

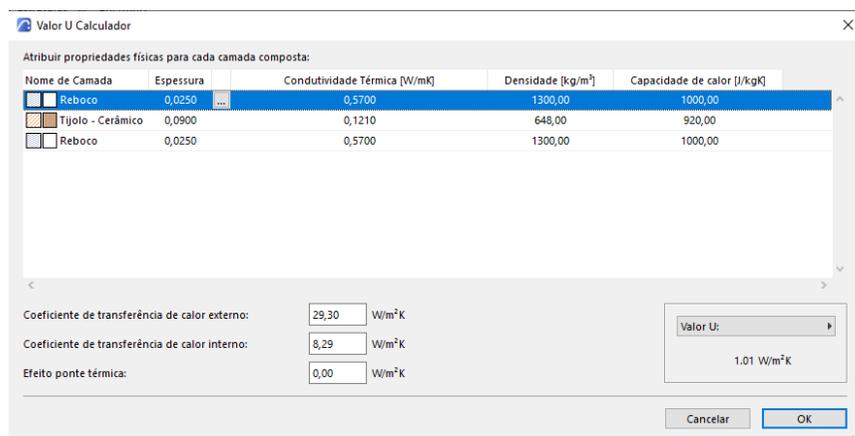
OK Cancelar

Fonte: o autor, 2022.

Outra propriedade relevante é a capacidade térmica (CT), expressa em kJ/m<sup>2</sup>K, que é calculada multiplicando-se a espessura, densidade e a capacidade de calor de cada camada que compõe o elemento construtivo, como

observado na figura 08, que apresenta a janela que expõe esses valores, sendo que esses fatores do cálculo também influenciam a transmitância térmica (U). Dessa forma, capacidade térmica também não pode ser inserida manualmente nos softwares, chegando a não aparecer expressamente calculada no Archicad, mesmo que os fatores que a compõem possam ser alterados.

Figura 8 - Janela de cálculo da Transmitância Térmica do Archicad



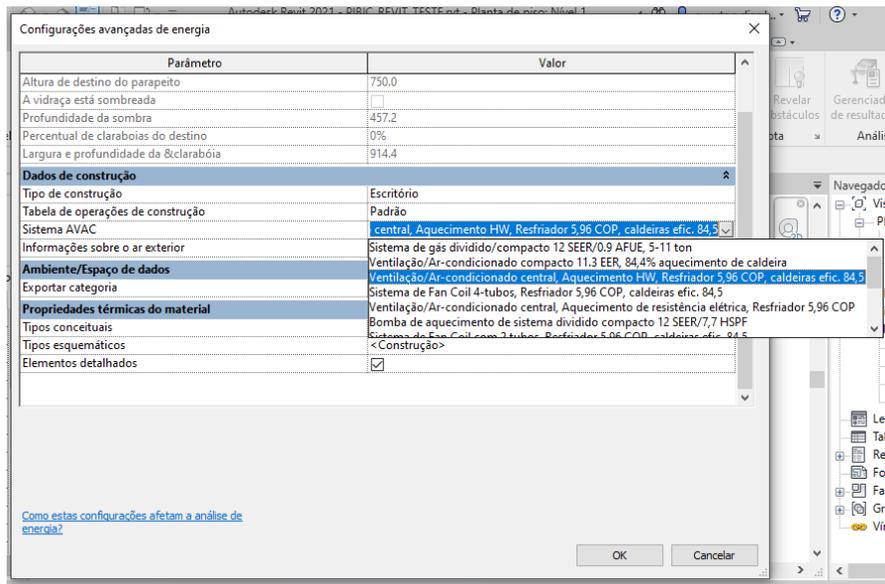
Fonte: o autor, 2022.

Considerando um padrão de pessoas/m<sup>2</sup> dependendo da tipologia, ambos os softwares permitem a configuração de uso e ocupação adequados à norma, enquanto o REVIT ainda permite atribuir porcentagens do valor total a cada hora do dia, indicando, por exemplo, que às 12h, estarão 100% das pessoas possíveis, enquanto às 8h estarão apenas 30% dessas, situação que a norma não exige, mas não é possível no Archicad, o valor é sempre fixo pelas horas do dia.

Por sua vez, o Archicad permite a alteração dos parâmetros de condicionamento de ar, tal qual a norma exige como referência para o Coeficiente de Performance (COP) (figura 10) e a temperatura *setpoint*, como mostra a figura 06, enquanto não foi possível alterar o COP no Revit, senão por opções já pré-definidas, algumas das quais podem ser observadas na figura 09, no leque expandido da janela configurações avançadas de energia.

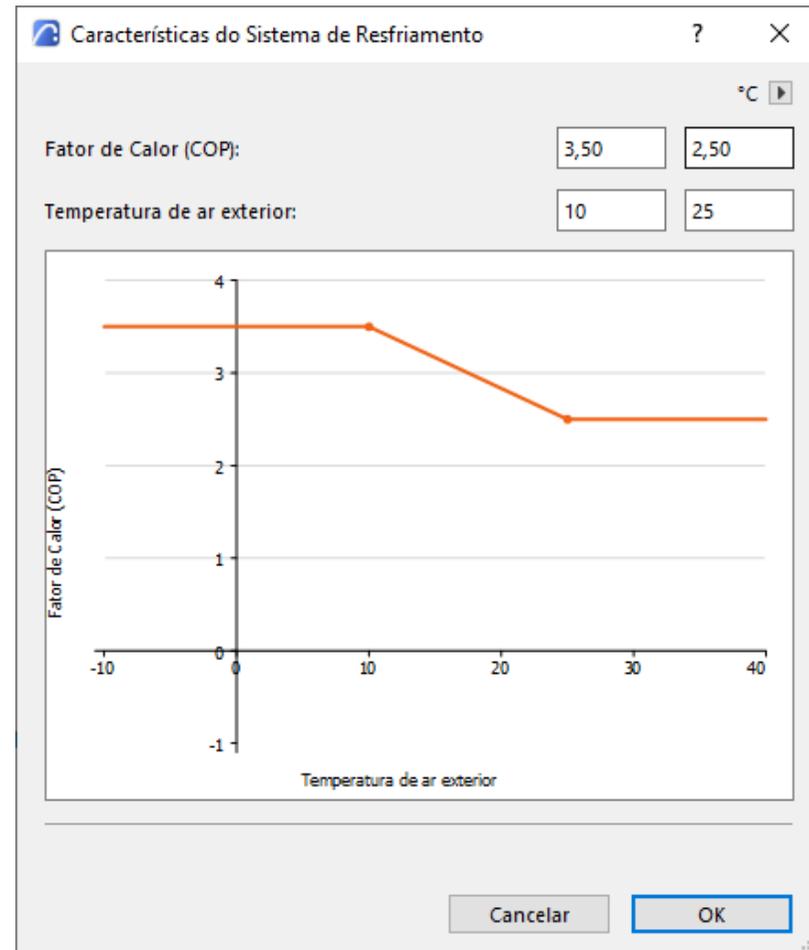
Em nenhum dos softwares é possível incluir facilmente os ângulos de sombreamento vertical e horizontal das janelas.

Figura 9 - Opções pré-definidas do sistema AVAC no REVIT



Fonte: o autor, 2022.

Figura 10 - Opções de definição do COP no Archicad



Fonte: o autor, 2022.

O quadro 1, a seguir, resume o atendimento dos programas às exigências da INI-C (PORTARIA Nº 42, BRASIL, 2021) para que seja simulada a edificação de referência, base da etiquetagem para a edificação real. Atender parcialmente indica que o programa apresenta os dados necessários para atender ao item, mas eles não são acessíveis ou tem sua alteração dificultada, comprometendo o fácil atendimento à norma. Enfim, o Archicad, por pouca diferença, foi escolhido para prosseguimento no trabalho, ainda que evidente que o mesmo apresenta limitações, chegando a não atender

adequadamente alguns dos parâmetros exigidos, o que evidencia possíveis problemas na simulação para atendimento à norma.

Quadro 1 - Comparativo de atendimento à INI-C dos programas para modelagem da edificação de referência

ITEM INI-C	REVIT	ARCHICAD	ITEM INI-C	REVIT	ARCHICAD
Fácil Alteração do percentual de área de abertura de fachada	Parcialmente	Não atende	Fator Solar do Vidro	Parcialmente	Atende
Composição da Parede	Atende	Atende	Trânsmitância do Vidro	Parcialmente	Atende
Transmitância da Parede Externa	Atende	Atende	Ângulo horizontal de sombreamento	Não atende	Não atende
Capacidade Térmica da Parede Externa	Parcialmente	Parcialmente	Ângulo vertical de sombreamento	Não atende	Não atende
Absortância da Parede	Parcialmente	Parcialmente	Iluminação e Ganhos	Atende	Atende
Transmitância da Cobertura	Atende	Atende	COP	Parcialmente	Atende
Absortância da Cobertura	Atende	Atende	<i>Setpoint</i>	Parcialmente	Atende
Capacidade Térmica da Cobertura	Parcialmente	Parcialmente			

Fonte: o autor, 2022.

# 05

## ESTUDO DE CASO PARA O EDIFÍCIO DO DEPARTAMENTO DE FÍSICA DA UFPE

### 5.1 O EDIFÍCIO ESCOLHIDO

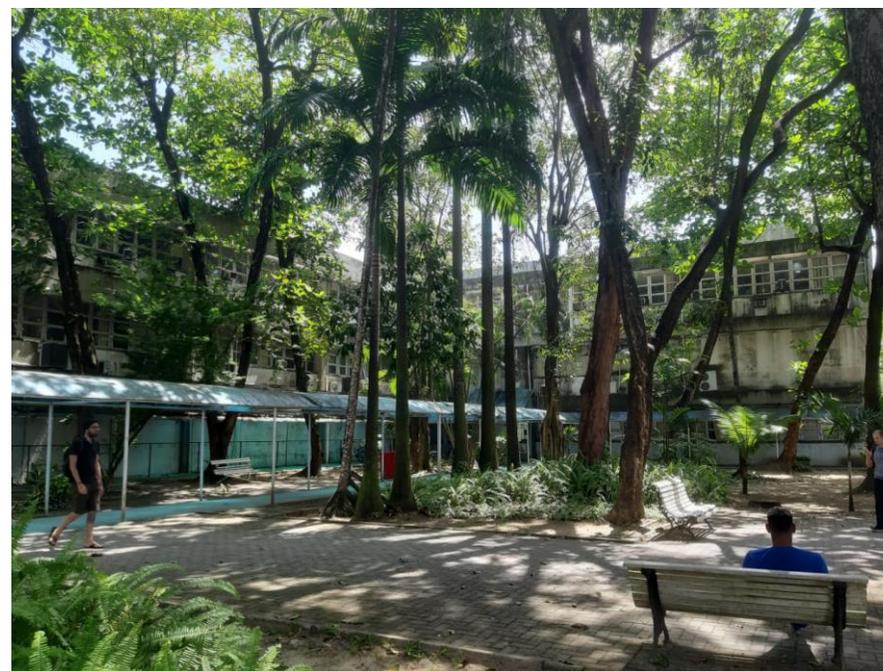
O edifício escolhido para estudo de caso foi o prédio do Departamento de Física do Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN) da Universidade Federal de Pernambuco (figura 11). A escolha desse edifício se deu em virtude da grande complexidade do prédio enquanto forma e, também, por ter sofrido várias reformas e ampliações ao longo de décadas, as quais se utilizaram de diferentes propostas projetuais e construtivas, o que permitirá testar em que medida essas diferentes reformas e ampliações

melhoraram ou não a eficiência energética do edifício. Vale ressaltar que a complexidade da forma do edifício, com inúmeros planos de fachada, disformidade da planta e alturas variadas confirma a possível vantagem da utilização da simulação computacional como forma de avaliação, haja vista que os métodos manuais sugerem demandar mais esforço para avaliação dada as condições da edificação.

Cabe destacar que a UFPE tinha sob sua responsabilidade cerca de duzentas e duas edificações até 2017, de acordo com a Coordenação de Cadastros de Bens e Imóveis (CCBI) da Superintendência de Infraestrutura da UFPE. A grande maioria desses edifícios, segundo o CCBI, têm características comuns ao edifício estudado como diversas ampliações e reformas sem um controle para soluções projetuais e construtivas mais assertivas. Logo, essas similaridades nos projetos, nas reformas e ampliações podem indicar que as análises empreendidas no objeto

estudado podem ser replicadas para outras edificações da UFPE, sobretudo quando estudadas novas ampliações, ou novos edifícios completos.

Figura 11 – Foto evidenciando as fachadas da lâmina principal, em L, do Departamento de Física da UFPE.



Fonte: o autor, 2022.

A lâmina principal do edifício tem características do estilo brutalista, com a exposição do concreto aparente, volumes e formas geométricas e puras, além de uma preocupação com as questões bioclimáticas da região, evidenciadas pela introdução de brises verticais e horizontais nas fachadas (FIGURA 12).

As diferentes reformas e ampliações apresentam características distintas que não remetem à um estilo arquitetônico consolidado, apresentando traços contemporâneos às construções que não exprimem apelo estilístico, configurando módulos com razão visivelmente funcional (FIGURA 13), seja na forma do volume, ou na disposição das esquadrias.

As expansões não seguem um ornamento regular, dispendo os novos módulos em diferentes direções conectando-os através de corredores ligantes, os quais, em determinados

locais, por conta da diferença de altura entre os pavimentos dos módulos, ocasiona rampas entre os pisos.

Figura 12 – Imagem da fachada do edifício do Departamento de Física, apresentando os *brises* em concreto armado sobre as janelas.



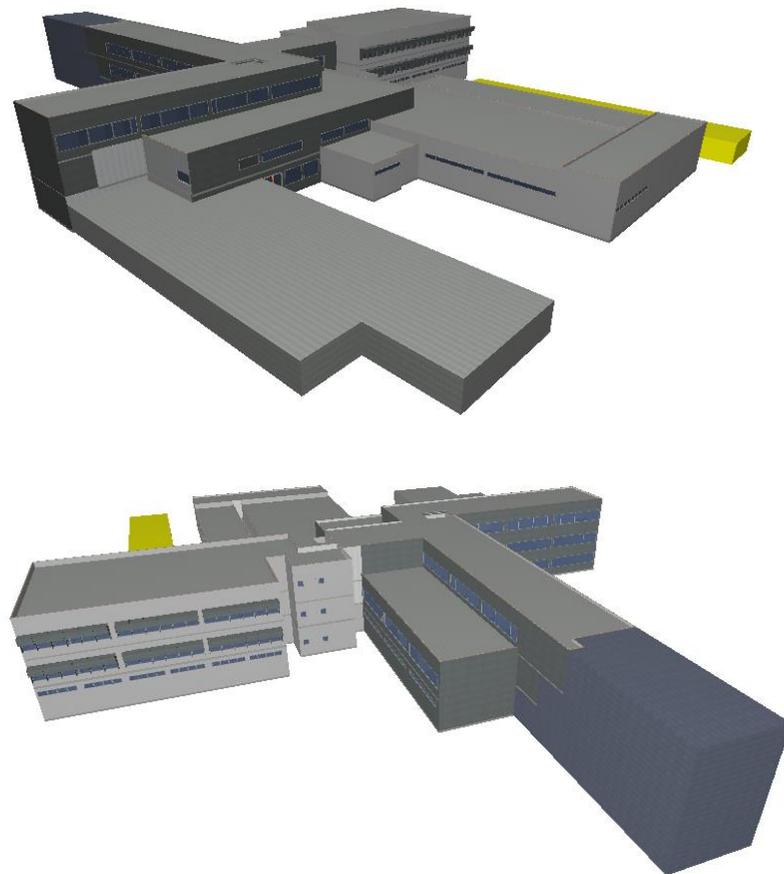
Fonte: o autor, 2022.

Figura 13 – Módulos mais recentes da edificação que não se assemelham esteticamente ao edifício principal do Departamento de Física da UFPE.



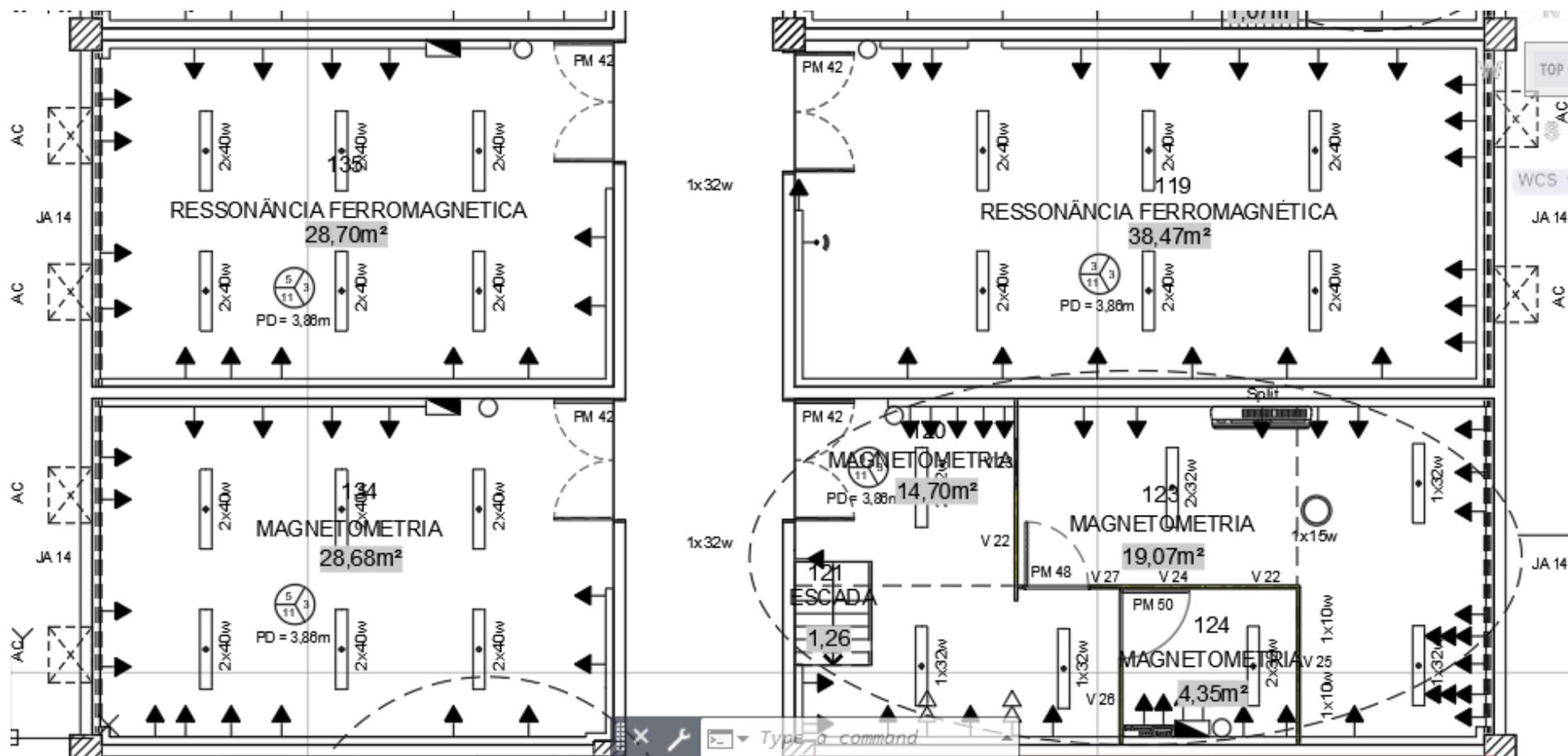
Fonte: o autor, 2022.

Figura 14 -Imagens do modelo 3D evidenciando as diferentes formas e planos de fachada do edifício.



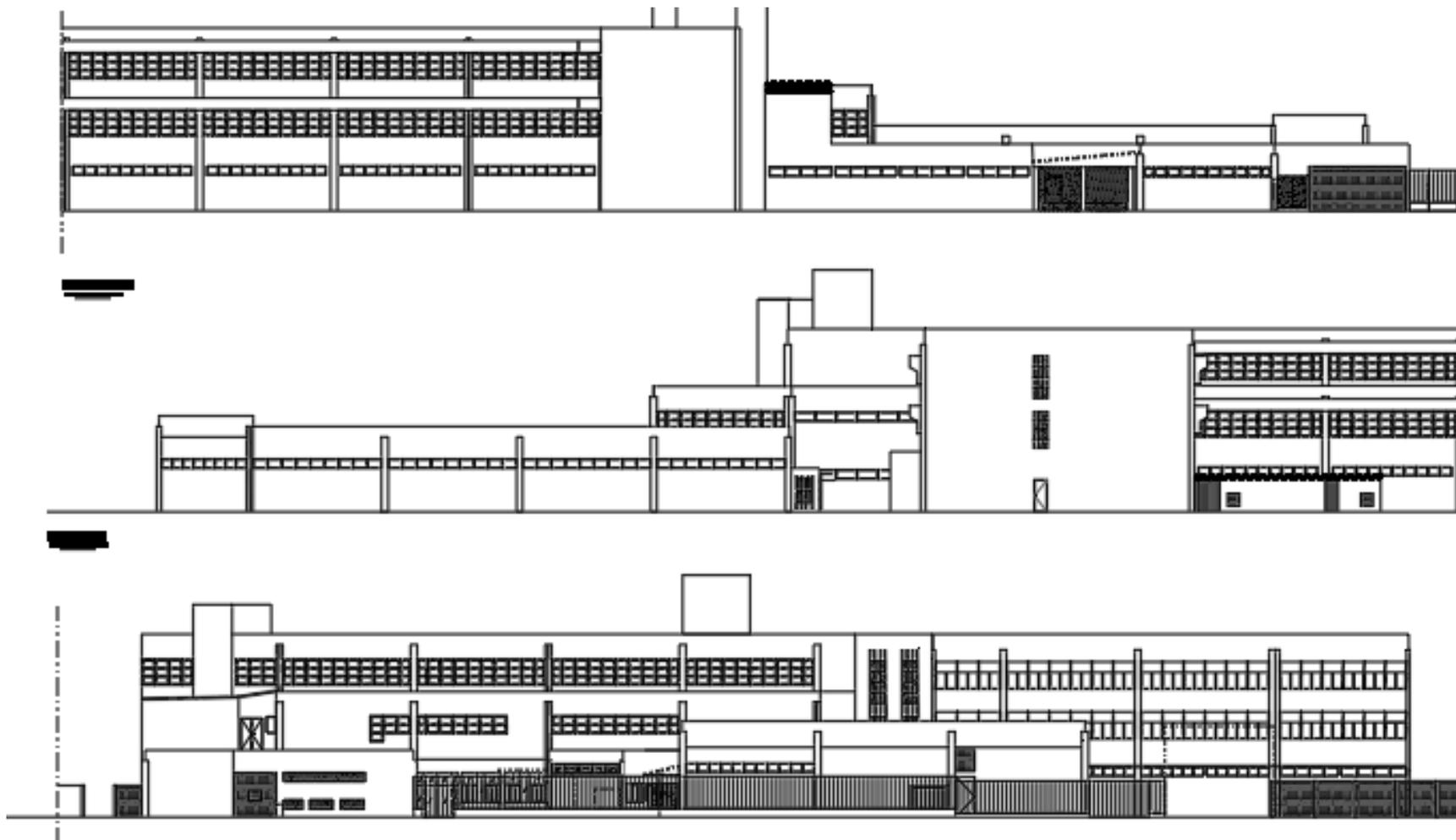
Fonte: o autor, 2022.

Figura 15 – Recorte da planta do CCEN em CAD, disponibilizada pelo CCBI, evidenciando as informações disponíveis.



Fonte: o autor, a partir de projeto disponibilizado pelo CCBI em 2022.

Figura 16 - Recorte das fachadas do CCEN em CAD, disponibilizada pelo CCBI



Fonte: o autor, a partir de projeto disponibilizado pelo CCBI em 2022.

## 5.2 PROCESSO DE MODELAGEM BIM

De início, é importante relatar que a Graphisoft, desenvolvedora do Archicad, disponibiliza o endereço [help.graphisoft.com](http://help.graphisoft.com), o qual instrui sobre a utilização do Archicad, incluindo as ferramentas de avaliação energética. Sobre este assunto, a página dispõe sobre convenções de modelagem gerais para uma avaliação bem sucedida, solicitando questões como:

a utilização de malha para modelagem do terreno;

utilização de composições de elementos como parede e cobertas e não de paredes justapostas (modelagem cebola) para que seja possível o cálculo automático dos parâmetros da forma correta;

criação das zonas a partir do método de construção de zonas Interno da Aresta;

assegurar que o limite superior da zona encoste na laje ou cobertura;

separar as zonas por piso, mesmo que haja vãos que perpassem todo o edifício, como no caso das escadas;

Observando as recomendações, o desenvolvimento do modelo BIM do edifício do Departamento de Física da UFPE se deu a partir das plantas baixas, cortes e fachadas desenhados em CAD pela coordenação de cadastro de bens e imóveis (CCBI) da UFPE, setor responsável pelo cadastramento de todas as edificações próprias ou sob responsabilidade da UFPE. Os arquivos em extensão proprietária DWG apresentam a geometria da edificação em duas dimensões, incluindo a disciplina de arquitetura com pontos elétricos e pontos hidráulicos. Pode-se considerar os

elementos da disciplina de arquitetura como componentes de um projeto básico de arquitetura, de acordo com a NBR 13532:1995, ao passo que apresentam especificações de portas, janelas, bancadas, divisórias, pilares, brises, escadas, revestimento de piso, parede e teto, pontos de iluminação, interruptores, tomadas, ar condicionado e ventiladores, todos com as suas potências estimadas, além de indicar os pontos de torneiras, bacias, chuveiros, ralos, caixas de gordura, de passagem e de esgoto.

Todas as edificações cadastradas pelo CCBI seguem o mesmo padrão de levantamento, incluindo todos os elementos mencionados, sendo obrigatório o cadastramento de todas as plantas da edificação, além de, no mínimo quatro fachadas e dois cortes verticais.

A fim de atender às expectativas deste trabalho, adotou-se a utilização do nível de detalhamento 300 (LOD 300),

conforme indicado no resumo metodológico, por considerar que este atende às necessidades da simulação planejada.

Conforme explicitado no capítulo quatro, a INI-C (PORTARIA Nº 42, BRASIL, 2021), para o processo de simulação, exige-se a modelagem de duas edificações, uma modelagem com as características reais da edificação, e outra modelagem com os parâmetros de referência definidos pela norma.

### 5.2.1 DEFINIÇÃO DOS DIFERENTES MÓDULOS DE CONSTRUÇÃO

Como pontuado no início, este trabalho não tem a intenção de prover um conteúdo histórico a nível científico sobre a edificação em questão, sobretudo pois uma pesquisa de tal caráter demanda um aprofundamento ímpar, digno de outros trabalhos completos. Desta forma, a divisão da edificação por módulos se deu principalmente de forma

empírica, a partir de um olhar analítico sobre os projetos e as características distintas de cada bloco observadas in loco, como a espessura das paredes, juntas que denotam ligação entre dois módulos com revestimentos, pés direitos e partidos diferentes, composição das fachadas, diferenças de nível claramente não propositais, além de relatos de funcionários antigos, os quais indicavam as sucessivas ampliações como módulos recentes, posteriores à chegada destes ao edifício.

Desta forma, foram identificados oito módulos, (figura 14), dos quais dois (verde e amarelo) não serão trabalhados nesta pesquisa, por apresentarem condições de ventilação que pouco estabelecidas e identificáveis.

O **módulo um**, destacado na cor vermelha, representa a lâmina original do edifício. Identificada como em estilo brutalista. Com revestimento externo em concreto

aparente, a lâmina denota as características de volumes puros e modulares do movimento, adicionadas às preocupações bioclimáticas evidenciadas, sobretudo, pela disposição de brises horizontais e verticais.

O **módulo dois**, em verde, representa a parte de mecânica e máquinas, onde se encontram as máquinas de refrigeração, por apresentar muitas regiões não refrigeradas e pouca regularidade, além de configurar um pavimento térreo, preferiu-se não a inserir neste trabalho

O **módulo três**, em roxo, apresenta, principalmente, salas de aula e laboratórios, com característica particular de ter diversos mezaninos, os quais não foram modelados pela irregularidade destes.

O **módulo quatro**, em azul, é composto por construções mais recentes para abrigar salas de pesquisa e laboratórios, uma ampliação do módulo três.

O **módulo cinco**, em marrom, configura uma tipologia que claramente difere do prédio principal e dos outros módulos, configurando como uma das maiores ampliações, sobretudo por apresentar três pavimentos, mantendo a utilização de brises, em leste e oeste desta vez. Comporta laboratórios no térreo e, sobretudo, salas de aula no primeiro e segundo pavimentos.

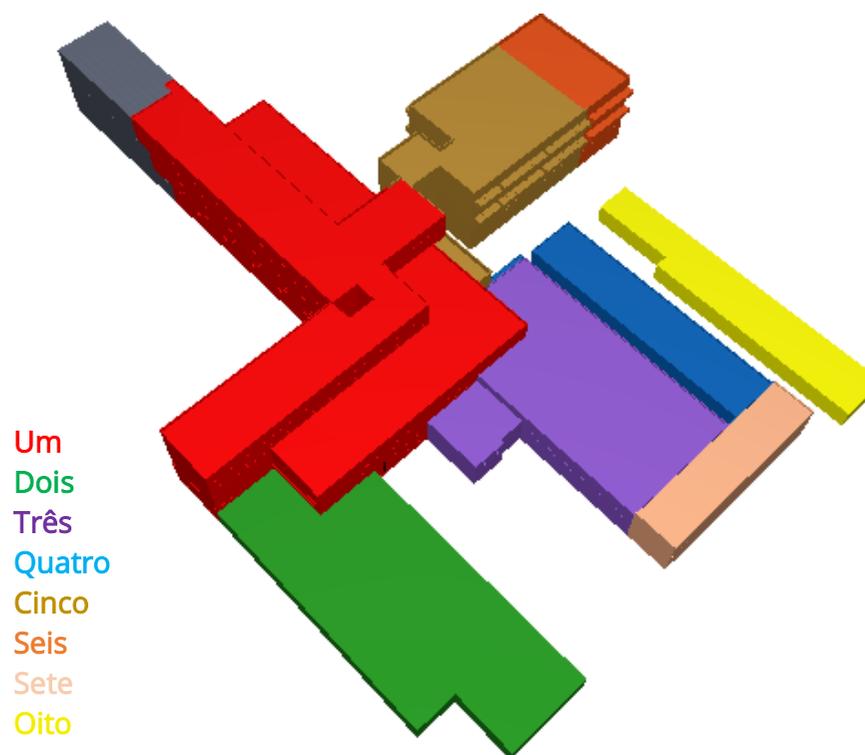
O **módulo seis**, em laranja, segue as mesmas características do módulo cinco, configurando como uma ampliação praticamente uma continuação deste.

O **módulo sete**, em rosa, é a construção mais recente, uma ampliação dos módulos três (roxo) e quatro (azul), configura um dos maiores pés direitos do edifício, executado para comportar novos laboratórios.

O **módulo oito**, em amarelo, não será estudado, mas configura um galpão não refrigerado para depósito de

objetos obsoletos e antigos, acoplado a um módulo onde se encontra a subestação do prédio.

Figura 17 - Sobreposição gráfica indicando os 8 módulos identificados



Fonte: o autor, 2022.

### 5.2.2 MODELAGEM BIM DO EDIFÍCIO REAL

Inicialmente, deve-se recordar que se entende por elemento construtivo paredes, lajes, janelas, portas, cobertas, e que a composição dos elementos construtivos se dá pela junção dos materiais componentes destes, logo tem-se como exemplo que uma parede pode ter como composição argamassa + chapisco + tijolo cerâmico de oito furos + chapisco + argamassa. Desta forma, tomando o mesmo exemplo, uma composição que acrescente revestimento cerâmico à uma das faces ou que remova, ou aumente a espessura de quaisquer uma das camadas configurará uma nova composição para o elemento parede.

Para a elaboração do modelo real, conforme é executado em um projeto de arquitetura, são definidas as camadas dos elementos construtivos da edificação, dos quais as características Físicas dos materiais componentes e as suas

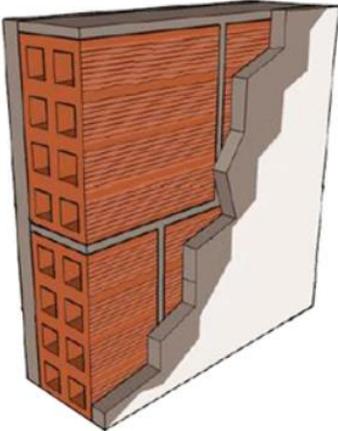
espessuras, volumes e posicionamento conformarão o cálculo das propriedades Físicas desses elementos como um todo.

Um plataforma de auxílio a obtenção desses cálculos é o Projeteer - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes (2022), o qual é uma “plataforma nacional que agrupa soluções para um projeto de edifício eficiente, com intuito de dar continuidade ao trabalho desenvolvido pelo PROCEL/Eletróbras e a Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC” e que disponibiliza diversos exemplos de composições de componentes construtivos comuns aos projetos brasileiros (FIGURA 15), indicando as propriedades Físicas desses elementos já calculados, a fim de facilitar a reunião dos dados necessários para os cálculos da INI-C.

Figura 18 - Exemplo de componente construtivo disponível no site do Projeteer.

Componentes

Argamassa interna 2.5 cm | Bloco cerâmico 9x19x19 cm | Arg...



**Paredes**  
**Argamassa interna 2.5 cm | Bloco cerâmico 9x19x19 cm | Argamassa externa 2.5 cm**

Resistência  
**0.42** m<sup>2</sup>K/W

Transmitância  
**2.37** W/m<sup>2</sup>.K

Atraso Térmico  
**3.3** h

Capacidade Térmica  
**151** kJ/m<sup>2</sup>K

VOLTAR PARA COMPONENTES

Fonte: Projeteer, 2022.

No entanto, conforme apresentado no capítulo 4 deste trabalho, o software escolhido para simulação, o Archicad, apresenta uma lista de materiais pré-definidos condizentes com as características observadas no levantamento do

Projeteer, variando, porém, não destoando totalmente. Desta forma, considerando que o Archicad calcula automaticamente as propriedades Físicas do elemento a partir da composição definida (espessura e materiais) e que é comum que os projetos básicos desenvolvidos em BIM já apresentem as composições dos elementos definidas com seus respectivos materiais, objetivando simplificar o processo, utilizou-se os materiais pré-configurados disponíveis nativamente na versão brasileira do Archicad para a modelagem do edifício real, não sendo inseridos novos materiais. Sobre este ponto, é válido pontuar que o Archicad permite a criação de novos materiais, bem como permite a inserção de todas as propriedades Físicas destes, de forma que seja possível o cálculo automático de qualquer material criado corretamente.

Ainda, considerando que o edifício apresenta inúmeros revestimentos internos e externos com características e

propriedades diferentes, unificou-se as composições dos elementos de forma a permitir o desenvolvimento do trabalho dada as dimensões do edifício, ainda que evitadas simplificações consideradas drásticas, como a indicação de revestimento cerâmico em paredes com concreto exposto.

Logo, resumem-se fatos como que as paredes com revestimento cerâmico foram modeladas como tal, porém sem diferenciação entre os revestimentos, considerando que não foram construídas paredes com revestimentos com características que apresentassem distinção relevante entre si, mesmo fato que se aplica a pinturas, rebocos, pisos e cobertas.

Para elaboração do modelo destinado à simulação termoenergética a partir do modelo BIM da edificação real, foram necessários ajustes como remoção dos pilares e vigas, com posterior adequação da delimitação das zonas, a

fim de mitigar os erros relativos à falta de contato das zonas com as paredes compostas.

Sobre a modelagem das cobertas, é importante ressaltar que o Archicad apenas considera como coberta a ferramenta de coberta em si, logo, em um último piso, para que seja compreendido pelo motor de simulação do software, o teto deve ser modelado como coberta, mesmo que seja uma laje.

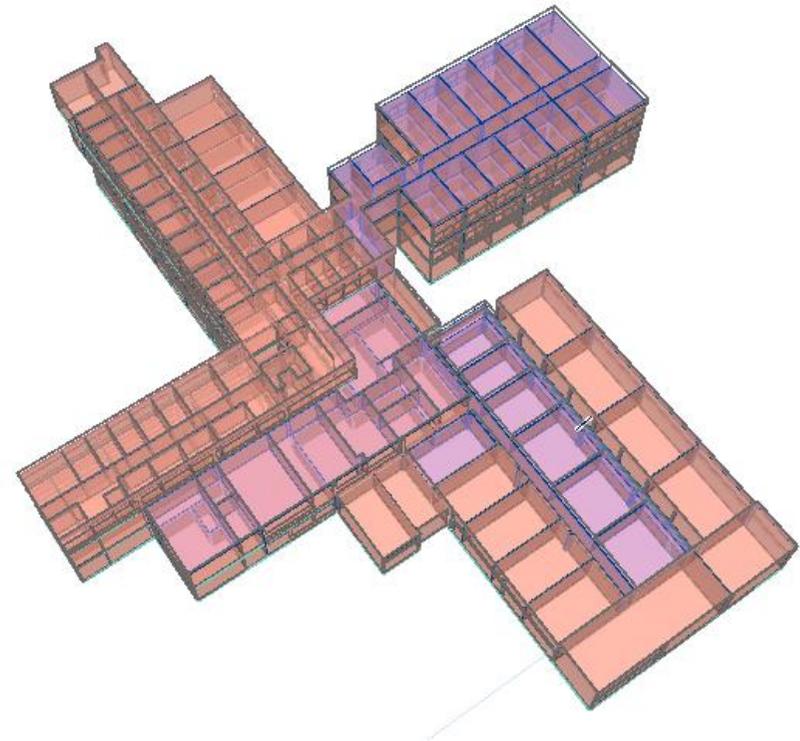
As esquadrias também foram simplificadas, não sendo representadas de forma completamente fiel ao edifício real. Isso porque mesmo que a relação entre a área de caixilho e vidro seja considerada nos cálculos do Archicad, considerou-se de pouca relevância a modelagem detalhada das esquadrias, haja vista que a própria INI-C (PORTARIA Nº 42, BRASIL, 2021) considera mais relevante as características do vidro, o qual foi considerado o vidro padrão do Archicad,

pois, de fato, a edificação não utiliza vidros especiais como esquadrias de vidro duplo, ou com películas especiais de proteção solar como de Polivinil Butiral (PVB).

Pontuando, também, que não é possível identificar os materiais que compõem o núcleo dos elementos, considerou-se todas as lajes como maciças em concreto armado, enquanto o núcleo das paredes em alvenaria foi definido como tijolos cerâmicos de oito furos.

O Archicad ainda permite sobreposições ao modelo de simulação que mostram, por exemplo, as zonas as quais não apresentam cobertura, como aquelas em que a zona não encosta na coberta modelada, o que é necessário correção para não ocasionar erros na simulação, como exemplifica a figura 16, onde a seleção azul estão as zonas destacadas como sem cobertura pois estavam com uma altura menor que a real e não faceavam a coberta.

Figura 19 - Modelo de simulação termoenergética evidenciando as zonas sem cobertura no Archicad.



Fonte: Autor, 2022.

#### 5.2.2.1 ENTORNO

A edificação do Departamento de Física é acoplada à edificação do Departamento de Matemática representado em cinza. A junção de outros edifícios próximos conforma um pátio interno repleto de árvores e vegetações que influenciam, sobretudo, a lâmina principal do edifício, tais vegetações não serão modeladas com o objetivo de tratar apenas dos edifícios que tem influência sobre o Departamento de Física, neste caso, parte do edifício de Matemática.

### 5.2.3 MODELAGEM BIM DO EDIFÍCIO DE REFERÊNCIA

Como explicitado, de acordo com a INI-C (PORTARIA N° 42, BRASIL, 2021), o edifício de referência deve manter a geometria da edificação real, inclusive o entorno, excluindo elementos de beneficiamento como brises. No entanto, devem ser atribuídos parâmetros pré-definidos pela norma de acordo com a tipologia da edificação.

Tratando-se do Departamento de Física da UPFE, o edifício se enquadra na tipologia da tabela A.2 para edificações educacionais de ensino superior, categoria utilizada para todo o edifício.

Deve-se pontuar que a edificação não apresenta percentual de aberturas zenitais (PAZ), logo, não são aplicáveis as instruções da norma sobre o tema.

A norma exige que o PAF – Percentual de área de abertura da fachada seja de 40% para a edificação de referência, considerando que a edificação real tem 8%, e que o Archicad não permite alterar esse fator de forma abstrata, as janelas existentes foram ampliadas ao máximo possível, a fim de que não fossem incluídas janelas em paredes que não existem para suprir o percentual da norma, no entanto, o total possível obtido foi de 18%.

Também, a fim de não alterar a geometria do edifício, a transmitância dos elementos construtivos foi alterada em seu valor absoluto e não na composição dos elementos, como a norma sugere, pois tal fator alteraria a geometria completa do edifício, haja vista que as espessuras das composições solicitadas pela norma para a edificação de referência são diferentes daquelas empregadas na edificação real, o que implicaria em um redesenho de todas as zonas do edifício, bem como da adequação dos encontros das paredes.

## 5.3 SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA NO ARCHICAD

### 5.3.1 DADOS CLIMÁTICOS E INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Para a simulação termoenergética, deve-se definir corretamente a localização e o norte geográfico da edificação, sendo utilizadas as coordenadas 8° 3'22.48"S, 34°57'9.56"O, Altitude 9 metros, bem como a norma exige que sejam utilizados os arquivos climáticos disponibilizados pelo PBEedifica, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e que, caso não exista o arquivo para a cidade em questão, deve-se utilizar o arquivo da cidade mais próxima, com as características mais parecidas. Para a cidade do

Recife, há o arquivo específico em extensão .epw que é introduzido na janela de dados climáticos do Archicad (figura 17). Destaca-se, ainda, que edificação se encontra no grupo climático 17, de acordo com a tabela G.1 do anexo G da INI-C (PORTARIA N° 42, BRASIL, 2021).

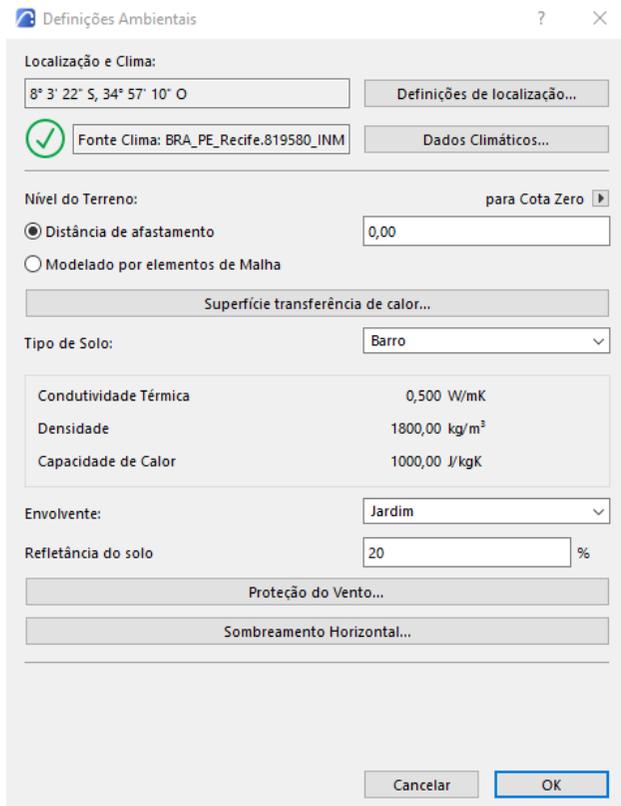
Também, há a janela de definições ambientais que traz parâmetros que não são exigidos pela norma, como o tipo de solo ao redor e qual o ambiente envolvente, se é um jardim, pavimentação, ou margem de água, mas que foi definido o mesmo para ambas as situações de simulação. (Figura 18). Além disso, a mesma janela apresenta definições de proteção do vento e de sombreamento horizontal que foram adotados também o padrão do software para ambas as simulações.

Figura 20 - Janela dos dados climáticos do motor de simulação do Archicad 25.



Fonte: o autor, 2022.

Figura 21 - Janela de definições ambientais do Archicad 25.



Fonte: autor.

### 5.3.2 BLOCOS TÉRMICOS

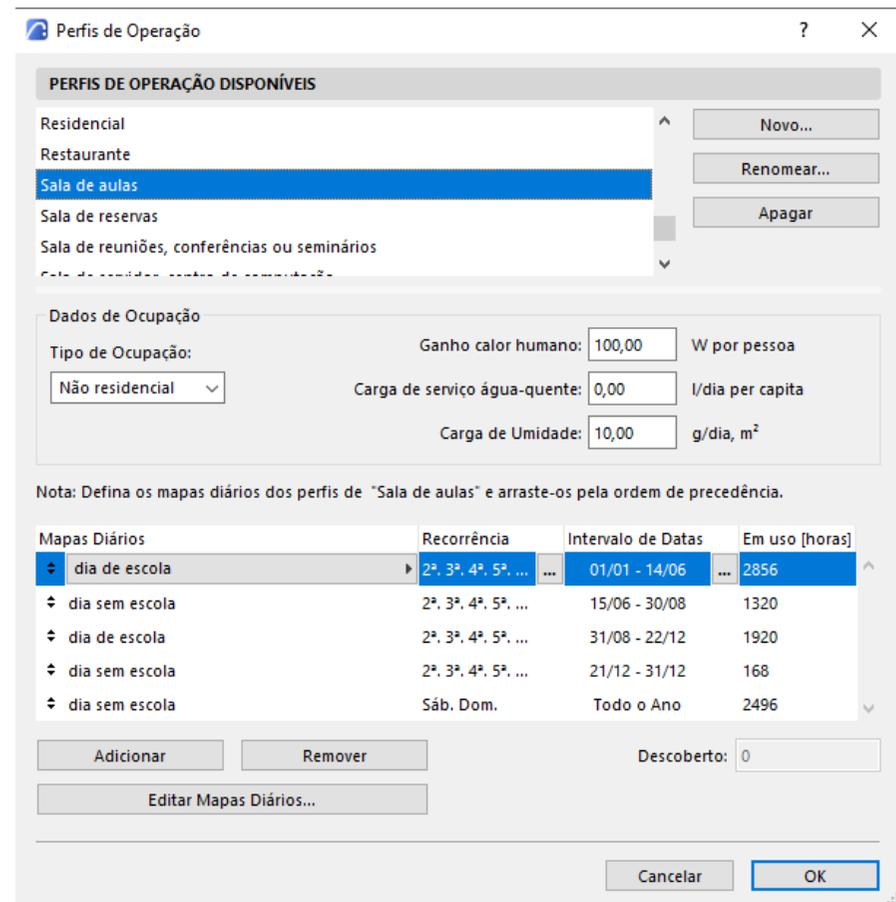
Outro fator determinante para o cálculo da eficiência energética é a definição dos blocos térmicos os quais as zonas irão pertencer. Além de características geométricas, como área, volume, elementos inseridos na zona, sentido geográfico das faces, que são automaticamente atribuídos ao objeto BIM zona assim que modelada em 3D, é necessário definir o **perfil de operação** e as **características dos sistemas construtivos** do edifício que irão definir fatores como a ventilação ou condicionamento de ar de cada bloco térmico.

### 5.3.3 PERFIS DE OPERAÇÃO

Os perfis de operação atribuem informações à zona que determinam características de utilização daquele ambiente, como dias da semana os quais terão atividade, incluindo a possibilidade de informar o nível de atividade por horário

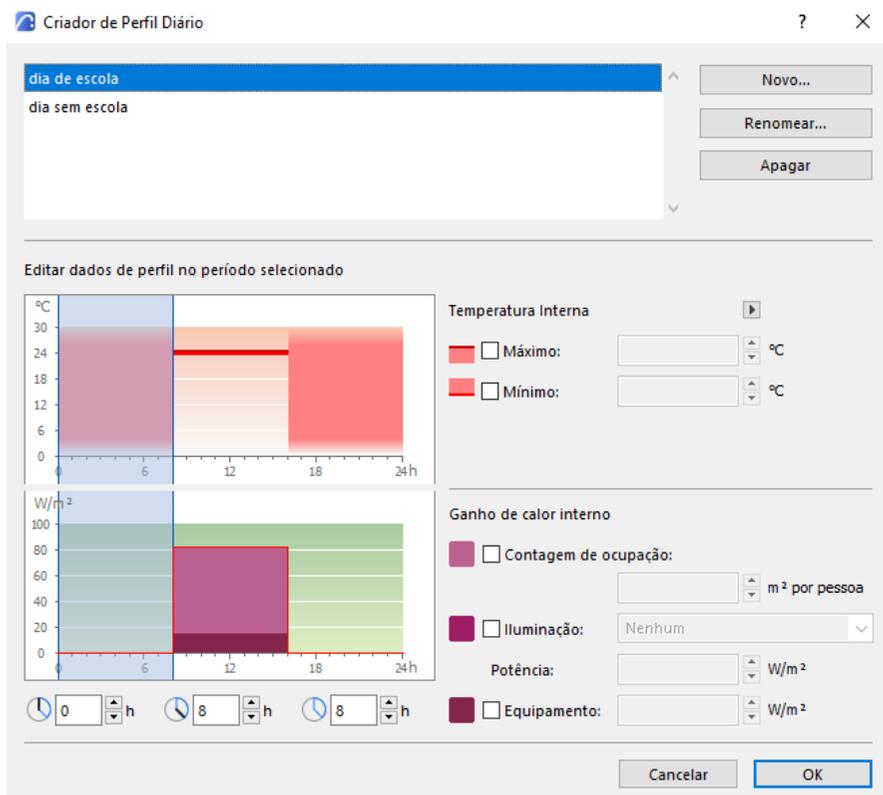
do dia, gerando uma definição anual do perfil de operação. É neste elemento que também são atribuídas as informações sobre a temperatura esperada no ambiente, a depender do dia e da utilização, além dos ganhos de calor interno, que variam a depender dos equipamentos e iluminação empregado, bem como da quantidade de pessoas por metro quadrado (FIGURAS 19) a depender da hora de utilização e o dia com ou sem aula, por exemplo (FIGURA 20).

Figura 22 - Janela de perfis de operação do Archicad 25



Fonte: o autor, 2022.

Figura 23 - Janela de criação dos perfis diários com exemplo do perfil de Salas de Aula.



Fonte: o autor, 2022.

Foi criado um novo perfil de operação baseado na Tabela A.2 - Valores de referência para edificações

educacionais da INI-C (PORTARIA Nº 42, BRASIL, 2021), com parâmetros que estão dispostos na Tabela X - Parâmetros Reais e de Referência adotados para este trabalho.

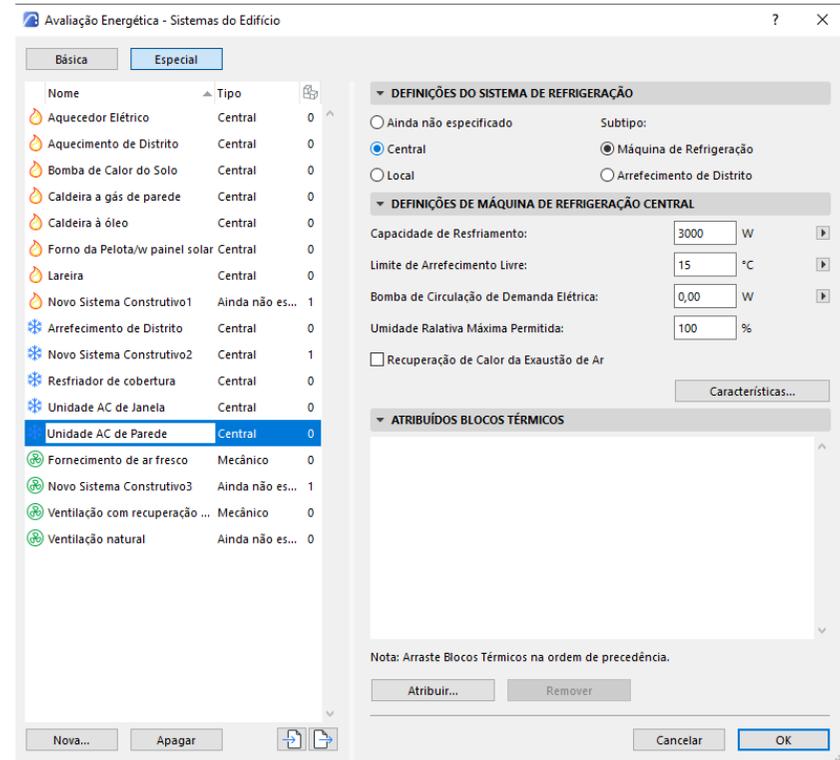
Tabela 1 - Parâmetros Reais e de Referência adotados (baseado na tabela A.2 da INI-C)

Parâmetro	Condição Real	Condição de Referência
Iluminação e Ganhos		
DPI - Densidade de Potência de iluminação (W/m <sup>2</sup> )	5,0 (Fluorescente)	15,5
Ocupação (m <sup>2</sup> /pessoa)	1,5	1,5
DPE - Densidade de Potência de Equipamentos (W/m <sup>2</sup> )	15,0	15,0
Horas de ocupação (horas)	8,0	8,0
Dias de ocupação (no ano)	200	200
Condicionamento de Ar (refrigeração)		
COP - Coeficiente de Performance (W/W)	3,5 para 20°C 2,5 para 35°C (padrão Archicad)	2,6
Temperatura setpoint (°C)	24,0	24,0

### 5.3.4 SISTEMAS DO EDIFÍCIO

Os sistemas do edifício são aqueles responsáveis por manter as condições de conforto do seu interior, caracterizados como os sistemas de aquecimento, refrigeração e ventilação natural ou mecânica. É aqui onde é definido o funcionamento do ar condicionado que, para o edifício de exemplo, tratando-se do modelo real, foi utilizado em todas as zonas refrigeradas o sistema padrão de unidade de ar condicionado de parede disponível na versão 25 do Archicad, e nas zonas sem refrigeração, o sistema de ventilação natural, considerando que, mesmo que seja possível a alteração do sistema para igualar às condições reais de cada ambiente individualmente, preferiu-se a padronização com vias a atender ao escopo do trabalho (FIGURA 21).

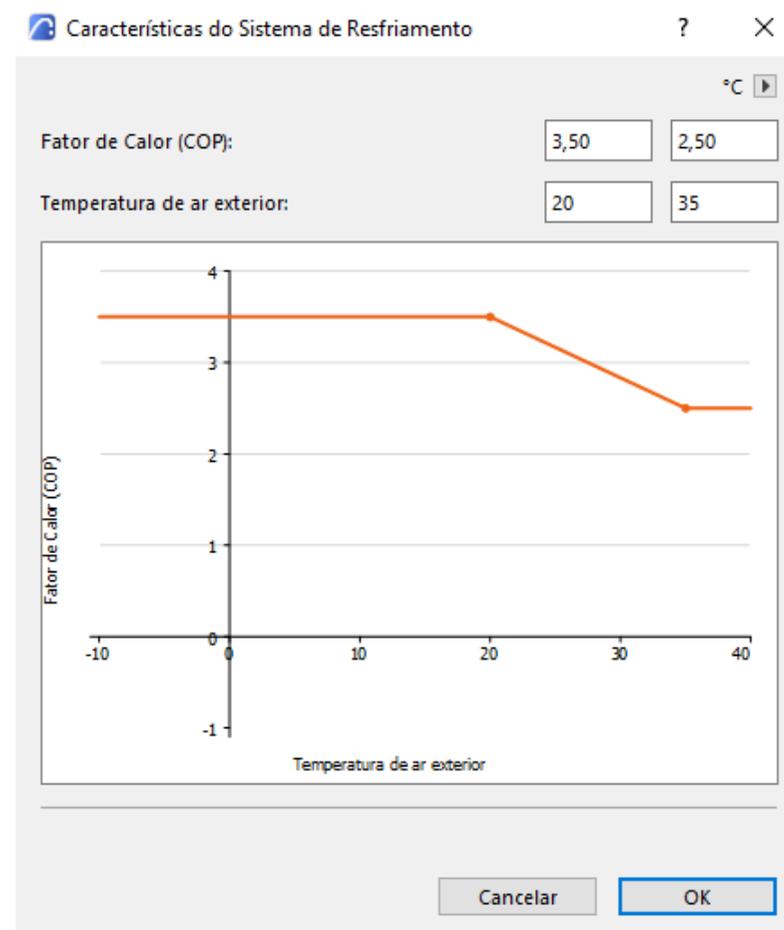
Figura 24 - Janela para definição dos Sistemas do Edifício



Fonte: autor, 2022.

Também, é possível atender a características mais específicas do sistema como a definição do fator de calor (COP), como explicitado no capítulo 4 (FIGURA 22), que para edificação real foi padronizado o valor uniforme do COP em 3,6, correspondente às unidades com classificação de eficiência energética A.

Figura 25 - Opções de definição do COP no Archicad

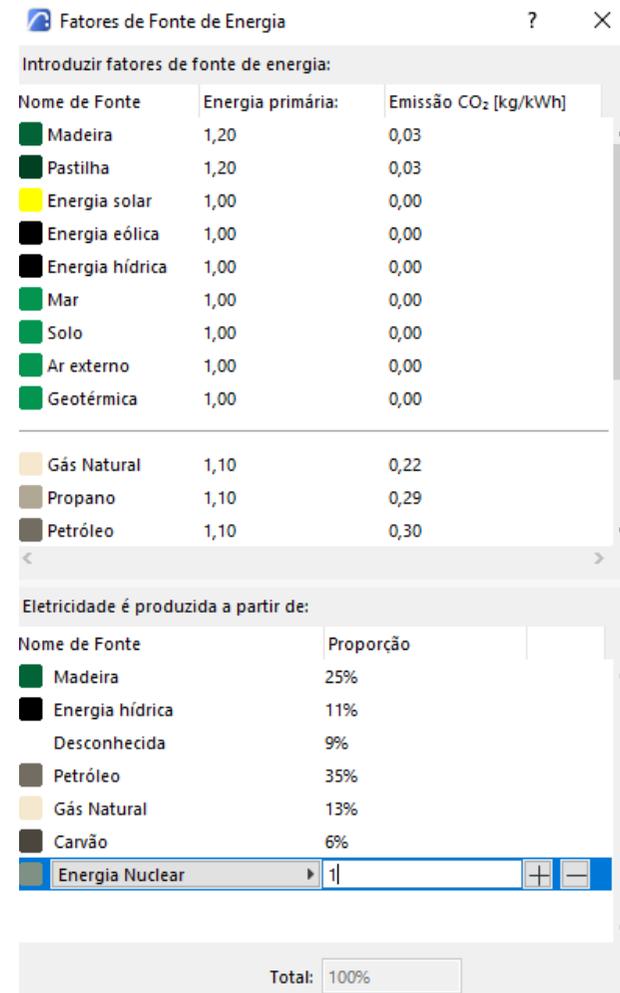


Fonte: autor, 2022.

### 5.3.5 FATORES DE FONTE DE ENERGIA

Na janela de fatores de fonte de energia, é possível indicar quais são as fontes de energia que abastecem o edifício, a fim de, posteriormente, indicar as emissões de carbono. Para o caso específico, serão indicados o percentual de fonte com base na matriz energética brasileira do Balanço Energético Nacional de 2022 (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022), que define: 16,4% Bio Massa, 11,0% Hidráulica, 8,7% Madeira, 8,7% Outras fontes renováveis, 34,4% Petróleo, 13,3% Gás Natural, 5,6% Carvão, 1,3% Urânio e 0,6% Outras fontes não renováveis (Figura 23).

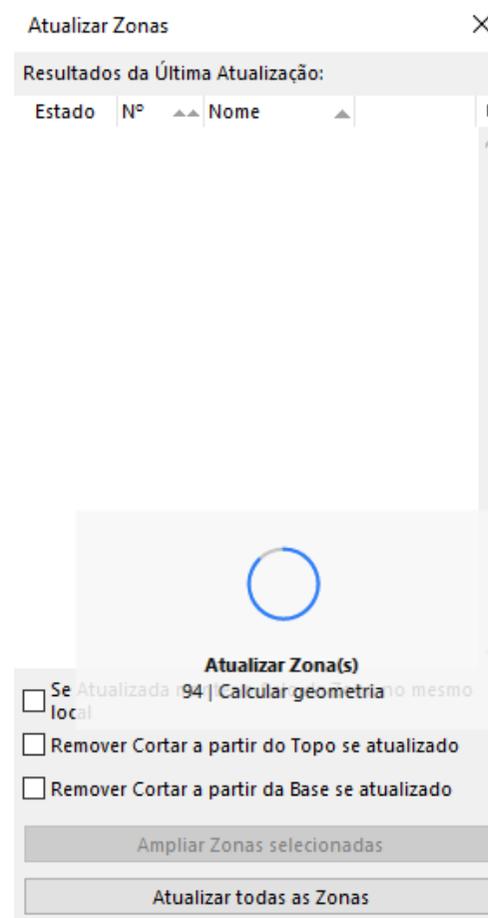
Figura 26 - Janela de fatores de energia do Archicad 25.



Fonte: o autor, 2022.

Uma questão importante, é que devem ser atualizadas todas as zonas sempre que houver qualquer modificação do modelo, antes da solicitação de avaliação da eficiência energética, pois o Archicad não permite avaliar sem que as zonas estejam atualizadas, conforme a janela de atualização de zonas (figura 24).

Figura 27 – Janela para atualização de zonas do Archicad 25.



Fonte: o autor, 2022.

### 5.3.6 RELATÓRIOS

Por fim, a simulação termo energética no Archicad 25 tem como resultado um arquivo em PDF que apresenta, dentre outras informações, os valores chave do edifício como áreas de fachada, volumes, percentual envidraçado, valores anuais específicos, bem como o consumo de energia por fontes (renováveis ou secundárias) e por objetivos (aquecimento, refrigeração, iluminação e equipamentos), destacando como informação principal para classificação da eficiência energética a quantidade de energia consumida em MWh/a, além de apresentar, também, o valor primário desta mesma energia.

## 5.4 CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PELA INI-C

A partir da simulação termo energética de ambos os modelos BIM da edificação real e de referência, tem-se o tópico 8 da INI-C (PORTARIA Nº 42, BRASIL, 2021), definido como os “procedimentos para a determinação da classificação de eficiência energética de edificações comerciais, de serviço e públicas”.

Como instrui a norma, a classificação geral deve ser realizada por meio do seu percentual de redução do consumo estimado de energia primária, a partir da comparação dos resultados entre a edificação real e a edificação de referência.

A norma também indica, no tópico 7, as condições que devem ser atendidas para elegibilidade para a classificação A, que diz respeito aos sistemas de condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água, os quais devem atender a determinados parâmetros, além do cálculo do consumo energético para que possam ser considerados como classificação A.

#### 5.4.1 CÁLCULO PARA CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA GERAL DO CCEN COMPLETO

A partir da simulação computacional de ambas as edificações real e de referência utilizando o Archicad 25, tem-se os resultados da figura 25 para edificação real e da figura 26 para edificação de referência em relação ao consumo energético destas por objetivo. É válido pontuar que o relatório expõe diferentes e variados dados que não estão sendo avaliados, como balanço energético e emissão

de CO<sub>2</sub>, haja vista que os dados do consumo energético são os solicitados pela norma para classificação.

Figura 28 - Consumo energético por objetivos da edificação real

Nome de Alvo	Energia			CO <sub>2</sub> Emissão kg/a
	Quantidade MWh/a	Primário MWh/a	Custo R\$/a	
Aquecimento	0	0	0	0
Refrigeração	4	10	947	265
Serviço Água Quente	0	0	0	0
Ventoínhas de ventilação	0	0	0	0
Iluminação & electrodomésticos	192	577	134700	37759
<b>Total:</b>	<b>197</b>	<b>587</b>	<b>135647</b>	<b>38024</b>

Fonte: o autor, 2022.

Figura 29 - Consumo energético por objetivos da edificação de referência

Nome de Alvo	Energia			CO <sub>2</sub> Emissão kg/a
	Quantidade MWh/a	Primário MWh/a	Custo R\$/a	
Aquecimento	0	0	0	0
Refrigeração	4	12	1311	367
Serviço Água Quente	0	0	0	0
Ventoínhas de ventilação	0	0	0	0
Iluminação & electrodomésticos	293	879	205104	57494
<b>Total:</b>	<b>297</b>	<b>891</b>	<b>206416</b>	<b>57862</b>

Fonte: o autor, 2022.

Desses resultados, nota-se uma possível incoerência ao observar que o consumo energético de refrigeração é apontado como extremamente inferior ao consumo de equipamentos e iluminação. Mesmo considerando uma iluminação do tipo fluorescente para a edificação real, em ambas as simulações, real e de referência, o resultado questionável é observado.

Desta forma, foram realizados testes modificando o fator COP do sistema de refrigeração, a fim de verificar se o mesmo considerava uma forma de cálculo que influenciasse os resultados de uma forma não esperada, no entanto, em todas as situações, o consumo referente à refrigeração permaneceu muito menor que aquele observado para iluminação e equipamentos.

Seguindo as instruções da norma, a “determinação da classificação da eficiência energética geral da edificação

deve ser feita com base no percentual de redução do consumo de energia primária (RedCEP) da edificação real em comparação à mesma edificação em sua condição” (PORTARIA Nº 42, BRASIL, 2021), dado pela seguinte fórmula:

$$RedCep = \left( \frac{(Cep,ref - Cep,real)}{Cep,ref} \right) * 100$$

Onde:

RedCEP é o percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e a condição de referência; CEP,ref é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

CEP,real é o consumo de energia primária da edificação em sua condição real (kWh/ano).

Por sua vez, o consumo de energia primária da edificação real (CEP,real) é calculado pela fórmula:

$$Cep,real = (Cee,real.fce) + (Cet,real.fct) - (Gee.fce)$$

Onde:

$C_{EP,real}$  é o consumo de energia primária da edificação real (kWh/ano);

$C_{EE,real}$  é o consumo total de energia elétrica da edificação real (kWh/ano);

$C_{ET,real}$  é o consumo total de energia térmica da edificação real (kWh/ano);

GEE é a energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano);

$f_{CE}$  é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

$f_{CT}$  é o fator de conversão de energia térmica em energia primária.

O fator de conversão de energia elétrica em energia primária é disponibilizado pela norma, sendo 1,6 para energia elétrica no Brasil.

Logo, tem-se:

$$C_{ep,real} = (197000 * 1,6) + 0 - 0$$

$$C_{ep,real} = 315.200 \text{ kWh/a}$$

Enquanto o consumo de energia primária da edificação de referência é dado pela fórmula:

$$C_{ep,ref} = (C_{ee,ref} * f_{ce})$$

Onde:

$C_{EP,ref}$  é o consumo de energia primária da edificação na condição de referência (kWh/ano);

$C_{EE,ref}$  é o consumo total de energia elétrica da edificação na condição de referência (kWh/ano);

$f_{CE}$  é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

Logo, tem-se:

$$C_{ep,ref} = (297.000 * 1,6)$$

$$C_{ep,ref} = 475.200 \text{ kWh/a}$$

Logo, tem-se o fator de redução pelo seguinte cálculo:

$$RedCep = \left( \frac{(475.200 - 315.200)}{475.200} \right) * 100$$

$$RedCep = 33,67\%$$

## 5.4.2 DEFINIÇÃO DA ESCALA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Primeiramente, deve-se obter o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A (CRCEpd-a), o qual é baseado no fator de forma da edificação pela equação 8.8:

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

Onde:

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

$A_{env}$  é a área da envoltória ( $m^2$ );

$V_{tot}$  é o volume total construído da edificação ( $m^3$ ).

Logo, tem-se:

$$FF = \frac{8100,39}{22651,3238}$$

$$FF = 0,3576$$

Por fim, para obtenção do CRCEpd-a é necessário consultar o grupo climático, com o fator de forma da edificação. Para esta edificação, o grupo climático é o 17, de acordo com a tabela G.1 do anexo G da INI-C (PORTARIA Nº 42, BRASIL, 2021), do qual, com o fator de forma em 0,3576, tem-se, pela tabela 8.3 da norma, um CRCEpd-a de 0,27.

A partir disso, de acordo com a norma, os intervalos de classificação do consumo de energia primária são definidos a partir da variável "i", determinada pela seguinte equação:

$$i = \frac{Cep,ref.CRCedp - a}{3}$$

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);

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

Logo, tem-se:

$$i = \frac{475.200 * 0,27}{3}$$

$$i = 42.768$$

Com isso, a “tabela 8.1 - Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral” (figura 27) da norma instrui sobre definição dos intervalos de classificação a partir do  $i$  descoberto.

Figura 30 - Definição dos limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral

**Tabela 8.1** – 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: PORTARIA Nº 42, BRASIL, 2021.

Considerando o  $i = 42.768$ , tem-se a tabela 2 com os limites dos intervalos de classificação geral para este estudo.

**Tabela 2** – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral para o CCEN

Classif. De Eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	$> 346896$	$> 389664$	$> 432432$	$> 475200$
Limite inferior	$\leq 346896$	$\leq 389664$	$\leq 432432$	$\leq 475200$	-

Fonte: o autor, 2022.

Desta forma, conforme a simulação da edificação real apresentou um consumo de energia primária de 315.200, a edificação estaria elegível, por esse critério, para classificação A.

No entanto, como explicitado, a norma exige, no tópico 7, as condições de elegibilidade para classificação A, solicitando informações complementares sobre o sistema de condicionamento de ar no item 7.1, Sistema de iluminação no item 7.2 e, no item 7.3, sobre o Sistema de aquecimento de água. O edifício não apresenta o sistema de aquecimento de água, porém, não há informações suficientes sobre todas condições exigidas pela norma para os outros sistemas. Outrossim, listam-se, na tabela 3, as condições exigidas para elegibilidade da classificação A e a possibilidade de atendimento à norma a partir das informações disponíveis. É importante pontuar que o não atendimento às condições de elegibilidade para

classificação A permitem, no máximo, a classificação B para a edificação, mesmo que a tabela dos limites dos intervalos aponte a classificação A.

Tabela 3 – Condições de elegibilidade para classificação A pela IN-C.

Item	Descrição	Atendimento
Considerando um sistema de condicionamento de ar por splits individuais		
7.1	Sistema de condicionamento de Ar de, pelo menos, 90% da capacidade instalada total	
7.1.1	Atender aos tipos e eficiência dos Condicionadores Split da tabela Tabela 7.1	Sem informações suficientes
7.1.2.1	Atendimento ao requisito de isolamento térmico de tubulações para condução de fluídos	Possivelmente atente
7.2	Sistema de iluminação de, pelo menos, 90% da potência instalada de iluminação da edificação ou parcela avaliada	
7.2.1	Determinação do potencial de integração entre o	Procedimento de simulação de mínimo de 300 lux por 50% das

	sistema de iluminação e a luz natural disponível	horas diurnas não disponível no Archicad
7.2.2	Contribuição da luz natural, considerando sistema de acionamento independente para luminárias próximas a aberturas voltadas para o exterior	Possivelmente não atende
7.2.3	Controle local, considerando a individualização dos dispositivos de acionamento para cada ambiente ou fração	Sem informações suficientes
7.2.4	Desligamento automático do sistema de iluminação para ambientes maiores que 250 m <sup>2</sup> , com exceções	Não foram observados ambientes maiores que 250 m <sup>2</sup> , fora as exceções

Considerando o não atendimento de uma ou mais condições, e que os resultados da simulação fossem válidos, seria considerada a **classificação B para edificação**.

### 5.4.3 CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA GERAL DO CCEN POR MÓDULO

Tratando-se da instrução da norma na nota 04, tem-se que: “Nota 4: edificações em blocos devem ser avaliadas separadamente, considerando-se assim um fator de forma para cada bloco e, conseqüentemente, uma ENCE para cada bloco.” (PORTARIA Nº 42, BRASIL, 2021, p. 45). Logo, considerando que a edificação pode ser entendida em blocos, mesmo que interligada por corredores quase independentes, bem como objetivando analisar o comportamento do motor de simulação computacional do Archicad em uma situação diferente do edifício completo, o objetivo deste tópico é simular de forma individual os 06 diferentes módulos modelados do edifício de estudo, pelos menos procedimentos utilizados no tópico anterior para edificação completa. Desta forma, apresenta-se um quadro resumo com os resultados observados desses estudos.

Quadro 2 – Classificação da eficiência energética geral por módulo do CCEN

MÓDULO	ÁREA DE PISO	FATOR DE FORMA	REFRIG. (kWh/a)		ILUM. E EQUIP. (kWh/a)		CRCEPD-A	CE,REAL (kWh/a)	CE,REF (kWh/a)	CEP,REAL	CEP,REF	RedCEP	i	CLASS.
			REAL	REF	REAL	REF								
1	3085,64	0,383561607	4000	4000	75000	158000	0,27	79000	163000	126400	260800	52%	14670,00	B*
3	609,97	0,407052238	4781	4000	15051	29000	0,25	19923	34000	31876,8	54400	41%	2833,33	B*
4	326,70	0,566616218	4871	4000	8061	15000	0,25	12933	20000	20692,8	32000	35%	1666,67	B*
5	1157,44	0,439077722	4000	4000	27000	59000	0,25	49600	100800	79360	161280	51%	8400,00	B*
6	462,74	0,435042796	4871	4000	11418	22000	0,25	26062,4	41600	41699,84	66560	37%	3466,67	B*
7	159,76	0,58423264	4871	4000	3929	7000	0,25	14080	17600	22528	28160	20%	1466,67	B

\*Classificação B pelos critérios de elegibilidade para classificação A não serem atendidos

Fonte: o autor, 2022.

Observando a coluna sobre o consumo energético de refrigeração, tanto para edificação de referência quanto para a edificação real, percebe-se claramente um erro da simulação ao considerar valores idênticos para módulos com características completamente diferentes.

Tal fato influencia diretamente na classificação da eficiência energética do modelo por ser o valor chave na construção dos cálculos que conformam a classificação de eficiência energética pela INI-C, evidenciando não ser possível utilizar tais dados gerados neste contexto com fins a obtenção da ENCE.

# 06

## CONCLUSÕES

Esse trabalho propôs experimentar a aplicação de plataformas BIM para a etiquetagem de edificações públicas a partir do método da simulação computacional da instrução normativa do Inmetro. Para isso, valeu-se de diferentes dados e autores que confirmaram a necessidade emergente de aprimoração das práticas construtivas e projetuais, a fim de promover iniciativas mais sustentáveis para a construção civil, através de possibilidades tecnológicas já disponíveis, como o BIM, observando que a manutenção de propostas pouco eficientes corrobora para a degradação do meio ambiente, haja vista o impacto relevante da indústria da construção no consumo de recursos naturais e energéticos.

Nesse contexto, dadas as possibilidades do BIM, sobretudo em relação ao tratamento da informação, duas plataformas foram analisadas, o Revit e o Archicad, com o objetivo de identificar a que melhor responderia às exigências da

normativa para classificação da eficiência energética pela INI-C.

Com a escolha do Archicad para prosseguimento nos testes em um edifício real e complexo, demonstrou-se que os resultados da simulação do programa não apresentaram acurácia suficiente para garantir a classificação sugerida a partir desses resultados, mesmo considerando as limitações deste trabalho.

Isso porque, sobretudo, os dados relativos ao consumo energético para refrigeração demonstraram claro equívoco, situação que prejudica a classificação energética do edifício pela INI-C, porém, que não invalida por completo a aplicação do Archicad para avaliação termo energética, ou mesmo para INI-C, haja vista que, por conta do lançamento recente da norma, julga-se que há necessidade de validação por outros pesquisadores em outros edifícios e contextos.

Ainda, é válido pontuar que a complexidade das informações tratadas dentro do contexto das análises de sustentabilidade engloba questões que não se limitam às análises termoenergéticas e, por conta disso, além da reprodução em outros contextos da experimentação realizada para o CCNE no Archicad, como sugestão para outros trabalhos, tem-se que o relatório do Archicad também disponibiliza o valor das emissões de dióxido de carbono da edificação, fato que se apresenta interessante para a comparação com o processo de simulação das emissões de dióxido de carbono da INI-C, disponível no anexo E (PORTARIA Nº 42, BRASIL, 2021).

Também, validar os dados da simulação termoenergética integrada do Archicad a partir de outros programas consolidados como OpenStudio, demonstra-se uma experimentação valorosa para ratificar as possibilidades do motor de simulação do programa.

Por fim, cabe ratificar as inúmeras e diferentes possibilidades de simulação do Archicad, como as análises solares das esquadrias, bem como os dados gerados em cada relatório de simulação, como balanço energético e variação mensal interna da temperatura, que não foram tratados diretamente nesta pesquisa, mas que fazem parte das possibilidades do Archicad e confirmam que este trabalho não esgota as possibilidades de utilização do programa na promoção de decisões mais sustentáveis.

# 07

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ABRAVA. Consulta Pública – Novo RTQ-C do Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edifica – PBE Edifica – 12/09. 2018. Disponível em: <https://abrava.com.br/consulta-publica-novo-rtq-c-do-programa-brasileiro-de-etiquetagem-para-edificios-pbe-edifica-12-0>. Acesso em: 22 ago 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2:2005. Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 21 p. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13532: Elaboração de projetos de edificações - Arquitetura. Rio de Janeiro, 8 p. 1995.

BIM DICTIONARY. **BIM Initiative**. Sustainability Analysis. 2022. Disponível em: <<https://bimdictionary.com/en/sustainability-analysis/1>>. Acesso em: 07 ago. 2022.

BRACHT, M.K., MELO, A.P.; LAMBERTS, R.. A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage. **Automation in Construction**, vol. 121, n. 103445, p. 01-19, jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103422>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580520310025?via%3DiDihub>. Acesso em: 23 jun. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA ECONOMIA. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, Qualidade e Tecnologia. **Portaria Nº 42**, de 24 de fevereiro de 2021. Brasília, DF, 24 fev. 2021. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002707.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Portaria nº 50**, de 01 de fevereiro de 2013. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 01 fev. 2013. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RAC.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2020.

BROER, Rutger; SIMJANOVIC, Jelena; TOTH, Zsolt. Implementing the paris agreement and reducing

greenhouse gas emissions throughout the life cycle of buildings. Buildings Performance Institute Europe (BPIE). 24 jan. 2022. Disponível em: <<https://www.bpie.eu/publication/implementing-the-paris-agreement-and-reducing-greenhouse-gas-emissions-throughout-the-life-cycle-of-buildings-european-public-policies-tools-and-market-initiatives/>>. Acesso em: 25 set 2022.

CELLA, A. M.; GUARDA, E. L. A.; DOMINGOS, R. M. A. DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS: APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DA NOVA PROPOSTA DE ETIQUETAGEM DE EDIFÍCIOS COMERCIAIS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020. *Anais [...]*. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1-8. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/799>>. Acesso em: 28 ago. 2022.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. CB3E, 2022. Disponível em: <https://cb3e.ufsc.br/>. Acesso em 24 jan. 2022.

CHONG, Heap-Yih; LEE, Cen Ying; WANG, Xiangyu. A mixed review of the adoption of Building Information Modeling for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 4114-4126, jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.222>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616315748>>. Acesso em: 15 set. 2020.

COELHO, Alice de Castro Cantele. **A utilização do BIM na análise da Eficiência Energética de Edifícios: Ferramentas e Interoperabilidade**. 2020. 82 f. Dissertação (Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, Portugal, jan.

2020. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/67090>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

DAVIS, Daniel. **Modelled on Software Engineering: Flexible Parametric Models in the Practice of Architecture**. 2013. 243 f. Tese (Doutorado em Filosofia) - School of Architecture and Design College of Design and Social context, RMIT University, Melbourne, Austrália, set. 2013. Disponível em: <[https://www.danieldavis.com/papers/danieldavis\\_the\\_sis.pdf](https://www.danieldavis.com/papers/danieldavis_the_sis.pdf)>. Acesso em: 16 jun. 2020.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. ISBN: 978-0-470-18528-5.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Balanco Energético Nacional: 2022**. Relatório Síntese / Ano Base 2021. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 26 jun. 2022.

FREIRE, Márcia; AMORIM, Arivaldo. A abordagem BIM como contribuição para a eficiência energética no ambiente construído. *In*: Encontro de Tecnologia da Informação e Comunicação, 5, 2011, Salvador. **Anais** [...]. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2011. p. 1-12.

ISSA, Carolina; FERREIRA, Emerson, BORGES, Juliana. **Avaliação da eficiência energética e da sustentabilidade em edificações com uso de ferramentas BIM**. In: ptBIM – 3º Congresso Português de Building Information Modelling. 26 e 27 de novembro e 4 de dezembro de 2020, Faculdade de

Engenharia da Universidade do Porto. Anais [...] Porto, ptBIM, 2020. p. 373-382

LACERDA, Daniel P.; DRESCH, Aline; PROENÇA, Adriano; ANTUNES JÚNIOR, José A. V.. **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção.** Gestão & Produção, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 741-761, nov. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/3CZmL4JjxLmxCv6b3pnQ8pq/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2020.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3. ed. São Paulo: PW, 1997. 192 p.

LEITE, Ellen Flávia Weis; HACKENBERG, Ana Mirthes. Eficiência energética de envoltória: comparação dos métodos de avaliação RTQ-C e INI-C através de estudo de caso. **Revista gestão e sustentabilidade ambiental,**

Florianópolis, v. 9, p. 532-552, fev. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020532-552>.

Disponível em: [http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao\\_ambiental/article/view/8716/4868](http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8716/4868). Acesso em: 22 set. 2020.

MANZIONE, Leonardo. Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. doi:10.11606/T.3.2013.tde-08072014-124306. Acesso em: 25 set. 2022.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

NAKAMURA, K. Natália; CARLO, C. Joyce. Introdução ao uso do sistema BIM (building information modeling) para simulação termo-energética. **Cadernos PROARQ**, Rio de Janeiro, n. 21, p. 107-119, dez. 2013. Disponível em: <[https://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/public/docs/cadernos\\_proarq21\\_pt.pdf](https://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/public/docs/cadernos_proarq21_pt.pdf)>. Acesso em: 20 de set. 2020.

OLIVEIRA, DANYEVERSON PHELIPE RODRIGUES DE, **Eficiência energética segundo regulamento brasileiro de etiquetagem: estudo em edificação do exército brasileiro**. 2021. 145 f. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, 2021.

Organização das Nações Unidas (ONU) – **Programa de Meio Ambiente (2021)**. 2021 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi.

Disponível em: <<https://globalabc.org/resources/publications/2021-global-status-report-buildings-and-construction>>. Acesso em: 26 jul. 2022.

PEREIRA, Ewerton Dias Leal; ANDRADE, Max Lira V. Xavier de. **O uso BIM para a avaliação da eficiência energética de projetos de edifícios públicos com a aplicação da INI-C**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 3., 2021. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1-10. DOI: 10.46421/sbtic.v3i00.631. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/631>. Acesso em: 3 ago. 2022.

PEREIRA, Vítor; SANTOS, José; LEITE, Fernanda; ESCÓRCIO, Patrícia. Using BIM to improve building energy efficiency: a scientometric and systematic review. **Energy & Buildings**.

vol. 250, n. 111292, p. 1-15, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111292>.

PIMENTEL, B. P.; BARBOSA, A. T. R.; REIS, M. M.. Integração entre BIM e simulação termoenergética para obtenção de ENCE de uma edificação do exército brasileiro. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.1, p.232-248, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0020>.

PIMENTEL, B. P.; SILVA, A. S.; BARBOSA, A. T. R.; REIS, M. de M. Comparação dos métodos simplificado e de simulação propostos no novo regulamento brasileiro de etiquetagem de edificações públicas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 179-200, out./dez. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000400565>.

PROJETEEEE. **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. 2022. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteee>. Acesso em: 01 de Agosto de 2022.

SILVA, F.; SALGADO, M.; SILVA, C. Plataforma BIM, Retrofit e Sustentabilidade Ambiental: Estudo de Caso no Rio de Janeiro. In: **ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO**, 7., 2015, Recife. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2015.

SOUZA, Larissa Pereira de. **Avaliação do potencial de inserção de simulações termo-energéticas em fases iniciais de projeto: proposta de método de ensino e estudo de caso**. 2020. 163 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, nov. 2020. Disponível em:

<<https://labeee.ufsc.br/node/956>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

SUCCAR, B. Building Information Modelling Framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, 2009.

SUCCAR, B., SALEEB, N., SHER, W. (2016). **Model Uses: Foundations for a Modular Requirements Clarification Language**, Australasian Universities Building Education (AUBEA2016), Cairns, Australia, July 6-8, 2016.

U.S. Energy Information Administration. **International Energy Outlook 2021 (IEO2021)**. 06 out. 2021. Disponível em: <<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/consumption/sub-topic-01.php>>. Acesso em: 06 out. 2021

ZABIN, Asem; GONZÁLEZ, Vicente A.; ZOU, Yang; AMOR, Robert. Applications of machine learning to BIM: A

systematic literature review. **Advanced Engineering Informatics**, v. 51, p. 1-19, nov. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101474>.

ZEMERO, Bruno Ramos. **Análise da aplicabilidade da tecnologia BIM em projetos sustentáveis e etiquetagem de edificações no Brasil**. 2016. 183 f. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, 2016. Disponível em: <<https://ppgau.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/documentos/Dissertacao%20-%20Bruno%20Zemero.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2021.

ZEMERO, Bruno Ramos. **Análise da Aplicabilidade da Tecnologia BIM em projetos sustentáveis e etiquetagem de edificações no Brasil**. 2016. 183 f. Dissertação (Mestrado Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Pará,

Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação,  
Belém. Disponível em:  
<<https://ppgau.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/documentos/Dissertacao%20-%20Bruno%20Zemero.pdf>>. Acesso em: 05  
fev. 2021.

