



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Elder Ramon Chaves da Costa

**ANÁLISE DE MÚLTIPLOS RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS EM
EDIFICAÇÕES PÚBLICAS COM CONSUMO DE ENERGIA QUASE ZERO**

MOSSORÓ

2024

Elder Ramon Chaves da Costa

**ANÁLISE DE MÚLTIPLOS RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS EM
EDIFICAÇÕES PÚBLICAS COM CONSUMO DE ENERGIA QUASE ZERO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Engenharia Elétrica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Linha de Pesquisa: Sistemas Elétricos

Orientador: Rogério Diogne de Souza e Silva,
Prof. Dr.

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

CC838 Costa, Elder Ramon Chaves da.
a ANÁLISE DE MÚLTIPLOS RECURSOS ENERGÉTICOS
DISTRIBUÍDOS EM EDIFICAÇÕES PÚBLICAS COM CONSUMO DE
ENERGIA QUASE ZERO / Elder Ramon Chaves da Costa.
- 2024.
119 f. : il.

Orientador: Rogério Silva.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Engenharia Elétrica, 2024.

1. Indicador de desempenho energético. 2.
Eficiência energética. 3. Edifício de energia
quase zero. 4. Edifício de energia positiva. 5.
Simulações financeiras. I. Silva, Rogério, orient.
II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Elder Ramon Chaves da Costa

**ANÁLISE DE MÚLTIPLOS RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS EM
EDIFICAÇÕES PÚBLICAS COM CONSUMO DE ENERGIA QUASE ZERO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Engenharia Elétrica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Linha de Pesquisa: Sistemas Elétricos

Defendida em: 25/06/2024.

BANCA EXAMINADORA

Rogério Diogne de Souza e Silva, Prof. Dr.
(UFERSA)
Presidente

Rosana Cavalcante de Oliveira, Profa. Dra.
(INESC P&D BRASIL)

Victor de Paula Brandão Aguiar, Prof. Dr.
(UFERSA)

Ednardo Pereira da Rocha, Prof. Dr.
(UFERSA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por toda a sabedoria que me foi concedida para chegar até aqui, sabedoria para agarrar as oportunidades quando surgiram e para saber largar o que não me enriqueceria como pessoa, para saber equilibrar a vida pessoal, vida profissional e vida acadêmica e sempre ser grato pelo que tenho e permitindo que eu seja merecedor de novas bençãos.

Agradeço a mim mesmo por toda a disciplina, tempo dispendido, abdicação necessária e todos os perdões devidos a mim mesmo que tornaram essa jornada mais fácil.

Agradeço a minha mãe, Joelma, que foi merendeira em escola municipal durante anos em zonas rurais em busca de um futuro mais digno para nossa família, sempre fazendo todos os sacrifícios necessários para dar a mim e ao meu irmão a melhor educação possível.

Agradeço ao meu pai, Evanaldo, falecido em 2021 vítima da COVID-19. Um homem com pouco estudo formal, mas de uma sabedoria inestimável. Alguém que nunca mediu esforços para me ver realizando sonhos, que dormiu nas ruas para trazer comida à mesa. Jamais esquecerei a noite em que iniciei meu terceiro turno de estudos e antes dele sair para trabalhar silenciosamente colocou a mão em minha cabeça me dando apoio como se dissesse “estou saindo para trabalhar para que você possa estudar”.

Agradeço ao meu irmão, Lucas, a pessoa mais inteligente que conheço no que tange a computadores. Seu exemplo de correr atrás dos próprios caminhos com apenas 17 anos sempre foi uma inspiração.

Agradeço a minha esposa, Geovanna, que esteve comigo nos piores momentos me ajudando a aprender sobre a vida da maneira mais alegre e sorridente possível, que sempre me apoiou e me incentivou quando eu mesmo não acreditava que seria capaz.

Agradeço à Prof^a. Dra. Simone Rocha, diretora da UFRSA Caraúbas, ao Prof. Dr. Fernando Cordeiro do Departamento de Linguagens e Ciências Humanas e à Prof^a. Dra. Leonete Cristina do Departamento de Engenharia por todo o apoio concedido e sem o qual nada disso seria possível.

Agradeço à equipe da Assistência Estudantil da UFRSA Caraúbas, a qual tenho o privilégio de fazer parte. A competência dessa equipe foi fundamental para a pesquisa, fazendo as medições de dados com rigor e pontualidade. Composta por mestres e doutoras, é uma equipe que, sempre me motivando e orientando, fizeram parte desse momento.

Agradeço Orientador Prof. Dr. Rogério Diogne de Souza e Silva, um professor visitante até então desconhecido, cuja ênfase acadêmica reúne todas as áreas que me cativam a estudar. Foi um mentor do início ao fim desta empreitada, acreditando em meu potencial e me guiando de forma brilhante.

Agradeço à banca examinadora por todas as contribuições enriquecedoras a esta pesquisa. Seus membros me elucidaram e fizeram deste trabalho uma produção melhor.

“Existem três coisas que não podem ser interrompidas: o sonho dos homens, o fluxo do tempo e a vontade herdada. Enquanto as pessoas continuarem buscando o sentido da liberdade isso tudo jamais deixará de existir”.

Gol D. Roger, One Piece

RESUMO

Várias técnicas de uso eficiente de energia são discutidas e estudadas a fim de promover a diminuição de perdas para uma utilização mais eficiente, de modo a elevar cada vez mais os padrões mínimos de aceitação, com intuito de reduzir a curva de crescimento do recurso destoante da curva da demanda. A ISO 50001:2018 - Sistemas de Gestão de Energia apresenta uma metodologia aplicável a qualquer organização, e o selo de certificação da ISO além de agregar muito valor, se bem gerenciada, traz resultados satisfatórios e duradouros. O presente trabalho objetiva realizar uma análise de eficiência energética de um prédio público nos moldes das ISO 50001 e ISO 50006 e determinar os aspectos necessários para que as edificações públicas de mesma tipologia sejam classificadas como Edifício de Energia Quase Zero (EEQZ) (*nearly zero energy buildings* (NZEB) no inglês), e Edifício de Energia Positiva (EEP) de acordo com a INI-C, tendo como estudo de caso o Restaurante Universitário da Universidade Federal Rural do Semi-Árido *Campus* Caraúbas. Os resultados indicam que 55,6% do uso final de energia concentra-se em refrigeração de ambientes ou de alimentos. Variáveis relevantes e fatores estáticos impactantes no consumo de energia ativa foram estabelecidos e verificados gráfica e estatisticamente. Dentre elas, a temperatura do ar (°C) é a variável de maior ação sobre o prédio. Dois Indicadores de Desempenho Energético (IDE) foram calculados, a energia ativa consumida por metro quadrado por ano (kWh/m²/ano) e a energia ativa por usuário por ano (kWh/m²/ano), com valores de 80,78 e 0,88, respectivamente. Esse resultando, quando confrontado com valores de referência de outros autores e organizações, evidenciou a necessidade de melhorias. As classes de eficiência do sistema de condicionamento de ar e de iluminação foram atestadas como “B” e foram propostas soluções para torná-las “A”. Três ações de eficiência energética (troca de ar-condicionado, aplicação de manta térmica e troca das janelas de vidro simples por vidro insulado) foram avaliadas técnica e financeiramente utilizando o *software RETScreen* e comparadas com um investimento em sistema fotovoltaico conectado à rede para o mesmo prédio, simulando os estados antes e após o início da vigência da lei nº 14.300/2022. Ao calcular o potencial de geração do edifício, verificou-se que o prédio poderia ser considerado NZEB e EEP, assim como poderia ser classificado um edifício verde e/ou edifício inteligente. Os créditos de carbono emitidos pelas ações de eficiência e pelo sistema fotovoltaico podem gerar uma receita anual para a universidade no mercado voluntário de carbono.

Palavras-chave: Indicador de desempenho energético; Eficiência energética; Edifício de energia quase zero; Edifício de energia positiva; Simulações financeiras; Sistema fotovoltaico; Mercado de carbono

ABSTRACT

Various energy efficient use techniques are discussed and studied to promote the reduction of losses, using them more consciously, increasingly raising the minimum acceptance standards with the aim of reducing the resource growth curve that is out of step with the demand curve. The ISO 50001:2018 - Energy Management Systems presents a methodology applicable to any organization and the ISO certification seal adds a lot of value and, if well managed, brings satisfactory and lasting results. The present work aims to carry out an energy efficiency analysis of a public building in accordance with ISO 50001 and ISO 50006 and determine the aspects necessary for public buildings of the same type to be classified as Nearly Zero Energy Building (NZEB) and Positive Energy Building (PEB) according to INI-C, using as a case study the University Restaurant of the Federal Rural University of the Semi-Arid, *Campus Caraúbas*. The results indicate that more than 50% of final energy use is concentrated in refrigeration, environments, or food. Relevant variables and static factors impacting active energy consumption were established and verified graphically and statistically, among them air temperature (°C) is the variable with the greatest effect on the building. Two Energy Performance Indicators (EnP) were calculated, the active energy consumed per square meter per year (kWh/m²/year) and the active energy per user per year (kWh/m²/year), resulting in values of 83.02 and 0.84, respectively, when compared with reference values from other authors and organizations, it highlighted the need for improvements. Three energy efficiency actions (changing air conditioning, applying a thermal blanket and replacing single-glazed windows with insulated glass) were evaluated and compared technically and financially using the RETScreen software against the investment in a Grid-Connected Photovoltaic System (GCPS) for the same building, simulating before and after the regulatory framework of law no. 14,300/2022 came into effect. Of the efficiency actions, the installation of a thermal blanket on the roof was the scenario that presented the greatest financial viability, however, when compared to the investment in the SFCE, this proved to be financially attractive and competitive with the other scenarios, with reservations for the effective gain in the energy efficiency of the edification.

Keywords: Energy performance indicator; Energy baseline; Energy efficiency; Nearly zero energy building; Positive Energy Building.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz elétrica mundial	14
Figura 2 - Matriz elétrica do Brasil.....	15
Figura 3 - Crescimento do consumo por setor	17
Figura 4 - Distribuição de consumo de energia por setor	17
Figura 5 - Ciclo PDCA	21
Figura 6 - Relação entre desempenho energético, IDE, LBE e metas energéticas	24
Figura 7 - Período de base e de reporte de um IDE e uma LBE.....	26
Figura 8 – Primeira e segunda página da etiqueta ENCE de projeto.....	28
Figura 9 - Escala para classificação de eficiência energética da INI-C.....	29
Figura 10 - ENCE geral demonstrativo de geração de energia.....	31
Figura 11 - Restaurante Univerisitário da UFERSA <i>campus</i> Caraúbas	37
Figura 12 – Intervalos de classificação do sistema de ar-condicionado	48
Figura 13 - Delimitação de zonas térmicas.....	49
Figura 14. Intervalos de classificação do sistema de iluminação	51
Figura 15. Fator de projeção de aberturas laterais	52
Figura 16. Definição das zonas de iluminação natural	52
Figura 17 - Uso Significativo de Energia	56
Figura 18 - Temperatura e radiação global da região	57
Figura 19 - Energia ativa e temperatura no período de base	58
Figura 20 - Energia ativa x n° de usuários.....	59
Figura 21 - Curva da radiação global no dia 02/07/2022	60
Figura 22 - Curva da radiação global no dia 14/10/2022	61
Figura 23 - Relatório de refeições servidas no ano de 2023	62
Figura 24 - Simulação plataforma CBCS	64
Figura 25 - Comparativo do IDE kWh/m ² /ano com outras universidades	65
Figura 26 - Comparativo do IDE kWh/usuário/ano com outras universidades	65
Figura 27 - Comparativo do kWh/refeição com outras universidades	66
Figura 28 - Zonas térmicas	67
Figura 29 - Ambientes com acionamento de iluminação por disjuntores.....	70
Figura 30 - Zonas de iluminação natural primária no RU	72
Figura 31 - Proposta de <i>retrofit</i> para o sistema de iluminação do RU.....	73
Figura 32 - Modelo de telhado do RU	75

Figura 33 - Evolução da tarifa do setor Poder Público comparado à inflação.....	77
Figura 34. Estimativa de geração de energia elétrica da usina fotovoltaica	83
Figura 35 - Convergência entre edifícios verdes e inteligentes	85
Figura 36 – Configuração dos Combustíveis e Horários	106
Figura 37 - Configurações do Invólucro do Prédio 1	106
Figura 38 - Configurações do Invólucro do Prédio 2	107
Figura 39 - Configuração Sistema de Refrigeração: Refeitório	107
Figura 40 - Configuração Refrigeração	107
Figura 41 - Configuração Custos das AEE	108
Figura 42 - Configuração SFCR	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplo de aplicação de IDE	25
Quadro 2 - Cenários simulados.....	40
Quadro 3 - Componentes do sistema fotovoltaico	40
Quadro 4 - Classificação de eficiência de ar-condicionado do tipo <i>split</i> baseado no COP.....	44
Quadro 5 - Classificação de eficiência de ar-condicionado tipo <i>split</i> baseado no IDRS	45
Quadro 6 - Características dos ares-condicionados do RU.....	67
Quadro 7 - Características técnicas das substituições simuladas	74
Quadro 8 - Detalhamento dos custos das simulações	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo entre os meses julho e outubro de 2022	60
Tabela 2 - Comparativo entre os meses julho e outubro de 2023	61
Tabela 3 - Estudo estatístico	62
Tabela 4 - Carga térmica total calculada	68
Tabela 5 - Classificação do sistema de ar-condicionado existente	68
Tabela 6 - Classificação de eficiência do sistema de ar-condicionado para o caso proposto	69
Tabela 7 - Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação	70
Tabela 8 - Fator de projeção do RU	72
Tabela 9 - Tarifa média do setor Poder Público e IPCA nos anos de 1996 a 2022	76
Tabela 10 – Análise de viabilidade financeira das AEE	78
Tabela 11 – Análise de viabilidade financeira do SFCR	81
Tabela 12. Economia do SFCR antes e após as novas regras da lei nº14.300	82
Tabela 13. Fluxo de caixa acumulado do SFCR antes e após a lei nº 14.300	82
Tabela 14 - Dados da simulação	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento
AEE	Ações de Eficiência Energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-condicionado
B3	Brasil Bolsa Balcão
CB	Comitê Brasileiro
CGU	Controladoria Geral da União
CBCS	Centro Brasileiro de Construções Sustentáveis
CBIO	Crédito de descarbonização
CBCS	Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis
COP	Coeficiente de Performance
COSERN	Companhia Energética do Rio Grande do Norte
CSPF	<i>Cooling Seasonal Performance Factor</i>
EMA	Estação Meteorológica Automática
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GB	<i>Green Buildings</i>
GBCB	<i>Green Building Concil</i> Brasil
GEE	Gases do Efeito Estufa
GD	Geração Distribuída
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICO2	Índice de Carbono Eficiente
IDE	Indicadores de Desempenho Energético
IDRS	Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INI-C	Instrução Normativa do INMETRO para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPCA	Índice Nacional de Preço ao Consumidor Amplo
IRENA	<i>International Renewable Energy Agency</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LBE	Linha de Base Energética
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MPOG	Ministério do Planejamento Organização e Gestão
MTP	Ministério do Trabalho e Previdência
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>

OMR	Operação, Manutenção e Reparos
ONU	Organização das Nações Unidas
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PBE Edifica	Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PEE	Programa de Eficiência Energética
PG	Potencial de Geração
PNE	Plano Nacional de Energia
PROCEL Edifica	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
RAC	Requisitos de Avaliação e Conformidade
RTQ	Requisitos Técnicos da Qualidade
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
RU	Restaurante Universitário
SB	<i>Smart Building</i>
SBCE	Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SFRC	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SGE	Sistema de Gestão de Energia
SIPAC	Sistema de Integrado de Patrimônio, Administração e Contratos
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
USE	Uso Significativo de Energia
VRF	<i>Variable Refrigerant Flow</i>
ZEB	Zero Energy Building

LISTA DE SÍMBOLOS

C_i	Carga instalada
$Qtd. Eq$	Quantidade de equipamentos semelhantes
P	Potência elétrica
CC	Custo do combustível
V_p	Valor pago
Ca	Consumo ativo
C_t	Preço da <i>commoditie</i> no período
C_0	Preço da <i>commoditie</i> no momento inicial
E	Taxa de escalada nominal
t	Período
e	Taxa de escalada real
I	Inflação do período
Cp_r	Capacidade de refrigeração
C_r	Carga de refrigeração
$E_{m/ano}$	Indicador kwh/m ² /ano
P_a	Energia ativa
tCO ₂ e	Tonelada de dióxido de carbono equivalente
a	Área útil
u	Quantidade de usuários
$E_{u/ano}$	Indicador kwh/usuários/ano
$RedC_r$	Percentual de redução do consumo para refrigeração
$C_{R.refD}$	Consumo de energia com refrigeração na condição de referência
$C_{R.real}$	Consumo de energia com refrigeração na condição real
$CgTT_{refD}$	Carga térmica total anual de referência classe D
W_{vent}	Potência do equipamento de refrigeração
h	Horas
N_{ano}	Dias de ocupação no ano
$CgTT_{real}$	Carga térmica total anual da edificação real
CEE_r	Coefficiente de eficiência energética
$RedC_{IL}$	Percentual de redução consumo de iluminação
$C_{IL.refD}$	Consumo de iluminação na condição de referência
$C_{IL.real}$	O consumo de iluminação real
P_{IT}	Potência de iluminação total
PI	Potência de iluminação sem controle automático
P_{IU}	Potência de iluminação controlada automaticamente
P_{ASP}	Potência sem projeto luminotécnico
$C_{IL.refx}$	Consumo de iluminação para a classe de eficiência A ou D
$P_{IL.refx}$	Potência de iluminação limite para a classe de eficiência A ou D
A_i	Área iluminada
DPI_x	Densidade de potência de iluminação para a classe A ou D

i	Intervalo entre as classes
C_{ILrefD}	Consumo do sistema de iluminação com classificação D
C_{ILrefA}	Consumo do sistema de iluminação com classificação A
PG	Potencial de Geração
G_{ee}	Geração de eletricidade
f_{ce}	Fator de conversão de energia elétrica
C_{eereal}	Consumo de energia elétrica real
C_{etreal}	Consumo de energia térmica real
f_{ct}	Fator de conversão de energia térmica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Justificativa.....	16
1.2	Objetivo geral.....	19
1.3	Objetivos específicos.....	19
1.4	Organização da dissertação.....	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1	Sistema de gestão de energia.....	21
2.1.1	Indicador de desempenho energético.....	24
2.1.2	Linha de base energética.....	25
2.2	Metodologia de avaliação de edificações INI-C.....	27
2.2.1	Edifício de Energia Quase Zero e Edifício de Energia Positiva.....	30
2.3	Aplicações em outros trabalhos.....	31
2.4	Mercado de carbono.....	35
2.5	Conclusão do capítulo.....	36
3	MÉTODO.....	37
3.1	Carga instalada.....	38
3.2	Dados climáticos.....	39
3.3	Software RETScreen.....	40
3.3.1	Custo do combustível.....	41
3.3.2	Reajuste do consumo do combustível.....	41
3.3.3	Inflação.....	42
3.3.4	Taxa de desconto.....	43
3.3.5	Transmitância térmica.....	43
3.3.6	Coeficiente de performance.....	44
3.3.7	Índice de desempenho de resfriamento sazonal.....	44
3.4	Cálculo dos indicadores de desempenho energético.....	45
3.5	Análise estatística.....	46
3.6	Sistema de condicionamento de ar.....	47
3.7	Sistema de iluminação.....	49
3.7.1	Integração entre o sistema de iluminação e a luz natural.....	51
3.8	Geração local da energia elétrica da INI-C.....	53
3.9	Conclusão do capítulo.....	54
4	RESULTADOS.....	55
4.1	Escopo e uso significativo de energia.....	55
4.2	Variáveis relevantes e fatores estáticos.....	57
4.2.1	Análise estatística.....	62
4.3	Indicadores de desempenho energético.....	63
4.4	Classe de eficiência do sistema de condicionamento de ar.....	66
4.5	Classe de eficiência do sistema de iluminação.....	69
4.6	Análise das ações de eficiência energética.....	73
4.7	Comparativo entre as ações simuladas e um sistema fotovoltaico.....	80
4.7.1	Viabilidade financeira antes e após a lei nº 14.300/2022.....	81

4.8	Análise do potencial de geração.....	83
4.9	Mercado de carbono.....	86
4.10	Discussões e proposições.....	87
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
5.1	Publicação.....	95
	REFERÊNCIAS.....	96
	APÊNDICE A – CONFIGURAÇÕES DO RETSCREEN.....	106
	APÊNDICE B – DADOS PARA SIMULAÇÃO DA CARGA TÉRMICA...	109
	APÊNDICE C – DETALHAMENTO DOS CUSTOS.....	111

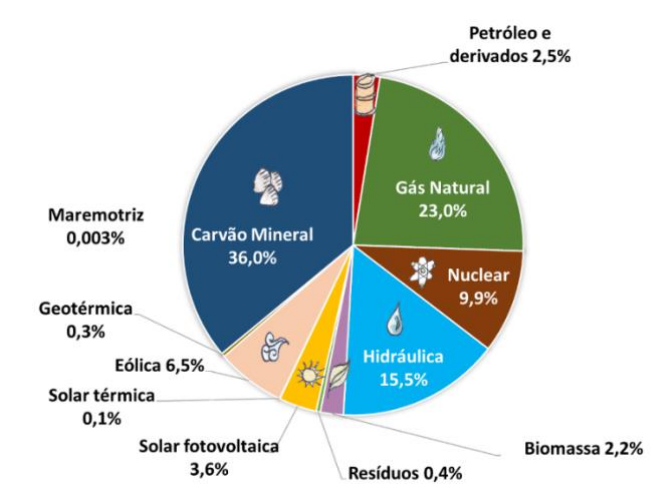
1 INTRODUÇÃO

No início do século XXI, as consequências do crescimento econômico despertaram uma preocupação com a utilização exagerada de recursos naturais, fazendo com que o desafio do século seja descobrir processos mais sustentáveis de consumir, lucrar e viver destacando-se as questões ambientais (SOUSA, SOUSA E SANTOS, 2016).

Com o crescimento econômico dos países em desenvolvimento, a sociedade amadurece e eleva-se a consciência ambiental, de forma que as consequências da degradação ambiental causada pelo crescimento da economia em detrimento das áreas verdes começam a ser relevantes (SOUSA, SOUSA E SANTOS, 2016). Nessa perspectiva, a utilização de técnicas de conservação e uso eficiente de energia tornam-se essenciais.

Apesar do efeito negativo da utilização de recursos naturais finitos, estudos da IEA (2022) apontam que em 2022 a matriz elétrica mundial é composta majoritariamente por combustíveis fósseis, fontes de energia não renováveis, das quais 59% são distribuídas em carvão mineral e gás natural. Na Figura 1 é apresentada a distribuição percentual da participação de cada fonte de energia na matriz elétrica mundial.

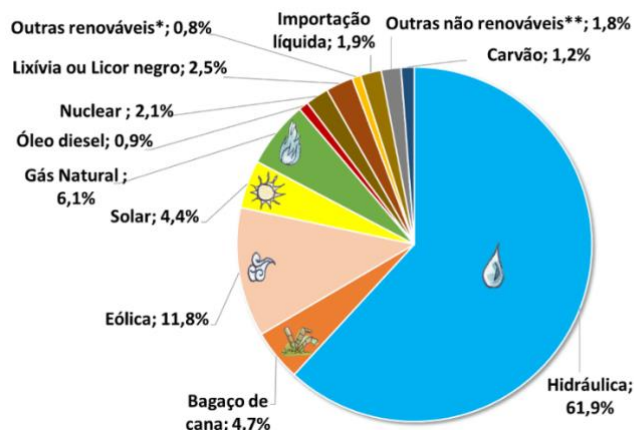
Figura 1 - Matriz elétrica mundial



Fonte: EPE, 2023a

Por outro lado, a matriz energética no Brasil apresenta o maior percentual de fontes renováveis em todo o mundo (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2023a), totalizando 47,4% da matriz. No entanto, é importante ter em mente que o percentual de fontes de energias não renováveis ainda é predominante. No que compete à matriz elétrica, no Brasil, a predominância das fontes hídricas é percebida, conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2 - Matriz elétrica do Brasil



Fonte: EPE, 2023a

O uso de fontes renováveis é um ponto muito positivo para o país, o qual é dotado de uma diversidade energética privilegiada. No entanto, o percentual de utilização de eletricidade proveniente das águas denota uma relação de dependência pois, em épocas de estiagem - ou seja, quando há poucas chuvas fazendo com que o nível dos reservatórios baixe e diminua a produção de eletricidade - é necessário acionar as termelétricas, fonte não renovável mais poluente e mais cara (LIMA e DE SOUZA, 2015).

O Brasil, visto a necessidade melhor utilização dos recursos energéticos, desenvolveu em 2008, no campo do planejamento energético de longo prazo, o Plano Nacional de Energia (PNE) 2030, responsável por formular uma estratégia da expansão da oferta de energia de forma econômica e sustentável de acordo com a evolução da demanda (EPE, 2020). Em dezembro de 2020, o Ministério de Minas e Energias (MME) lançou o PNE 2050 apresentando recomendações e diretrizes a serem seguidas até 2050 (EPE, 2020).

O IEA (2019) considera que é importante a utilização de estratégias direcionadas em cada setor para o alcance de metas planejadas. O setor de edificações, por exemplo, é responsável por cerca de 55% do uso mundial de energia elétrica. Por consequência, 28% das emissões totais de CO₂ correspondem à fase de operação e 40% à construção (IAE, 2019). De acordo com EPE (2023b), 51,2% da eletricidade consumida no Brasil em 2022 correspondeu ao setor de edificações.

As principais medidas de mitigação do uso indevido de energia elétrica a serem implementadas no setor de edificações, de acordo com a *International Renewable Energy Agency* - IRENA (2019), são destinadas à eficiência energética, podendo se dar através de melhorias normativas ou programas de financiamento de *retrofits*. Os *retrofits* podem ser

entendidos como melhorias ou reformas realizadas, seja na envoltória ou em um sistema, com objetivo de proporcionar redução do uso de energia e aumento da eficiência.

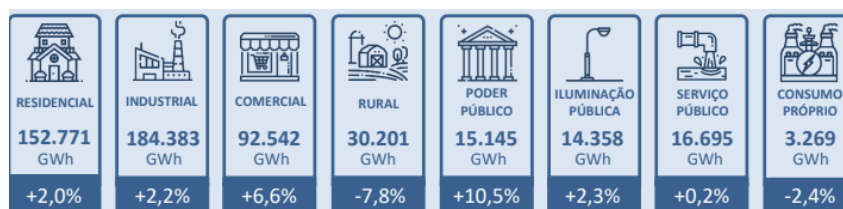
No total de energia elétrica nacional consumida em 2022 pelas edificações, cabe distinguir que uma das tipologias é a de prédios públicos, como as universidades. De acordo com Garcia (2022), quando se aborda o consumo de energia em edificações universitárias é necessário intervenções na envoltória, no comportamento dos usuários e nas definições de temperatura interna dos ambientes. Ainda segundo a mesma autora, outra importância sobre estudos de eficiência energética em universidades é a necessidade de redução dos custos, intensificada pelos contingenciamentos orçamentários enfrentados pelas instituições. Dessa forma, o entendimento do uso de energia e desenvolvimento de sistemas de gestão de energia podem contribuir para questões financeiras relacionadas aos custos de operação e manutenção desses espaços educacionais.

1.1 Justificativa

No contexto de globalização vivido nas últimas décadas, a demanda por recursos energéticos vem aumentando a cada ano. No que tange ao consumo de energia elétrica, também é percebido o aumento da necessidade de eletricidade em diversos setores da sociedade, das indústrias aos pequenos consumidores. De acordo com IEA (2022), a eletricidade representou cerca de 35% do consumo mundial de energia de edificações em 2021, cerca de 4% a mais em relação ao ano de 2020, sendo este o maior aumento da década. Desse total, destaca-se o resfriamento do ambiente como principal fator promotor do aumento da demanda dos edifícios, 6,5% maior em 2021.

No Brasil, esse aumento é observado anualmente. Em 2021, mesmo com as restrições de circulação de pessoas ocasionados pelas medidas preventivas de aumento dos números de casos da COVID-19, houve elevação do consumo de energia elétrica. Segundo a EPE (2022), o consumo total de energia elétrica no Brasil em 2021 foi de 497 TWh, cerca de 4,6% maior do que em 2020. Já em 2022, o valor foi de 509 TWh, 2,4% maior do que em 2021 (EPE, 2023b). Do total citado para 2022, na classe “Poder Público” foi registrado um aumento de 10,5%, cerca de 15.145 GWh de eletricidade. Os dados de crescimento são observados na

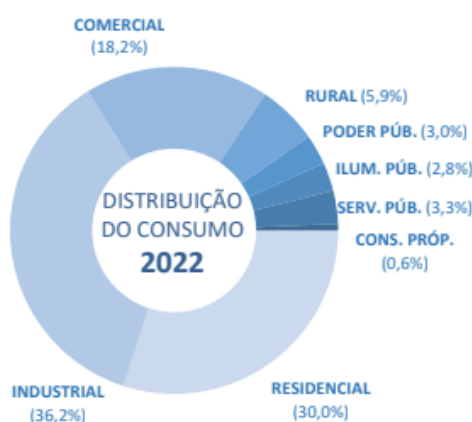
Figura 3 - Crescimento do consumo por setor



Fonte: EPE, 2023b

Ao analisar o consumo de eletricidade por setor, percebe-se que, no Brasil, o valor para edificações residenciais, comerciais e públicas corresponde a 51,2% da eletricidade consumida no país, enquanto 3% são consumidos em prédios públicos (EPE, 2023b). A distribuição do consumo de eletricidade do ano de 2022 pode ser conferida na Figura 4.

Figura 4 - Distribuição de consumo de energia por setor



Fonte: EPE, 2023b

A distribuição desse percentual de energia elétrica no uso final foi estudada pela EPE. No setor residencial, até o ano de 2017, o ar-condicionado tomava o quarto lugar no consumo de eletricidade, ficando atrás de geladeira, televisão e chuveiro elétrico. A posse desses equipamentos de climatização apresentou uma taxa de crescimento de 9% a.a (ao ano) entre 2005 e 2017, um aumento de 237%, o que levou o país a atingir um consumo de 18,7 TWh em 2017 com projeção de crescimento para 48,5 TWh até 2035 (EPE, 2018).

De acordo com a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), o consumo final de energia de um estabelecimento comercial pode representar entre 40% e 50% da conta de energia elétrica (ABRAVA, 2023).

No âmbito dos prédios públicos, a Norma Regulamentadora nº17 (NR-17) e suas atualizações, que estabelecem a ergonomia no ambiente de trabalho, têm muita influência em instalações prediais. Em seu item 17.5.2.b, é recomendado uma temperatura entre 20°C e 23°C para locais de trabalho que necessitem de atenção constante (Ministério do Trabalho e Previdência - MTP, 2021), fazendo com que a quantidade de energia gasta por esse setor seja relevante. No mesmo sentido, a Instrução Normativa nº 2 de 4 de junho de 2014 do Ministério do Planejamento Organização e Gestão (MPOG) dispõe, dentre outras, sobre a obrigatoriedade de obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para projetos, novas obras ou *retrofits* de sistemas das edificações públicas federais. A norma estabelece que os projetos, obras e *retrofits* devem receber a mais alta classificação do programa (MPOG, 2014).

Conforme o IEA (2022), diversos países já adotaram políticas de eficiência energética e medidas de padrões mínimos de desempenho energético para equipamentos e edifícios. Globalmente, o uso final de energia que atende a esses padrões mínimos está acima de 80% para refrigeradores e condicionadores de ar. Nacionalmente, as políticas públicas de incentivo à eficiência energética existem há várias décadas. Como exemplo, pode ser citado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), criado em 1984, sendo atualmente composto por 38 Programas de Avaliação de Conformidade, dentre eles, o PBE Edifica. Esse programa estabelece os requisitos técnicos que as edificações precisam atender para obter o selo de classificação de eficiência energética, também conhecido como Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) (PBEEDIFICA,2023).

Do PBE Edifica surgiu a Instrução Normativa do INMETRO para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, INI-C. Esse documento estabelece os critérios e métodos de avaliação das edificações dessa natureza quanto a eficiência energética que pode ser geral ou parcial, avaliando a envoltória, iluminação, sistema de climatização de ar, sistema de aquecimento de água e todas elas juntas. Na INI-C, a classificação é realizada com base no consumo de energia primária, comparando-se o consumo da edificação real com a mesma edificação em uma condição de referência, equivalente à classificação D (INMETRO, 2022a).

Além do PBE Edifica, outro importante normativo adotado no Brasil reconhecido mundialmente é a ABNT NBR ISO 50001: Sistema de Gestão de Energia - Requisitos com orientação para uso (2018). Trata-se de uma ferramenta de desempenho energético que estabelece requisitos e padrões de eficiência energética de forma contínua ao longo do tempo

(ABNT, 2018). Apesar de sua certificação não ser obrigatória para as organizações, certamente a obtenção do selo traz tanto benefícios internos quanto prestígio à instituição. Outro documento basilar desta pesquisa é a ABNT NBR ISO 50006: Medição do desempenho energético utilizando Linhas de Base Energética (LBE) e Indicadores de Desempenho Energético (IDE) - Princípios gerais e orientações, que subsidia muitas das análises realizadas (ABNT, 2016).

No semiárido nordestino do Brasil, que tem uma média de temperaturas máximas que chega a 38°C, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o uso de aparelhos para resfriamento de ambiente é imprescindível, o que acarreta cargas instaladas elevadas para climatização de ambientes. O presente trabalho irá determinar e avaliar técnica e financeiramente múltiplos recursos energéticos distribuídos no Restaurante Universitário (RU) da Universidade Federal Rural do Semi Árido (UFERSA) - *campus* Caraúbas.

1.2 Objetivo geral

Realizar uma análise de eficiência energética em um prédio público, observando as características construtivas de alto desempenho energético e as relações financeiras diretas e no mercado de carbono aplicados em prédios públicos de mesma tipologia, tendo como estudo de caso o Restaurante Universitário da UFERSA - *campus* Caraúbas.

1.3 Objetivos específicos

- Analisar e revisar metodologias de Sistemas de Gestão de Energia aplicados em outras universidades e *benchmarking* disponíveis na literatura científica;
- Realizar uma inspeção visual no Restaurante Universitário para delimitar fronteiras, identificar os usos significativos de energia e as oportunidades de melhoria;
- Identificar variáveis significativas e fatores estáticos que impactam no consumo de recursos energéticos;
- Elaborar Indicadores de Desempenho Energético (IDE) que transmitam o desempenho da edificação;
- Analisar a eficiência energética dos sistemas relevantes ao consumo e desempenho do prédio;
- Desenvolver simulações computacionais de viabilidade técnica e financeira de ações de eficiência energética;

- Analisar os requisitos necessários para caracterização da edificação como NZEB e EEP;
- Avaliar e discutir a aplicação dos resultados no mercado de carbono; e
- Discutir a necessidade de adequação e analisar a viabilidade de adoção das medidas propostas.

1.4 Organização da dissertação

Esta dissertação está dividida em 5 capítulos. No capítulo 1, Introdução, é abordado um contexto mundial da diversificação das fontes de energia, observando que ainda há predominância no uso de recursos não renováveis na matriz energética mundial. Nacionalmente, a matriz elétrica apresenta uma superioridade na geração de energia renovável. Além disso, foi visto a distribuição do uso final de energia no Brasil e o percentual de eletricidade utilizado por cada setor, destacando-se as edificações e o crescimento da demanda por ar-condicionado no uso final.

O capítulo 2, Referencial Teórico, está dividido em quatro frentes, revisão a respeito de sistemas de gestão de energia onde foi abordado sobre as normas ISO 50001 e ISO 50006, detalhando sobre o ciclo de melhoria contínua que norteia a aplicação do gerenciamento de sistemas e processos, bem como detalhando as ferramentas de mensuração do desempenho energético; a segunda abordagem foi uma revisão sobre a INI-C explicando as regras de classificação das edificações e seus sistemas e sobre os requisitos de mensuração dos edifícios NZEBs e EEPs; trabalhos recentes em que foram aplicados as metodologias das três normas foram apresentados ressaltando aspectos importantes de cada estudo; a última abordagem foi uma introdução ao mercado de carbono, elucidando sua relevância e posição mundial e como está vigorando no Brasil.

O capítulo 3 aborda as metodologias utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa, onde foi apresentado as características construtivas do estudo de caso. Em sequência, as equações foram detalhadas, as ferramentas e as bases de dados apresentadas.

É apresentado no capítulo 4 todos os resultados obtidos decorrente da pesquisa dentre eles: o uso significativo de energia, as variáveis relevantes e fatores estáticos que influenciam no consumo de energia ativa, análise estatística, os indicadores de desempenho energético, a classificação de eficiência energética dos sistemas de iluminação e ar-condicionado, as simulações dos *retrofits* propostos e uma comparação com um sistema fotovoltaico, uma análise do cenário de geração distribuída após a lei nº 14.300, análise dos requisitos para ser NZEB e EEP e a comercialização de créditos de carbono.

O capítulo 5 trata das considerações finais e propõe outras pesquisas que podem enriquecer a temática. Em sequência todas as referências utilizadas são apresentadas. Para finalizar, nos apêndices são apresentados os registros de tela das simulações realizadas no *software RETScreen*, os dados utilizados na simulação de carga térmica e uma tabela de custos de todas as ações de eficiência energética simuladas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O uso eficiente de energia, principalmente elétrica, está em foco no cenário mundial desde a crise do petróleo na década de 70, quando se tornou claro que as reservas de recursos fósseis e seus derivados não seriam suficientes e acessíveis para sempre (EPE, 2008). Logo, a utilização de medidas de eficiência energética se fizeram necessárias, como, por exemplo, o uso de equipamentos e adoção de hábitos que reduzem o uso para conclusão de um mesmo serviço ou finalidade proposta (EPE, 2008). Um dos fatores mais determinantes para investir nessas medidas é a capacidade de diminuir a demanda de energia, gerando economia (SOUZA, 2017).

2.1 Sistema de gestão de energia

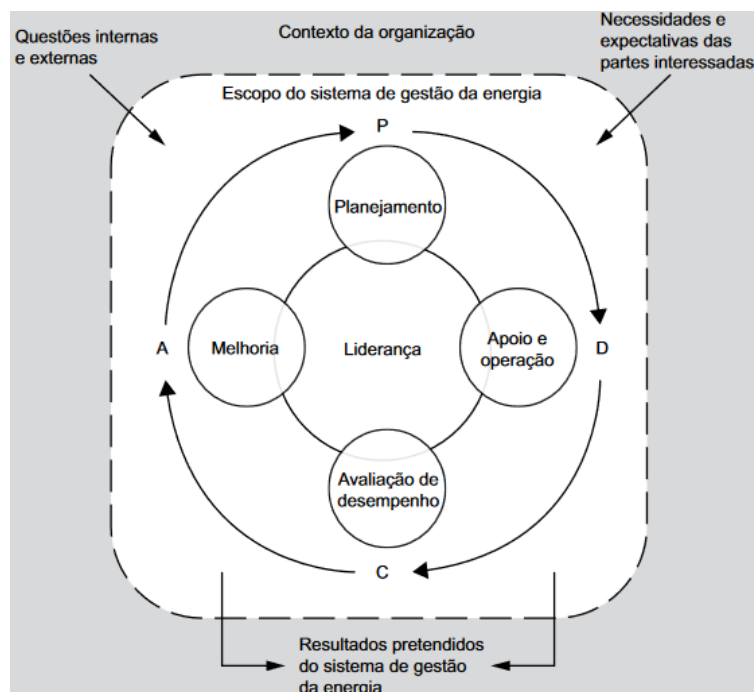
As normas da ISO (*International Organization for Standardization*, em português: Organização Internacional de Padronização) são desenvolvidas no país pelo Comitê Brasileiro de Gestão e Economia de Energia integrada à estrutura da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/ CB-16). A ISO 50001:2018 faz parte da família das ISO voltadas para a melhoria contínua da qualidade, tais como a “ISO 90001 – Sistema de Gestão da Qualidade (2008)” e a “ISO 14001 – Sistema de Gestão Ambiental (2004)”, estando elas em conformidade com estruturas de alto nível, núcleo de texto comum e termos e definições comuns, sendo possível, portanto, a utilização das normas de forma independente ou combinando seus Sistemas de Gestão de Energia (SGE) (PAIXÃO, 2020; ABNT, 2018).

As normas ISO citadas foram elaboradas com base na estrutura de melhoria contínua PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) estruturando a gestão da energia nas práticas organizacionais. No que tange à gestão de energia, o ciclo PDCA é abordado da seguinte forma (ABNT, 2018):

- *Plan* (planejar): compreender o contexto organizacional, definir ações e metas e definir planos de ação para alcançar os objetivos;
- *Do* (fazer): implementar os planos de ação e de controle;
- *Check* (chechar): monitorar, medir e analisar o desempenho energético e o SGE; e
- *Act* (agir): adotar ações de correção e melhorar continuamente.

A Figura 5 ilustra o esquema de aplicação do ciclo PDCA aplicado ao SGE.

Figura 5 - Ciclo PDCA



Fonte: ABNT (2018).

A ABNT ISO 50001:2018 é um documento que visa estabelecer, implementar, manter e melhorar um SGE. Seu propósito é permitir que as organizações estabeleçam ou melhorem sistemas ou processos de desempenho energético, incluindo a eficiência energética e o uso significativo de energia (USE) (ABNT, 2018). Sua aplicação é adaptável e destinada aos requisitos específicos da organização, à aquisição de instalações, equipamentos, sistemas ou processos de uso de energia determinado dentro do escopo e das fronteiras do SGE. Não se aplica ao uso de produtos por usuários finais, produto fora das instalações, equipamentos, sistemas ou processos de uso da energia. Além disso, segundo (ABNT, 2018), a norma:

- é aplicável a qualquer organização, independentemente do tipo, tamanho, complexidade, localização, cultura organizacional ou produtos e serviços oferecidos;
- é aplicável às atividades que afetem o desempenho energético que são gerenciadas e controladas pela organização;
- é aplicável independentemente da quantidade, uso ou tipos de energia consumida;
- requer demonstração de melhoria contínua, do desempenho energético, mas não estabelece níveis a serem alcançados; e
- pode ser usado independentemente, ou ser alinhado ou integrado com outros sistemas de gestão.

Ao longo de seu texto, a norma estabelece diretrizes e caminhos para que a organização aplique o sistema de gestão de energia. A responsabilidade pelas etapas esclarecidas é atribuída à alta direção da organização, a qual deve demonstrar liderança e comprometimento com a melhoria contínua do desempenho energético e a eficácia do sistema de gestão de energia, de acordo com ABNT (2018). Além da devida implantação do plano de ação e suas etapas de melhoria contínua, à alta direção compete estabelecer uma política energética que seja apropriada ao propósito da organização. Também é de sua competência a responsabilidade da comunicação da política para todos os envolvidos direta ou indiretamente, os quais possam influenciar resultados.

Após determinado o escopo e as fronteiras do SGE, a ISO 50001:2018 estabelece que a organização deve conduzir uma revisão energética atenta a analisar e determinar:

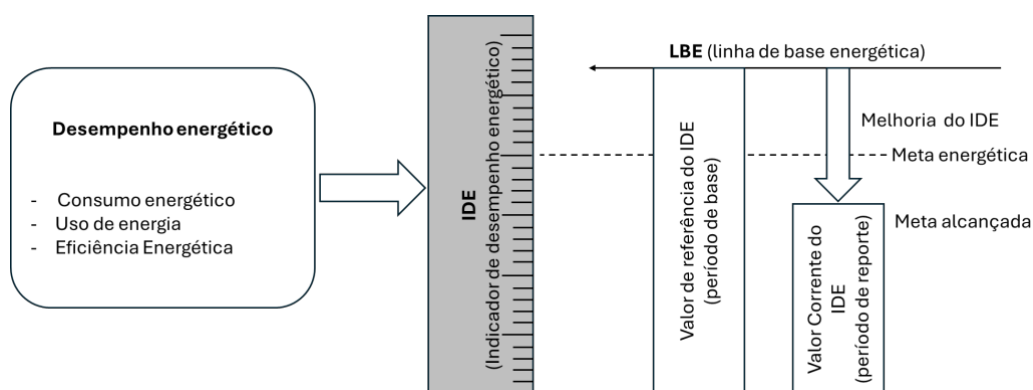
- o uso e consumo de energia: com o objetivo de identificar o perfil de uso de energia atual, sendo importante, para tanto, entender o consumo de energia passado e atual;
- o USE: definido pela norma como o uso da energia responsável por substancial consumo e/ou que ofereça potencial considerável para melhoria do desempenho energético. Nessa análise, identifica-se quais áreas físicas ou sistemas em funcionamento que consomem mais energia e que possivelmente têm mais oportunidade de melhoria. De cada USE identificado, é preciso determinar suas variáveis relevantes, o desempenho energético atual e identificar os indivíduos que influenciam ou afetam o USE.
- oportunidades de melhorias do desempenho energético; e
- estimativas do(s) uso(s) e consumo de energia futura.

Como resultados esperados das etapas de análises, a norma especifica a elaboração de indicadores de desempenho energético (IDE), uma medida ou unidade de desempenho; e a linha de base energética (LBE), referência quantitativa que permite uma base para comparação do desempenho energético. Tanto os IDE quanto a LBE são algumas das saídas que a norma espera após o planejamento e execução das ações, assim como oportunidades de melhorias, tendências de uso e consumo de energia, objetivos e metas energéticas, planos de ação e de coleta de dados.

2.1.1 Indicador de desempenho energético

A norma ISO 50006:2016 estabelece o IDE como um valor ou medida da eficiência energética, uso e consumo de energia em instalações, sistemas, processos e equipamentos (ABNT, 2016). De acordo com a ISO 50001:2018, um IDE é uma “régua” utilizada para comparação do desempenho energético, valor de referência, por um valor resultante após implementação da ação de melhoria. A diferença entre os valores é a métrica que mensura se houve mudança no desempenho energético atingindo ou não a meta determinada pela alta direção. A Figura 6 ilustra essa relação.

Figura 6 - Relação entre desempenho energético, IDE, LBE e metas energéticas



Fonte: Adaptado de ABNT (2016).

É importante que os IDE forneçam informações relevantes sobre o desempenho energético, permitindo aos seus usuários compreenderem e adotarem medidas para melhoria do mesmo. Esses indicadores podem ser aplicados em nível de instalação, sistema, processo ou equipamento (ABNT, 2016).

A ISO 50006:2016 indica os principais tipos de IDE e suas aplicações divididas em quatro categorias:

- Valores de energia medidos: consumo de um *site* completo ou parcialmente medido por um ou mais medidores. Exemplo: Consumo de energia (kWh) e pico de demanda (kW);
- Proporção de valores medidos: expressão da eficiência energética, podendo ser utilizado para padronizar comparações entre múltiplas instalações ou organizações (*benchmarking*). Exemplo: kWh/m²;
- Modelo estatístico: relação entre o consumo e variáveis relevantes utilizando regressões lineares ou não lineares. Utilizado quando o sistema tem muitas variáveis relevantes; e

- Modelo baseado em engenharia: relação entre consumo de energia e variáveis relevantes utilizando simulações de engenharia. Utilizado para modelos do edifício inteiro que avaliam horas de operação de sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC).

A norma chama atenção para o IDE comumente utilizado para medir eficiência do prédio, o kWh/m², que é considerado como “subótimo”, pois raramente a área construída é uma variável relevante para os aparelhos elétricos e/ou sistema de iluminação. Portanto, um IDE mais apropriado seria kWh/ocupante-hora.

Em seu anexo C, a norma exemplifica algumas aplicações de IDE com base em cada um dos tipos explicados. O *campus* universitário é o tipo de empresa utilizado como referência pela norma conforme visto no Quadro 1.

Quadro 1 - Exemplo de aplicação de IDE

Item	Exemplo Modelo de Engenharia
Tipo de Empresa	<i>Campus</i> Universitário
Processo	Aquecimento e refrigeração
Intenção	Atingir metas de sustentabilidade
Ação de melhoria	Controle e isolamento
IDE e LBE correspondente	kW/pessoa; kWh/ano
Meta	Redução de 20%, analisando mensalmente após ajuste
Nota	O modelo funciona com todas as variáveis relacionadas às medições que estiverem sendo incluídas

Fonte: Adaptado de ABNT (2016).

Num estudo realizado por Aebischer *et al.* (2003), foram analisados e reunidos outros estudos sobre indicadores de eficiência energética aplicados em diversos restaurantes em 5 países: China, França, Estados Unidos, Japão e Suíça. O estudo destaca, entre outros pontos, que em todos os países o principal uso de energia são os sistemas AVAC, de acordo com as condições climáticas de cada região. Além disso, três IDE foram semelhantes nas pesquisas pelo mundo: energia consumida por assento (kWh/assento), energia consumida por refeição (kWh/refeição) e energia consumida no ano por área (kWh/m²).

2.1.2 Linha de base energética

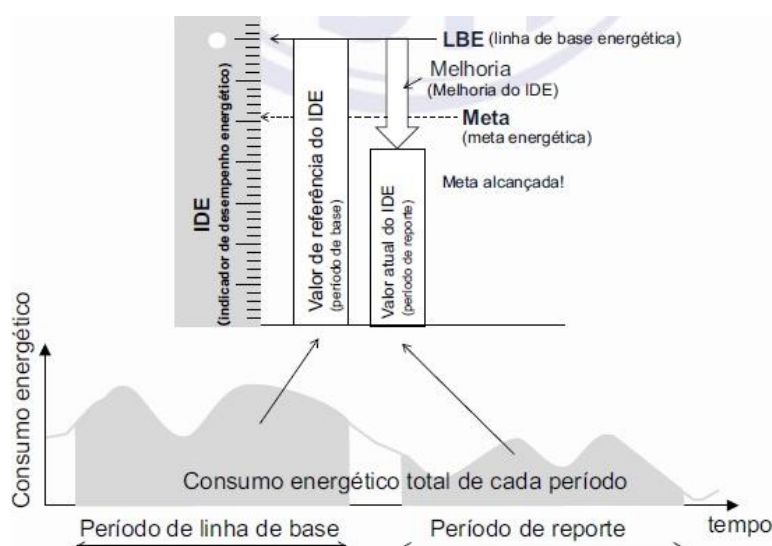
A LBE, de acordo com a ISO 50006:2016, é uma referência que caracteriza e quantifica o desempenho energético durante um período específico. Ela serve como uma meta, um valor de referência a partir do qual serão feitas comparações periódicas para mensuração do desempenho. Os resultados dessas métricas podem ser apresentados em unidades de consumo (kWh), consumo específico (kWh/unidade) e outras.

Essas comparações ocorrem entre as medições realizadas no período de base e o período de reporte. O período de base é definido como um período anterior a quaisquer alterações ou implantação de qualquer melhoria, sendo utilizado para se comparar com o período de reporte, o qual, por sua vez, é caracterizado como o período selecionado pela organização para mensurar o desempenho energético após as medidas implementadas e, dessa forma, avaliar as mudanças no IDE e na LBE (ABNT, 2016).

A LBE é desenvolvida a partir do propósito específico do IDE. Para se estabelecer uma LBE, é importante realizar as seguintes ações: determinar um propósito específico e um período adequado, coletar dados, calcular e testar a LBE.

A comparação do desempenho energético entre o período de base e o período de reporte é determinada pela diferença do valor do IDE nos dois períodos (ABNT, 2016). A Figura 7 ilustra o caso em que a medição direta do consumo de energia é o IDE e tal desempenho é comparado nos dois períodos.

Figura 7 - Período de base e de reporte de um IDE e uma LBE



Fonte: ABNT (2016).

Ao estabelecer a LBE, é importante que a organização determine um período adequado para coleta de dados a depender da natureza da operação. De acordo com a norma, os períodos de base e de reporte devem ser suficientemente longos para assegurar que as

variações de operação sejam refletidas no IDE e na LBE. Geralmente é indicado um recorte de 12 meses anteriores para determinar o perfil de consumo e variáveis relevantes.

2.2 Metodologia de avaliação de edificações INI-C

Decorrente da crise do petróleo da década de 70 que afetou todo o mundo e com objetivo de atender contribuir com a racionalização do uso de energia no Brasil, em 1984, o INMETRO, deu início à discussão sobre a criação de programas de avaliação de conformidades de desempenho, prestando informações sobre a eficiência energética dos equipamentos (PBEEDIFICA, 2023).

Dessas discussões surgiu o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), com várias dimensões, uma das quais responsável pela avaliação de conformidade, por meio da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), a qual atesta informações de desempenho de diversos produtos, tais como: como ar-condicionado, refrigeradores, fogões, veículos e edifícios. De acordo com o PBE EDIFICA (2023), atualmente 38 programas fazem parte do PBE.

O PROCEL Edifica, Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações, instituído em 2003 pela ELETROBRAS/PROCEL, promove o uso racional da energia elétrica em edificações, incentivando a conservação e o uso eficiente de recursos, reduzindo desperdício e impacto ambiental.

Do PBE e do PROCEL Edifica, nasceu o PBE Edifica por meio do Decreto nº 4059/2001, regulamentado pela Lei nº 10.295/2001, criando comitês e grupos técnicos voltados para a eficiência energética nas edificações (PBEEDIFICA, 2023). Nas competências do PBE Edifica, foram criados os Requisitos Técnicos da Qualidade (RTQ) para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais de Serviços e Públicos (RTQ-C) e os Requisitos Técnicos da Qualidade de Residência (RTQ-R) e documentos complementares. Em 2022, o RTQ-C foi aprimorado, surgindo a Instrução Normativa INMETRO para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).

A INI-C especifica os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais e de serviços e públicas no que tange à eficiência energética, visando etiquetar a edificação com a ENCE, utilizando como metodologia de cálculo equações e fatores de conversão desenvolvidos utilizando técnicas de Redes Neurais Artificiais e métodos de

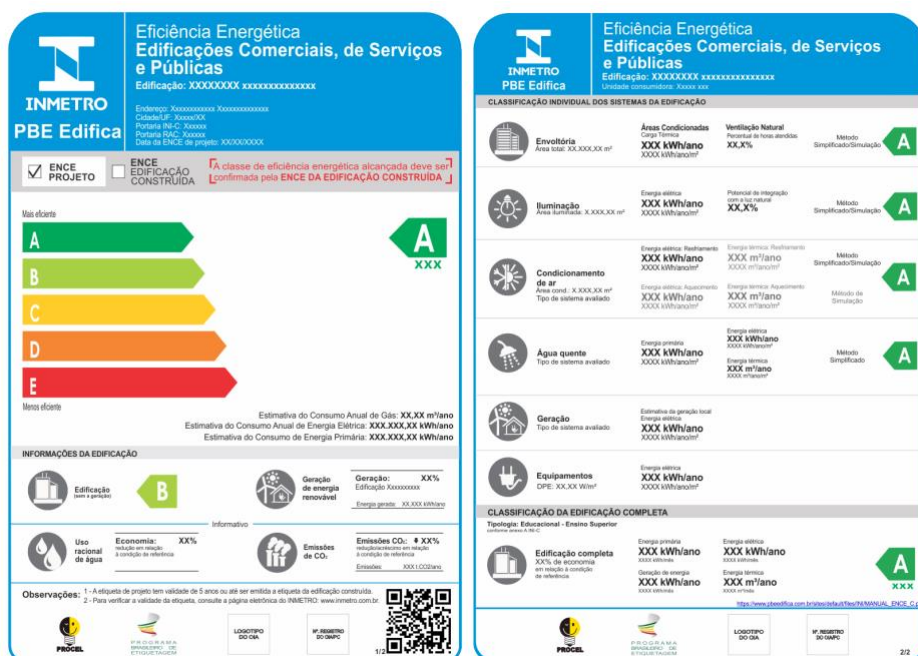
simulações computacionais que obedecem a uma série de requisitos de uso (INMETRO, 2022a).

A ENCE pode ser obtida através da observação dos requisitos de mensuração da eficiência energética da INI-C e é dividida entre (INMETRO, 2022a):

- ENCE geral: fornecida para edificações, ou parcela do edifício, que tenham sido avaliados todos os sistemas aplicáveis (envoltória, iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água), exceto sistema de aquecimento de água para algumas tipologias; e
- ENCE parcial: para edificações avaliadas entre uma ou mais combinações de envoltória e algum dos sistemas divididos entre envoltória completa; envoltória completa e sistema de condicionamento de ar; envoltória completa e sistema de iluminação; envoltória completa e sistema de aquecimento de água; envoltória completa e outros dois sistemas.

As etiquetas geral e parcial também podem ser concedidas para as edificações em fase de projeto, havendo também a possibilidade de ENCE Autodeclarada, exclusiva para projetos, podendo ser avaliado todos ou alguns sistemas. A Figura 8 ilustra a etiqueta ENCE de projeto.

Figura 8 – Primeira e segunda página da etiqueta ENCE de projeto



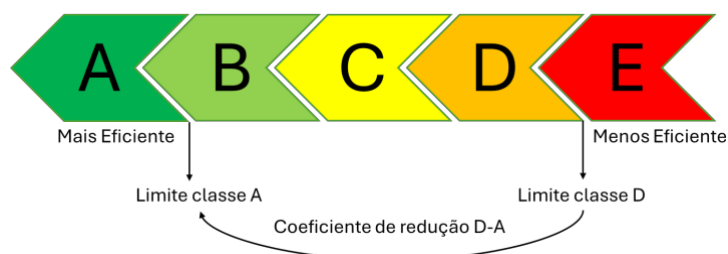
Fonte: PBE Edifica (2022).

De acordo com a norma, a estimativa do consumo para a classificação pode ser realizada através do método simplificado ou por simulação computacional. Esta pode ser

realizada para qualquer edificação, exceto para o sistema de aquecimento de água. Aquela pode ser usada se a edificação atender aos critérios mínimos e máximos especificados (INMETRO, 2022a).

Para determinar, de acordo com o INMETRO (2022a), a classificação a ser etiquetada, é necessário calcular o percentual de redução do consumo estimado de energia primária comparando-se a edificação real com a edificação em sua condição de referência, equivalente a classificação D, a partir dos dados de cada uma das tipologias disponíveis na norma. Em caso de o valor calculado ser negativo, a edificação é classificada como E. A Figura 9 ilustra as escalas de classificação.

Figura 9 - Escala para classificação de eficiência energética da INI-C



Fonte: Autor (2024) adaptado de PBE Edifica (2022).

A avaliação do desempenho dos sistemas de condicionamento de ar e do sistema de iluminação podem ser realizados pelo método simplificado e pelo método da simulação, não sendo necessário a observância dos limites de aplicação relacionados à envoltória, tornando-se obrigatório em caso de a finalidade ser a etiquetagem. Ambos os sistemas são assim classificados segundo INMETRO (2022a):

- Para o sistema de condicionamento de ar, a classificação baseia-se na comparação de redução do consumo do sistema com a condição de referência, dividindo-se a avaliação entre os sistemas com capacidade menor ou igual a 17,6 kW (equivalente a 60.000 BTU/h) e sistemas com capacidade superior a 17,6 kW.
- A avaliação do sistema de iluminação é realizada de acordo com a potência total instalada. A classificação é realizada considerando-se o uso da edificação ou dos ambientes, obtendo-se o valor da potência limite para as classes D e A.

Uma novidade implementada na INI-C foi a inclusão da avaliação de edificações de energia quase zero, *nearly zero energy building* (NZEB) em inglês, e de edifícios de energia positiva (EEP), estimulando a geração de energia renovável e geração distribuída.

2.2.1 Edifício de Energia Quase Zero e Edifício de Energia Positiva

Uma edificação com energia zero, *zero energy building* (ZEB), pode ser entendida como um edifício energeticamente autônomo. De acordo com Singh e Verma (2014), um NZEB pode ser definido como um edifício que produz tanta energia quanto consome a partir de fontes de energias renováveis no local, podendo haver trocas de energia com uma concessionária, desde que o balanço líquido anual seja zero. Os autores defendem que para essa marca pode ser alcançada por meio de instalação de geração de energia no local e de ações de eficiência energética, o que pode resultar em até 43% de redução do uso de energia com medidas como envoltória de alto desempenho, instalação de equipamentos e sistemas de iluminação, uso de técnicas de refrigeração e aquecimento passivo, dentre outras.

Pless e Torcellini (2010) classificam os ZEB em 4 categorias distintas, a partir de um ponto de vista atribuído de acordo com a óptica econômica e de sustentabilidade:

- Energia líquida zero no local: produzir tanta energia quanto consumir no período de um ano, no local;
- Fonte de energia líquida zero: uma fonte ZEB produz tanta energia quanto consome no período de um ano, contabilizado na fonte (energia primária utilizada para gerar e entregar energia no local);
- Custo de energia zero: balanço entre o valor que seria pago à concessionária de energia pelo uso e o valor de energia injetado na rede por produção local; e
- Emissões líquidas zero: produção de energia verde, sem emissões de poluentes, igual ou maior a fontes que emitem poluentes.

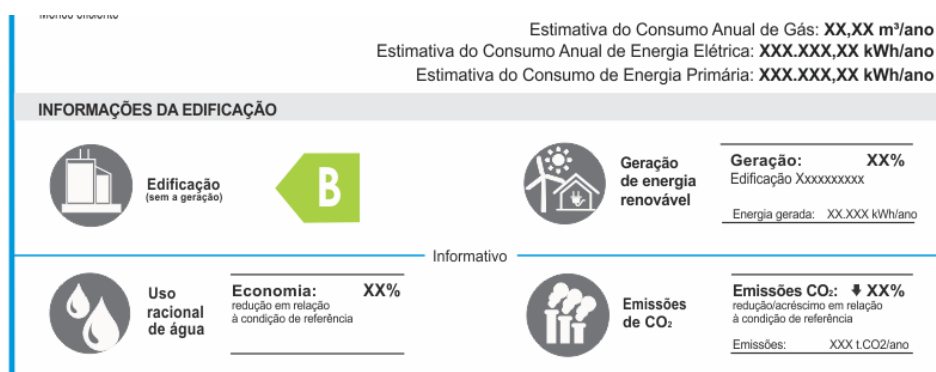
A INI-C define NZEB como aquele que é “[...] energeticamente eficiente, cuja geração de energia renovável produzida nos limites da edificação ou do lote em que a edificação está inserida supre 50% ou mais de sua demanda anual de energia.” (INMETRO, 2022a, p. 12). Já um EEP é entendido como uma edificação “[...] cuja geração de energia renovável produzida nos limites da edificação ou do lote em que a edificação está inserida é superior à sua demanda anual de energia.”.

Pelas definições entendidas e aceitas internacionalmente confrontadas com o entendimento da norma nacional, é perceptível que o legislador adotou uma postura mais conservadora dos percentuais de equilíbrio energético em prédios brasileiros, sendo o conceito de EEP mais aproximado do conceito de NZEB internacional. Devido essa Instrução Normativa ser o padrão legislativo mais aceito no Brasil, esta pesquisa avaliará o objeto de estudo com base nos padrões da INI-C. Contudo, ao comparar os resultados de NZEB e EEP

da pesquisa com padrões internacionais de NZEB, é mais correto avaliar o resultado do EEP encontrado com NZEB de trabalhos internacionais.

A edificação classificada como NZEB e/ou EEP pode ser conferida na ENCE logo abaixo da classificação de eficiência, conforme ilustra a Figura 10, na qual são vistos os percentuais de geração e de consumo de energia elétrica, utilizados para classificar a edificação dessa maneira.

Figura 10 - ENCE geral demonstrativo de geração de energia



Fonte: PBE Edifica (2024).

Este trabalho não tem como objetivo determinar a classificação de eficiência da envoltória da edificação utilizada como estudo de caso, assim como não tem o objetivo de avaliar a etiquetagem geral ou parcial da edificação e sistemas. A contribuição dessa Instrução Normativa na discussão ocorre na análise de eficiência dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar e na avaliação do enquadramento ou não da edificação como um NZEB e/ou EEP e, em caso de negativa, a possíveis soluções para que assim seja classificado.

2.3 Aplicações em outros trabalhos

Paixão (2020) aplicou um método de gestão energética em um prédio da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Onde desenvolveu IDEs, tais como, consumo médio por metro quadrado (kWh/m²) e consumo médio por aluno (kWh/aluno). Esses indicadores tinham o objetivo monitorar permanentemente o desempenho energético, fazendo a comparação com uma Linha de Base Energética seguindo o que orienta a ISO 50006. Foi identificado que cerca de 73% do consumo de energia elétrica concentrava-se nos condicionadores de ar.

Souza (2022) desenvolveu um sistema de gestão de energia com base na norma ISO 50001:2018 nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Seu estudo concluiu que três prédios eram responsáveis por maior parte do consumo de energia do *campus*: bloco de aulas A, bloco de laboratórios L1 e o restaurante universitário (RU). Na

análise do consumo do RU, foi constatado que os equipamentos de refrigeração eram os responsáveis por maior percentual do consumo de energia ativa do prédio, distribuído entre as câmaras frias, *freezers*, *buffet* frio e geladeiras. O principal IDE utilizado no estudo foi o consumo de energia anual por aluno, medido em kWh/aluno, resultando em valores de 114,1 kWh/aluno no RU do *campus*.

Pesquisadores também investigaram a eficiência energética de 11 edificações de uma universidade localizada em Seul, Coreia do Sul (CHUNG e RHEE, 2014). O estudo destaca que quanto mais antigo o edifício, menor a eficiência energética, pois ao longo dos anos os prédios vão mudando de função e, com isso, novas características são necessárias e adaptações são feitas. Além disso, a característica do consumo também muda devido à mudança dos usuários. Chung e Rhee (2014) afirmam que é insuficiente atestar eficiência energética de um prédio universitário baseado somente no consumo devido à sazonalidade de utilização de alguns edifícios enquanto outros, mesmo nos períodos de férias, permanecem com o consumo inalterado ao longo do ano.

Silva (2022) realizou um estudo simulado de eficiência energética utilizando *benchmarking* para a tipologia de um centro de saúde adotando um arquétipo padrão para esse tipo de serviço. O trabalho realizou diversas simulações computacionais considerando vários aspectos. Foram desenvolvidos, também, modelos preditivos baseados em aprendizado de máquina e redes neurais artificiais. O estudo constata que a utilização desses modelos apresentou os menores erros de consumo energético frente aos edifícios utilizados para validação.

Estudando a mesma tipologia de edificações, Nourdine e Saad (2019) sistematizaram uma metodologia de medição que consiste no mapeamento de cargas, do consumo e outros critérios que a administração do prédio julgar relevante. O trabalho toma como referência a norma internacional ISO 50006 para a construção de IDE e LBE. Para a análise em questão, foram adotados os indicadores de consumo por área construída por ano (kWh/m²/ano) e consumo por leito por ano (kWh/leito/ano).

Shim e Lee (2018) realizaram uma pesquisa na Coreia aplicando dois métodos combinados de estruturação de processos para determinar quais os IDE para indústrias. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram entrevistados diversos profissionais da área, além de consultores e auditores. Como resultado, constataram que o método de regressão linear é o mais eficaz para determinação dos indicadores quando há as variáveis necessárias. Entretanto, a intensidade energética é o indicador mais adequado. Apesar de o estudo ser voltado para as

indústrias, o modelo aplicado traz uma abordagem para instalações de potência elevada, como é o caso de uma universidade.

Salih *et al* (2021) realizou um estudo em residências localizadas no semiárido do Iraque com objetivo de aferir o consumo de energia elétrica com estratégias de *retrofit* nessa região para casas com um arquétipo comum do local. Sete cenários foram simulados, os quais envolviam desde isolamentos de paredes e telhados até a troca de janelas e solários no teto. Observaram que o isolamento do telhado foi o que mais reduziu a demanda por resfriamento e aquecimento, não ocorrendo viabilização do projeto devido ao alto valor do investimento. A pesquisa evidenciou como melhor estratégia relacionando custo e benefício a vedação de saídas de ar e utilização de películas de revestimento. Conjuntamente, os cenários estudados resultaram em uma economia de 49%, resultado considerado satisfatório pelos autores.

Simulações desenvolvidas por Brema e Abraham (2018) observaram os efeitos da luz no ambiente sobre o conforto térmico e o consumo de energia elétrica com climatização de ambientes de um hospital no semiárido da Índia. Foi constatado que a troca da janela de vidro simples por uma janela de vidro duplo aumentou a quantidade de luz incidente no ambiente e diminuiu os efeitos da radiação solar, tornando o ambiente mais frio. Realizando análise pelo método da Dinâmica de Fluidos Computacionais, os autores demonstraram variação da temperatura no inverno e no verão. Com isto, puderam observar que o tipo de janela proporciona um conforto térmico adequado mesmo nos períodos mais quentes.

Errabai *et al* (2021), desenvolveram uma análise comparativa entre o desempenho energético ocasionado pela utilização de técnicas de isolamento térmico e buscaram verificar a rentabilidade do investimento nesses isolantes para diferentes cenários entre duas habitações localizadas em uma região semiárida na Argélia, sendo uma habitação padrão e uma habitação de alto desempenho energético. Os resultados do estudo mostraram que o efeito desses isolantes passivos é muito positivo, tendo sido observada, no melhor cenário, redução anual do uso de gás natural para aquecimento de 57% na edificação de alto desempenho energético e redução anual no consumo de energia de 51%. Em relação a análise econômica, observaram-se resultados satisfatórios para alguns casos. A relação identificada foi que o projeto é mais rentável para os casos em que os valores do custo com energia elétrica são maiores e no caso em que há o subsídio para os isolantes.

Oliveira (2021) estudou a viabilidade de análise e aplicação da metodologia RTQ-C na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) *campus* Caraúbas. A partir das problemáticas encontradas, dentre outras de acesso à informação, foi realizado a análise da classificação da eficiência energética de vários prédios universidade, porém, com mais ênfase

devido a quantidade de dados de blocos de salas de aula I, II e III. A autora realizou uma estimativa de consumo e demanda teórico para os prédios devido à falta de medidores individuais. Os resultados foram validados comparando-se proporcionalmente seus impactos na fatura de energia total do *campus*. Da análise da carga instalada, foi identificado que as principais cargas eram de ar-condicionado e iluminação. Dada as limitações para avaliação da envoltória dos prédios, foi considerada, então, como o pior caso para fins de classificação geral. Logo, a análise de classificação foi realizada para os dois sistemas citados.

O resultado referente ao restaurante universitário aponta uma classificação A para o sistema de iluminação e inconclusivo para o de ar-condicionado e geral. Os blocos de sala de aula I, II e III foram classificados como B, B e A, respectivamente, para o sistema de iluminação, e A para o sistema de ar-condicionado para todos os prédios. A classificação geral foi dúvida entre com e sem a bonificação pela geração fotovoltaica, resultando em A e B, respectivamente.

No mesmo estudo, relativamente ao o bloco de sala de aulas I, Silva (2021) calculou a carga térmica necessária para o resfriamento das salas de aula e também realizou estimativas do custo de modernização do sistema existente. Foi identificado que os equipamentos estavam subdimensionados, ou seja, com uma quantidade instalada inferior ao ideal, ocasionando uma sobrecarga de utilização o que possivelmente explica a degradação avançada percebida nos aparelhos. Muitos deles apresentavam problemas e defeitos, mesmo sendo novos e com tecnologia moderna. O autor propõe a readequação da carga para o valor correto, assim como defende a utilização de modelos de ar-condicionado tipo Vazão de Refrigerante Variável (*variable refrigerant flow - VRF*), mesmo com um custo operacional mais elevado.

Pouey *et al.* (2020) utilizou o método da simulação computacional descrito na INI-C por meio do *software EnergyPlus* para realizar o cálculo da carga térmica total e consumo elétrico de um edifício da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e determinar a classificação de eficiência do edifício, além de verificar se o mesmo atendia aos critérios para ser considerado NZEB e/ou EEP. A pesquisa concluiu que o prédio tem uma excelente eficiência energética com características construtivas que o favorecem, como aberturas de janelas voltadas para o norte. A simulação realizada atestou alta eficiência, classificando o prédio como “A” e, pela utilização de recursos energéticos distribuídos com uma usina fotovoltaica, o prédio atendeu aos critérios para ser considerado tanto NZEB quanto EEP.

Um estudo comparativo entre o método RTQ-C e os métodos da INI-C, de simulação computacional e simplificado, foi realizado por Pimentel *et al.* (2020). A pesquisa foi realizada tomando como estudo de caso o Pavilhão do Exército Brasileiro na cidade de

Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Foram avaliados 52 cenários, em que todos obtiveram a classe “A” e concluiu-se que os resultados obtidos pelos dois métodos INI-C são compatíveis apresentando baixa variação entre os valores resultantes.

2.4 Mercado de carbono

Preocupadas com a elevação da temperatura da Terra decorrentes da ação humana comparado ao período pré-industrial, as maiores potências do mundo voltaram seus olhos para o meio ambiente. Em 1997, decorrente do Protocolo de Quioto, países industrializados integrantes da Organização das Nações Unidas (ONU) firmaram um acordo para que países desenvolvidos reduzissem suas emissões de gases do efeito estufa (GEE) em cerca de 5% relação ao ano de 1990 até o período compreendido entre 2008 e 2012 (VARGAS, 2022; PORTO et al., 2014).

Dentre as flexibilizações acordadas para o alcance das metas, o comércio de cotas de emissões foi estabelecido, permitindo transferências internacionais de cotas de emissão de GEE entre países (VARGAS, 2022). Significa que em caso de um país atingir a meta indo além, reduzindo mais do que o estabelecido, o país ficaria com crédito de carbono o qual pode ser vendido para países cujas metas não foram alcançadas. Esse arranjo cambial entre países ficou conhecido como *cap-and-trade*, ou mercado regulado de carbono.

O Brasil, por ser um país em desenvolvimento, não consta no rol de países signatários ao acordo. No entanto, existe um segundo tipo de mecanismo de compensação de emissões no qual os agentes não estão vinculados a legislações obrigatórias; situação em que governos, empresas ou particulares se propõem a reduzir voluntariamente a emissão de GEE na natureza. Nesse sentido, não há regulação formal, mas esses agentes podem ser remunerados pela redução ou remoção de emissões através do mercado voluntário de carbono (VARGAS, 2022).

No Brasil, há um projeto de lei aprovado no Congresso Nacional com objetivo de criar o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). Este normativo irá reger o mercado regulado, bem como estabelecer diretrizes para o mercado voluntário (BRASIL, 2023b). Apesar da ausência de regulamentação nacional, o Brasil tem crescido sua participação na geração de compensações de emissões no mercado voluntário. De acordo com Vargas (2022), a quantidade de compensações emitidas em 2018 foi de 2,2 milhões de créditos, enquanto em 2021 foi de 45,2 milhões. Levando-se em consideração que um crédito equivale a 1 tCO₂e (tonelada de dióxido de carbono equivalente), o Brasil, em 2021, reduziu ou removeu 45,2 milhões de tCO₂e da atmosfera no mercado voluntário.

Visando honrar o compromisso assumido pelo país na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2015 (COP 21), a Política Nacional de Biocombustíveis foi criada objetivando atingir as metas anuais de descarbonização do setor de combustível. Desta política, surge a primeira moeda de carbono oficial, o CBIO, que pode ser negociado na Bolsa de Valores do Brasil, a B3. Fica criado, assim, um mercado de carbono nacional, onde há um ambiente em que é possível negociar o CBIO e outros ativos indexados ao Índice de Carbono Eficiente (ICO2) (FORNARO, 2022).

Com o avanço das discussões mundiais e da legislação nacional, a B3 anunciou a criação de uma bolsa para negociação de ativos de carbono, a exemplo dos Certificados de Redução ou Remoção de Emissão de Gases de Efeito Estufa (equivalente a 1 tCO₂). A negociação ocorrerá por meio da tecnologia de *blockchain*, uma de cadeia de dados que utiliza contratos inteligentes de forma segura e imutável (RIBAS, 2023).

2.5 Conclusão do capítulo

Neste capítulo foram vistos os principais pontos necessários para o entendimento do estudo: o Sistema de Gestão de Energia (através de uma explanação a respeito da ISO 50001:2018 e da ISO 50006:2016) e a metodologia de aplicação da INI-C. A ISO 50001 apresenta um modelo adaptável e aplicável a qualquer organização de acordo com as fronteiras e escopo. A ISO 50006 surge como pilar fundamental da mensuração do desempenho energético, sugerindo a realização da medição através dos Indicadores de Desempenho Energético e da Linha de Base Energética. A INI-C, focada na etiquetagem de edificações, aborda uma metodologia de classificação da eficiência energética da envoltória e/ou sistemas. Ademais, essa norma estabelece os requisitos para um edifício ser considerado como de energia quase zero e de energia positiva. Há também uma introdução sobre e a origem e o funcionamento do mercado de carbono.

Foram discutidas diferentes aplicações de SGE e da INI-C através de trabalhos realizados por outros autores, tanto no Brasil quanto em outros países. No capítulo seguinte são apresentados os métodos de aplicação desta pesquisa, com descrição do local de estudo de caso, das bases de dados consultadas e das equações e *softwares* utilizados.

3 MÉTODO

O presente trabalho desenvolveu-se a partir de uma abordagem quantitativa. Consoante o objetivo, a pesquisa é classificada como exploratória-descritiva, valendo-se de um estudo de caso para realizar a coleta e análise de dados. Construiu-se, também, uma base de dados, a partir das informações concedidas e autorizadas pela instituição cujo prédio era o ambiente de pesquisa, a UFERSA *campus* Caraúbas.

O Restaurante Universitário (RU), Figura 11, é responsável pela alimentação de centenas de usuários diariamente, em especial discentes dos cursos de graduação da universidade. O prédio foi construído com sua cobertura em alvenaria, lajeada em lajota cerâmica e telha de fibrocimento. Possui uma área útil de 1055,72 m², dividida em 39 ambientes, como o refeitório, área de cocção, salas de preparos, dentre outros.

Figura 11 - Restaurante Univerisitário da UFERSA *campus* Caraúbas



Fonte: Autor (2023).

A fachada do prédio é coberta com revestimento cerâmico branco e pintura em cor azul *royal* e branco. Possui janelas de vidro simples com esquadrias e caixilhos de alumínio e 4 folhas de vidro com persianas horizontais externas de metal a 45° nas janelas com incidência direta do sol. Não há persianas nas janelas localizadas na fachada leste coberta por laje.

Internamente, o ambiente do refeitório é climatizado artificialmente com aparelhos de ar-condicionado do tipo *split* cassete, *split inverter* e *split* convencional. Outros ambientes, cozinha e banheiros, fazem uso de ventilação natural.

O espaço é utilizado por uma empresa terceirizada contratada para uso oneroso do prédio com objetivo de fornecer refeições. No Termo de Referência do processo licitatório para utilização do prédio, especifica-se que a energia elétrica consumida no prédio será

aferida mensalmente pelos fiscais do contrato em um medidor exclusivo, de acordo com os dados abertos via Sistema de Integrado de Patrimônio, Administração e Contratos (SIPAC/UFERSA).

Para autorizar o consumo das refeições, o RU conta com um sistema informatizado de registro diário dos alunos da graduação e da pós-graduação, gerando dados que também são documentados. Além dos registros em sistema, os docentes, técnicos-administrativos, colaboradores terceirizados e quaisquer membros da comunidade externa podem utilizar dos serviços, compondo o que se denominou de “usuários” do restaurante. Para esses grupos de usuários não discentes, é necessário assinar uma lista a qual, ao fim de cada mês, é contabilizada manualmente para compor a folha de pagamento à empresa prestadora do serviço.

Com base nos registros de quantidade de refeições servidas, foi possível aferir a quantidade de usuários do prédio no período das medições de energia elétrica, atentando-se para o horário em que foram realizadas o registro de consumo, pois, se aferidas à tarde, seria necessário incluir ou excluir o quantitativo de usuários no almoço ou no jantar nos meses medidos. Além disso, foi acrescentado 8 usuários extras, o quantitativo de colaboradores que trabalham no RU. Dessa maneira, foi possível tabelar uma série histórica do consumo de energia elétrica do prédio com precisão da quantidade de usuários que o utilizaram no mesmo período.

A metodologia utilizada consiste em:

- Coleta de dados;
- Análise de correlação estatística entre as variáveis;
- Proposição, simulação e análise dos cenários com ações de eficiência energética e do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFRC); e
- Comparação entre diferentes indicadores simulados.

3.1 Carga instalada

Para o desenvolvimento dessa pesquisa de acordo com a metodologia da ISO 50001:2018, foi realizada uma inspeção visual *in loco*. Por meio disso, um levantamento da carga instalada do prédio foi elaborado, bem como a verificação da rotina e possíveis falhas de eficiência energética. Utilizando planilhas eletrônicas, o levantamento foi elaborado conforme a Equação 1, a partir da qual foi realizado o somatório de todos os equipamentos agrupados com suas respectivas potências

$$Ci = \sum Qtd.Eq * P \quad (1)$$

Em que,

Ci é a carga instalada [kW];

$Qtd.Eq$ é a quantidade de equipamentos semelhantes; e

P é a potência do equipamento quantificado [kW].

3.2 Dados climáticos

Os dados climáticos apresentados foram coletados através da Estação Meteorológica Automática (EMA), localizada dentro da universidade a poucos metros do RU. A EMA utiliza como aparelho de medição um HOB0 RX3000 *Station – Ethernet*. A estação é capaz de coletar, a cada 5 minutos, dados climáticos como:

- Temperatura do ar;
- Umidade Relativa do ar;
- Ponto de Orvalho;
- Evapotranspiração de referência;
- Velocidade do vento;
- Direção do vento;
- Rajada de vento;
- Umidade Relativa;
- Radiação Solar Global; e
- Precipitação pluviométrica.

Os dados podem ser acessados em plataforma própria no *site* da instituição¹. Nesta pesquisa, foi necessária a coleta dos dados de temperatura média mensal e radiação global média mensal em um período entre março de 2022 e março de 2024. Utilizou-se critérios de inclusão e exclusão de dados irrelevantes à finalidade almejada, retirando-se aqueles de radiação inferiores a 12 W/m², pois a média calculada do mês apresentava valores equivocados devido a quantidade de medições realizadas à noite, resultando, portanto, em um período diário de medição correspondente entre 5:10 e 05:45h até 17:10 e 17:40h. A média mensal máxima e mínima dos dados foram calculadas e coletadas na faixa de medição citada.

¹ Link de acesso à estação meteorológica: <https://hobolink.com/p/175fc5b80720c04a02cfbdf8e0024526>

3.3 Software RETScreen

O software *RETScreen* é uma ferramenta criada pelo governo canadense para auxiliar os estudos de viabilidade técnica e financeira de diversos tipos de projetos baseados em *benchmarking*, como ações de eficiência energética, geração de energia elétrica central distribuída ou híbrida, projetos de aquecimento e refrigeração e outros (CANADÁ, 2023). A ferramenta pode ser usada para avaliação do custo do ciclo de vida, produção ou conservação de energia (de diversos combustíveis) e redução da emissão dos gases do efeito estufa (GEE), contando também com uma base de dados climáticos da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) (CANADÁ, 2023).

Neste trabalho, o *RETScreen* foi utilizado para simulação e avaliação das propostas de Ações de Eficiência Energética (AEE) estimadas como prováveis soluções energéticas no estudo de caso. Em se tratando de técnicas de eficiência energética, quatro cenários foram simulados e encontram-se descritos no Quadro 2.

Quadro 2 - Cenários simulados

Cenário	Ação de Eficiência Energética (AEE)
1	Troca do ar-condicionado classe B (atual) por <i>Inverter</i> Classe A
2	Aplicação de manta térmica aluminizada 35 mm
3	Troca dos vidros simples por insulados (duplos)
4	Todas as ações concomitantes

Fonte: Autor (2023).

Além das AEE, a ferramenta também foi utilizada para estudar a viabilidade técnica e econômica de uma Geração Distribuída (GD) de tipologia fotovoltaica conectada à rede elétrica. Baseado no consumo ativo e nos dados climáticos, foi dimensionado que uma usina de 48,84 kWp atende às necessidades da instalação. No Quadro 3, são detalhados os componentes do sistema.

Quadro 3 - Componentes do sistema fotovoltaico

QTD	Item	Potência	Descrição
111	Módulo	440 Wp	Eficiência 20,3%, Coef. de

	JAM78S10-440MR		temperatura 0,4 %/°C, perdas diversas 1%
1	Inversor GW50KLV-MT	50 kW	Eficiência 98,7%, trifásico, perdas diversas 1%

Fonte: Autor (2024).

Devido ao prédio analisado se tratar de uma edificação pública, foi necessário realizar uma busca por valores de referências para aquisição de materiais e serviços dessa natureza em órgãos da administração pública na plataforma de compras do Governo Federal do Brasil (BRASIL, 2023a) e no Portal da Transparência (Controladoria Geral da União - CGU, 2024). Os valores simulados foram estimados de acordo com uma licitação pública efetuada pela própria UFERSA por meio do Pregão Eletrônico nº 38/2020 (SIPAC/UFERSA, 2024).

A análise financeira desenvolvida no *software* exige a entrada de alguns parâmetros, os quais foram utilizados para todos os cenários: custo do combustível, reajuste do custo do combustível, taxa de inflação, taxa de desconto, tempo de ciclo de vida. Para as simulações dos cenários envolvendo a redução da carga térmica, foi necessária a utilização de dados como transmitância térmica, coeficiente de performance (COP) e índice do desempenho de resfriamento sazonal (IDRS). As configurações utilizadas no *software* podem ser conferidas no Apêndice A.

3.3.1 Custo do combustível

O custo do combustível ou preço da eletricidade corresponde ao valor da fatura de energia paga dividido pelo valor do consumo ativo no período. O valor utilizado foi calculado com base na média do período de base conforme a Equação 2, resultando em 0,6211 R\$/kWh.

$$CC = \frac{Vp}{Ca} \quad (2)$$

Em que,

CC é o custo do combustível [R\$/kWh];

Vp é o valor pago [R\$]; e

Ca é o consumo ativo [kWh].

3.3.2 Reajuste do consumo do combustível

Periodicamente, os preços dos produtos e serviços consumidos pela população sofrem correções. Na geração, transmissão e distribuição de energia, os consumidores finais

percebem esse reajuste no valor da tarifa de energia cobrada, e em cada setor (residencial, industrial, poder público etc.) o valor corrigido pode ser diferente.

A fim de determinar qual o percentual adequado de reajuste necessário para a simulação, também conhecido como taxa de escalada, utilizou-se a metodologia indicada no *Life Cycle Costing Manual* (Manual do Custo do Ciclo de Vida, em português), desenvolvido pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) do governo dos Estados Unidos (KNEIFEL e WEBB, 2020). Para determinar a taxa de escalada nominal é necessário, primeiramente, calcular o aumento de preço nominal através da Equação 3.

$$C_t = C_0 * (1 + E)^t \quad (3)$$

Em que,

C_t é o preço da *commoditie*, nesse caso da energia elétrica, no período;

C_0 é o preço da *commoditie* no momento inicial;

t é o período, que pode ser em dias, meses ou anos; e

E a taxa de escalada nominal.

Com base no valor encontrado para a taxa de escalada nominal, é possível calcular a taxa de escalada real através da Equação 4.

$$e = \frac{1 + E}{1 + I} - 1 \quad (4)$$

Em que,

e é a taxa de escalada real;

E é a taxa de escalada nominal obtida pela Equação 3; e

I é a inflação do período, no Brasil essa taxa é determinada através do Índice Nacional de Preços ao Consumidor (IPCA).

Os dados referentes aos valores da tarifa de energia ano a ano podem ser encontrados no banco de dados virtual da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2024). Como esta pesquisa tem como estudo de caso uma instituição pública no estado do Rio Grande do Norte, somente os dados referentes ao setor “Poder Público” da companhia elétrica Companhia Energética do Rio Grande do Norte (COSERN) foram coletados a partir do ano 1996 desconsiderando os percentuais de tributação.

3.3.3 Inflação

Inflação é o termo atribuído ao aumento dos preços dos produtos e serviços consumidos pela população, sendo calculada pelos índices de preços, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), órgão brasileiro responsável pela mensuração e

divulgação desse índice. No Brasil, o índice que mede a inflação é chamado de IPCA, Índice Nacional de Preço ao Consumidor Amplo, o qual mede a variação dos preços de produtos e serviços das famílias com renda mensal entre 1 a 40 salários mínimos (IBGE, 2024).

A série histórica do IPCA desde 1996 está disponível no *site* do IBGE, mas o valor alimentado no campo correspondente no *RETScreen* foi calculado utilizando o acumulado dos últimos 12 meses, valor esse adotado como referência inflacionária pelas instituições financeiras a partir de abril de 2024.

3.3.4 Taxa de desconto

A ferramenta mais utilizada na análise de investimento de projetos é o Valor Presente Líquido (VPL), que consiste na concentração dos valores esperados de fluxos de caixa na data inicial e descontada pelo custo de oportunidade daqueles que colocaram recursos no projeto. Essa taxa de desconto também é conhecida como a taxa mínima de atratividade (TMA) (MOREIRA, 2021). De um outro ângulo, a TMA pode ser entendida como a taxa mínima estabelecida pela organização e, a partir dela, o projeto se torna economicamente viável frente à aplicação desse recurso em outro investimento que obtenha retorno nesse percentual estabelecido.

A taxa de desconto aplicada foi de 8% a.a, a mesma especificada no Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 que também é utilizada pelas concessionárias de energia nas chamadas públicas de projetos do Programa de Eficiência Energética (PEE) (EPE, 2008).

3.3.5 Transmitância térmica

De acordo com INMETRO (2022a), transmitância térmica é a quantidade de transmissão de calor em unidade de tempo através da área de um elemento ou componente construtivo, sendo importante para mensurar a quantidade de calor absorvida para o interior da edificação, o que faz elevar a carga térmica. Sua unidade é medida em $W/m^2.K$. No *RetScreen*, os valores são atribuídos aos aspectos construtivos da envoltória do modelo simulado, como paredes, vidros, portas, coberturas etc.

Um estudo simulado de carga térmica variando a transmitância térmica das paredes na envoltória de uma edificação escolar mostrou que uma envoltória com baixa transmitância (que permite uma baixa transferência de calor do meio externo para meio interno) reduz a quantidade de carga térmica, assim como o consumo de energia elétrica para refrigeração quando a temperatura externa era mais alta. No entanto, a quantidade de calor no interior e com uma baixa capacidade de dissipação para o meio externo mais frio (geralmente à noite) necessitava de maior uso do sistema de resfriamento. A conclusão é que se faz necessário

alguma forma de ventilação para saída do calor interno como uso de ventiladores ou abertura de janelas, diminuindo assim a utilização do sistema de condicionamento do ambiente (GOULART e LABAKI, 2020).

3.3.6 Coeficiente de performance

O coeficiente de performance (COP) é definido como a razão entre a capacidade de refrigeração ou aquecimento e a potência elétrica necessária (INMETRO, 2022a). Um sistema de refrigeração é um equipamento com a capacidade de retirar calor do ambiente. Seu desempenho é medido através da relação entre o efeito desejado, refrigeração e quantidade de energia consumida (MEDEIROS e BARBOSA, 2009). O cálculo do COP é realizado conforme a Equação 5. Para obtenção desse dado na pesquisa, foram utilizadas as planilhas de índices de desempenho energético de ar-condicionado do INMETRO, disponível em seu endereço eletrônico.

$$COP = \frac{Cp_r}{C_r} \quad (5)$$

Em que,

Cp_r é a capacidade de refrigeração [w]; e

C_r é a carga de refrigeração [w].

De acordo com a normativa vigente para classificação de eficiência energética de ar-condicionado do tipo *split* por meio do COP, a classe deve ser determinada de acordo com os valores do Quadro 4.

Quadro 4 - Classificação de eficiência de ar-condicionado do tipo *split* baseado no COP

Classe	COP (W/W)
A	$\geq 3,23$
B	$\geq 3,02$

Fonte: Adaptado de INMETRO (2021).

3.3.7 Índice de desempenho de resfriamento sazonal

O índice de desempenho de resfriamento sazonal (IDRS) é entendido como a razão entre a quantidade anual de calor do ar interno removido pelo equipamento (quando utilizado para refrigeração) e a quantidade anual total de energia consumida pelo equipamento. O IDRS considera o desempenho da máquina a 50% e a 100% da carga, para um clima médio brasileiro. Os valores de IDRS atribuídos ao cenário proposto foi obtido por meio da tabela dos novos indicadores de desempenho energético disponibilizados no *site* do INMETRO de acordo com o equipamento escolhido.

A INI-C estabelece requisitos mínimos para atribuição do selo de eficiência “A” para os sistemas analisados. No caso de sistemas de ar-condicionado do tipo *split* com potência abaixo de 19kW (aproximadamente 64.000 BTU’s), o IDRS mínimo precisa ser de 5,50 para equipamentos fabricados até 31/12/2025. Após essa data, o valor de referência passa a ser 7,00 de acordo com o Quadro 5.

Quadro 5 - Classificação de eficiência de ar-condicionado tipo *split* baseado no IDRS

Classe	IDRS (Wh/Wh)	
	Até 31/12/2025	A partir de 01/01/2026
A	$\geq 5,50$	$\geq 7,00$
B	$\geq 5,00$	$\geq 6,00$
C	$\geq 4,50$	$\geq 5,30$
D	$\geq 4,00$	$\geq 4,60$
E	$\geq 3,50$	$\geq 3,90$
F	$\geq 3,15$	$\geq 3,50$

Fonte: Adaptado de INMETRO (2021).

Na portaria 269 de junho de 2021, o INMETRO também estabeleceu um novo padrão de eficiência para a etiqueta dos equipamentos de ar-condicionado, a classe “F” (INMETRO, 2021).

3.4 Cálculo dos indicadores de desempenho energético

Para determinação dos Indicadores de Desempenho Energético (IDE), foi levada em consideração a fronteira do estudo delimitada de acordo com os resultados obtidos no USE, identificado através do levantamento de carga instalada.

Para esta pesquisa, dois IDE foram calculados, sendo um baseado na área e outro na ocupação, tendo como base as definições das ISOs 50001 e 50006, bem como autores de referência, como Paixão (2020) e Rossi (2018). Esses indicadores são capazes de apontar valores de referência sobre a eficiência energética do prédio e possibilitam a comparação com *benchmarking*, organizações e prédios com características semelhantes.

A seguir, aponta-se a respeito de cada um dos indicadores e equações para determinação de seus valores:

- a. Indicador baseado no consumo de energia ativa de acordo com a área útil construída do prédio; calculado utilizando os dados de área (em m²) das plantas do projeto arquitetônico e da série histórica do consumo de energia ativa (kWh) aferido mensalmente. A Equação 6 demonstra como chegar ao resultado.

$$E_{m/ano} = \frac{P}{a} \quad (6)$$

Em que,

$E_{m/ano}$ é o indicador [kWh/m²/ano];

P é a energia ativa consumida no período [kWh]; e

a área útil do prédio [m²].

- b. Indicador de consumo de energia por usuário do prédio; calculado de acordo com a quantidade de usuários no período de medição e o consumo de energia ativa (kWh). Fórmula apresentada na Equação 7.

$$E_{u/ano} = \frac{P}{u} \quad (7)$$

Em que,

$E_{u/ano}$ é o indicador [kWh/usuários/ano];

P é a energia ativa consumida no período [kWh]; e

u é a quantidade de usuários no período.

3.5 Análise estatística

A ISO 50006:2016 orienta o cálculo do IDE utilizando dados de consumo de energia e variáveis relevantes e que nos testes de validade do modelo sejam utilizados testes estatísticos como o Valor-P, Teste-F ou coeficiente de determinação.

Com intuito de conhecer a relação entre a variável dependente (energia ativa) e as variáveis selecionadas, a análise foi realizada calculando o coeficiente de determinação (R^2) e o coeficiente de correlação de Pearson (r). O R^2 é um valor que varia de 0 até 1. Quanto mais próximo de 1, mais correlacionado as variáveis são, demonstrando a adequação do modelo, ou, em outras palavras, o quanto a variabilidade dos dados explica o modelo (PAIXÃO, 2020). Esse estudo foi realizado utilizando a energia ativa como variável dependente Y e a variável estudada como X. O r de *Pearson* determina a correlação linear entre as variáveis e demonstra o grau de força de relação entre as variáveis. O r varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo dessas extremidades mais fortes, valores negativos quando inversamente proporcional e positivo quando diretamente proporcional. Os valores do coeficiente podem ser assim classificados de acordo com Dancey e Raidy (2006): $r = 0,10$ até $0,30$ (fraco); $r = 0,40$ até $0,60$ (moderado); e $r = 0,70$ até 1 (forte).

3.6 Sistema de condicionamento de ar

A classificação da eficiência energética para o sistema de ar-condicionado é determinada de acordo com o percentual de redução do consumo para refrigeração ($RedC_r$) da edificação real com a edificação de referência classe D. O percentual é calculado de acordo com a Equação 8, e o intervalo de classe varia de acordo com a zona bioclimática na qual a edificação está localizada.

$$RedC_r = \frac{C_{R.refD} - C_{R.real}}{C_{R.refD}} * 100 \quad (8)$$

Em que,

$RedC_r$ é o percentual de redução do consumo para refrigeração [%];

$C_{R.refD}$ é o consumo de energia com refrigeração na condição de referência [kWh/ano];

$C_{R.real}$ é o consumo de energia com refrigeração na condição real [kWh/ano].

O $C_{R.refD}$ é obtido através da Equação 9, a qual relaciona a carga térmica total de referência da edificação classe D com o consumo dos equipamentos.

$$C_{R.refD} = \frac{CgTT_{refD}}{2,6} + \frac{W_{vent} * h * N_{ano}}{1000} \quad (9)$$

Em que,

$CgTT_{refD}$ é a carga térmica total anual de referência classe D [kWh/ano];

W_{vent} é a potência do equipamento de refrigeração;

h as horas de utilização diárias dado na norma de acordo com a tipologia do prédio; e

N_{ano} dias de ocupação no ano dado na norma de acordo com a tipologia do prédio.

A consumo de refrigeração da edificação real é calculado de acordo com a Equação 10.

$$C_{R.real} = \frac{CgTT_{real}}{CEE_r} \quad (10)$$

Em que,

$CgTT_{real}$ é a carga térmica total anual da edificação real [kWh/ano]; e

CEE_r é o coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar [adimensional].

O cálculo do coeficiente de eficiência energética (CEE_R) do sistema de condicionamento de ar pode ser calculado de três maneiras, para equipamentos cujas potências são inferiores a 17,6 kW (60.000 BTU/h), baseado no COP, no IDRS e no CSPF (*Cooling Seasonal Performance Factor*). Neste trabalho foi utilizado as duas primeiras

formas como apresentado na Equação 11, para os equipamentos cujo coeficiente é baseado no COP, e Equação 12, para equipamentos cujo coeficiente é baseado no IDRS.

$$CEE_R = \frac{CgTT_{real}}{\frac{CgTT_{real}}{1,062 * COP} + \frac{W_{vent} * h * N_{ano}}{1000}} \quad (11)$$

$$CEE_R = \frac{CgTT_{real}}{\frac{CgTT_{real}}{IDRS} + \frac{W_{vent} * h * N_{ano}}{1000}} \quad (12)$$

Em que,

COP coeficiente de performance do equipamento [adimensional]; e

$IDRS$ é índice de desempenho de resfriamento sazonal [adimensional].

Calculadas todas as parcelas que compõe a equação da redução percentual de consumo para refrigeração ($RedC_R$), relaciona-se o resultado obtido com os intervalos de classificação da Figura 12 na linha correspondente a zona bioclimática 8.

Figura 12 – Intervalos de classificação do sistema de ar-condicionado

Classificação climática	RedC _R (%)				
	Classif. A	Classif. B	Classif. C	Classif. D	Classif. E
Zonas bioclimáticas 1, 2 e 3	RedC _R > 51	51 ≥ RedC _R > 34	34 ≥ RedC _R > 17	17 ≥ RedC _R ≥ 0	RedC _R < 0
Zonas bioclimáticas 4, 5 e 6	RedC _R > 48	48 ≥ RedC _R > 32	32 ≥ RedC _R > 16	16 ≥ RedC _R ≥ 0	RedC _R < 0
Zonas bioclimáticas 7 e 8	RedC _R > 43	43 ≥ RedC _R > 29	29 ≥ RedC _R > 14	14 ≥ RedC _R ≥ 0	RedC _R < 0

Fonte: (INMETRO, 2022a).

Para calcular as cargas térmicas total anual da edificação real e de referência ($CgTT_{real}$ e $CgTT_{refD}$), utiliza-se a interface INI-C de simulação de carga térmica de edificações comerciais, de serviços e públicas. A ferramenta é capaz de captar dados de aspectos construtivos da edificação relacionados à transferência de calor, bem como dados de orientação solar de acordo com a zona bioclimática da região.

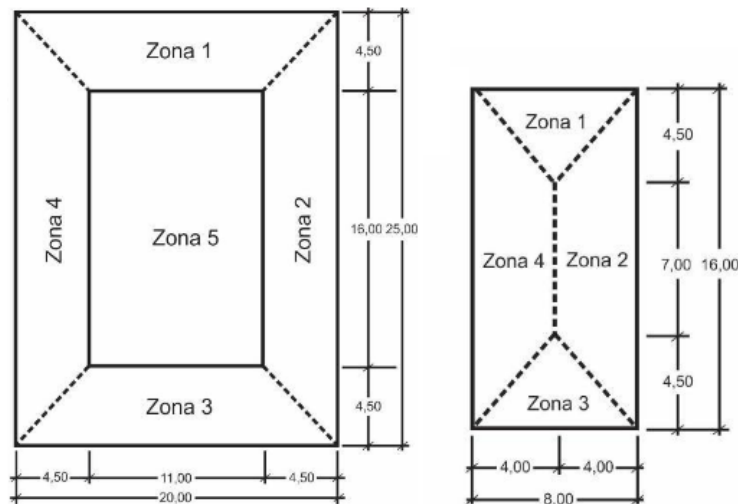
A INI-C adota o conceito de zona bioclimática como uma região homogênea quanto aos elementos climáticos que interferem nas relações entre o ambiente construído e o conforto humano térmico. O território brasileiro foi dividido em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima utilizando como base de dados as médias mensais de temperaturas máximas e mínimas, a média mensal da umidade relativa do ar, assim como dados das normais climatológicas de diversas bases de dados (ABNT, 2005). No estudo de caso, a zona bioclimática correspondente é a 8.

A utilização da ferramenta de cálculo da carga térmica só é possível após a determinação das zonas térmicas da edificação, as quais são divididas de acordo com: a

tipologia da edificação; tipo de sistema de condicionamento de ar; pé-direito; espaços com piso com contato direto com o solo, isolado, ou em contato com o exterior; e espaços com abertura em contato com o exterior. As zonas térmicas também devem ser divididas entre perimetrais, quando suas extremidades fazem contato com o exterior da edificação, e interno, quando suas extremidades são adjacentes à outra zona térmica.

As zonas térmicas perimetrais devem ser delimitadas em espaços de 4,5 m de profundidade com tolerância de 1,0 m, totalizando 5,5 m em relação à face interna da parede externa. As zonas internas são os espaços além das zonas perimetrais delimitadas. Quando a largura de uma edificação for menor ou igual a 9 m, então não haverá zonas internas. A Figura 13 ilustra a maneira adequada de determinar as zonas térmicas perimetrais e internas.

Figura 13 - Delimitação de zonas térmicas



Fonte: Adaptado de (INMETRO, 2022a).

3.7 Sistema de iluminação

A determinação da classe de eficiência energética do sistema de iluminação é realizada calculando o percentual de redução do consumo de iluminação na condição real em relação à condição de referência classe D, de acordo com a Equação 13.

$$RedC_{IL} = \frac{C_{ILrefD} - C_{ILreal}}{C_{ILrefD}} * 100 \quad (13)$$

Em que,

$RedC_{IL}$ é o percentual de redução consumo de iluminação [%];

C_{ILrefD} é o consumo de iluminação na condição de referência [kWh/ano]; e

C_{ILreal} é o consumo de iluminação real [kWh/ano].

Para calcular o consumo de iluminação real (C_{ILreal}), é feita a multiplicação da potência de iluminação total real da edificação pelas horas de uso e quantidade de dias de utilização ao longo de ano, de acordo com a tipologia do prédio e os valores de referência determinados nas tabelas da norma. Para o estudo de caso a tipologia é “Restaurante”, em que foi utilizado 8 horas de uso diário ao longo de 350 dias de ocupação no ano. A Equação 14 descreve o cálculo.

$$C_{ILreal} = \frac{P_{IT} * h * N_{ano}}{1000} \quad (14)$$

Em que,

P_{IT} é a potência de iluminação total [W];

h é a quantidade de horas de utilização de acordo com a INI-C; e

N_{ano} é a quantidade de dias de ocupação no ano de acordo com a INI-C.

O P_{IT} por sua vez, é calculado a partir da Equação 15. Alguns tipos de iluminação são desconsiderados na INI-C, como a potência instalada para iluminação de marquises, iluminação ornamentais etc.

$$P_{ITreal} = \sum P_{IU} + \sum PI + P_{ASP} \quad (15)$$

Em que,

P_{IU} é a potência de iluminação controlada automaticamente [W];

PI é a potência de iluminação sem controle automático [W]; e

P_{ASP} é a potência sem projeto luminotécnico ou iluminação projetada, mas não instalada [W], calculada multiplicando 1,5 pelo valor da potência de iluminação limite de classe D, calculado de acordo com a Equação 17.

Para o cálculo do consumo de iluminação do valor de referência nas classes D e A (C_{ILrefD} e C_{ILrefA}), é utilizado a Equação 16 substituindo o valor da potência de iluminação limite (P_{ILrefx}) das classes de eficiência correspondente, D ou A, de acordo com as tabelas da norma para a tipologia restaurante. Em outras palavras, para obter C_{ILrefD} aplica-se a P_{ILrefD} na Equação 16. Para obter o valor referente à classe A, faz-se o processo análogo. O valor da potência de iluminação limite é obtido através da Equação 17.

$$C_{ILrefx} = \frac{P_{ILrefx} * h * N_{ano}}{1000} \quad (16)$$

Em que,

C_{ILrefx} é o consumo de iluminação para a classe de eficiência que se deseja calcular, A ou D [W]; e

PIL_{refx} é a potência de iluminação limite para a classe de eficiência que se deseja calcular, A ou D [W].

O PIL_{refx} é obtido através do produto da densidade de potência de iluminação do ambiente para a classe A e D, de acordo com as tabelas da norma, vezes a área iluminada, conforme a Equação 17.

$$PIL_{refx} = Ai * DPI_x \quad (17)$$

Ai área iluminada [m²]; e

DPI_x é a densidade de potência de iluminação para a classe que se deseja calcular, A ou D [W/m²]

A classificação da eficiência do sistema é obtida através a comparação do valor obtido do consumo de iluminação ($RedC_{IL}$) com o valor “ i ”, percentual de redução do consumo com iluminação do prédio da classe A e D, calculado pela Equação 18. Relacionando os resultados do $RedC_{IL}$ e do “ i ” conforme os intervalos da Figura 14 é que se determina a classe da eficiência do sistema de iluminação.

Figura 14. Intervalos de classificação do sistema de iluminação

	RedC _{IL} (%)				
	A	B	C	D	E
Classificação de Eficiência	RedC _{IL} > 3i	3i ≥ RedC _{IL} > 2i	2i ≥ RedC _{IL} > i	i ≥ RedC _{IL} ≥ 0	RedC _{IL} < 0

Fonte: (INMETRO, 2022a)

$$i = \frac{\left(\frac{C_{ILrefd} - C_{ILrefA}}{C_{ILrefd}} \right) * 100}{3} \quad (18)$$

Em que,

i é o valor calculado que representa o intervalo entre as classes [%];

C_{ILrefd} é o consumo do sistema de iluminação com classificação D [kWh/m²]; e

C_{ILrefA} é o consumo do sistema de iluminação com classificação A [kWh/m²].

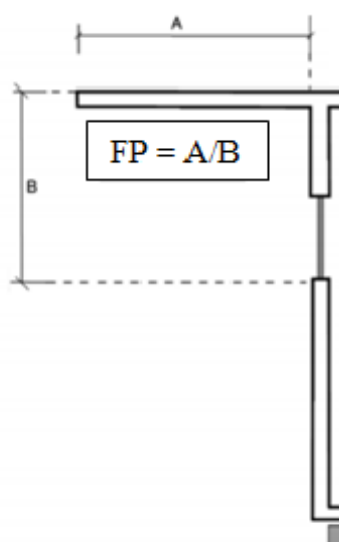
3.7.1 Integração entre o sistema de iluminação e a luz natural

O RU possui em sua fachada janelas que permitem a passagem da luz natural para o seu interior, minimizando, assim, a necessidade do acionamento de lâmpadas ao longo do dia. A INI-C avalia a interação da luz natural vinda de aberturas laterais, como janelas, e aberturas zenitais, como claraboias. O Restaurante Universitário não apresenta em sua estrutura aberturas zenitais. Portanto, só foi estudada a interação das aberturas laterais com o interior do prédio.

A norma apresenta condições de exclusão de zonas primárias de iluminação natural. Abaixo são listadas as condições aplicáveis ao estudo de caso de acordo com o INMETRO, (2022a).

- Serão desconsideradas quaisquer aberturas que estejam localizadas atrás de alguma obstrução permanente maior ou igual a 1,8 m, medida a partir do nível do piso da abertura;
- Serão desconsideradas aberturas laterais de área total do vidro inferior a 1,86 m²; e
- Serão desconsideradas zonas de iluminação natural às aberturas laterais que possuem projeções externas com fator de projeção (FP) maior que 1,0, voltadas ao sul, e 1,5 nas demais orientações, conforme ilustrado na Figura 15.

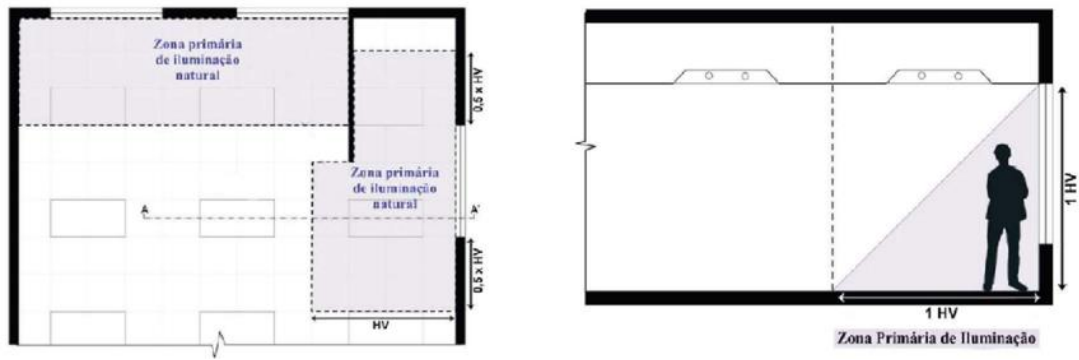
Figura 15. Fator de projeção de aberturas laterais.



Fonte: INMETRO (2022a).

As zonas primárias de iluminação natural para aberturas laterais são áreas adjacentes às aberturas verticais. A profundidade da zona corresponde à altura da verga (HV) da janela, e a largura é igual à largura da janela somado à metade da altura da verga para cada lado da janela, conforme a Figura 16 exemplifica.

Figura 16. Definição das zonas de iluminação natural



Fonte: (INMETRO, 2022a).

3.8 Geração local da energia elétrica da INI-C

Comparativamente aos resultados das simulações realizadas e com objetivo de atestar sua confiabilidade, foi aplicado o método compreendido na INI-C. A normativa estabelece os critérios e métodos para a classificação e etiquetagem de edificações. Neste trabalho, foi utilizada a metodologia abordada do Anexo D - Geração Local de Energia Renovável da norma.

O Anexo D da INI-C aborda requisitos mínimos para que uma edificação de natureza destacada seja considerada Edificação de Energia Quase Zero, *nearly zero energy building* (NZEB) e Edificação de Energia Positiva (EEP). A normativa utiliza a Equação 19 para calcular o potencial de geração (PG) de energia da edificação. Em caso do potencial ser maior do que 50% são considerados NZEB. Para que também seja considerado uma EEP, o PG precisa ser maior do que 100%.

$$PG = \frac{G_{ee} * f_{ce}}{(C_{eereal} * f_{ce}) + (C_{etreal} * f_{ct})} \quad (19)$$

Em que,

f_{ce} fator de conversão de energia elétrica, de módulo 1,6;

f_{ct} fator de conversão de energia térmica, de módulo 1,1;

C_{eereal} consumo de energia elétrica real [kWh/ano];

C_{etreal} consumo de energia térmica real [kWh/ano]; e

G_{ee} geração de eletricidade [kWh/ano].

3.9 Conclusão do capítulo

No capítulo apresentado, foram expostos todos os materiais e métodos utilizados no decorrer da pesquisa. Além de esclarecer todas as características do estudo de caso, foram mostradas as fontes das informações e critérios de inclusão e exclusão de dados, a maneira

como foram tratados e as ferramentas utilizadas para isso. Em seguida, demonstrou-se as equações necessárias para os cálculos dos parâmetros financeiros adotados para as simulações e as utilizadas para determinação dos indicadores e suas relações estatísticas. Por fim, a metodologia de classificação da INI-C foi explicada detalhando todas as equações necessárias para a classificação da eficiência dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar. No próximo capítulo, serão apresentados todos os resultados obtidos.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, todos os resultados da pesquisa serão apresentados e comentados, iniciando pela determinação do escopo, fronteiras, período de linha de base e uso significativo de energia. Em seguida, os agentes climáticos, as variáveis relevantes e os fatores estáticos são determinados e, a partir disso e das normas, os IDE são calculados e comparados com outros autores. É feito o estudo de classificação de eficiência energética para o sistema de condicionamento de ar e de iluminação do prédio. Com base nos resultados, alguns cenários de *retrofit* de ações de eficiência energética são propostos e avaliados técnica e financeiramente. Os resultados encontrados são comparados com um sistema fotovoltaico conectado à rede. Para finalizar, é apresentado o cálculo para o RU ser um NZEB e EEP de acordo com a INI-C e discutida sua relevância no mercado de carbono.

4.1 Escopo e uso significativo de energia

O Restaurante Universitário do *campus* Caraúbas tem o objetivo de fornecer refeições (almoço e jantar) para a comunidade acadêmica, preferencialmente, e não acadêmica. Visto isso, a natureza dos serviços pode ser atribuída ao escopo da organização, essencial para delimitar a fronteira do estudo, conforme a ISO 50001:2018.

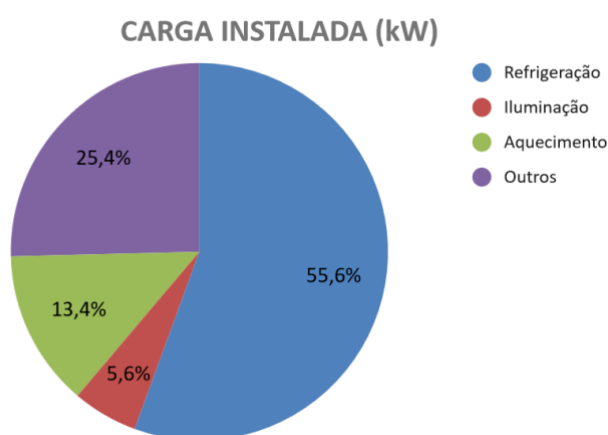
Foi identificado que as principais fontes de energia utilizadas para o pleno funcionamento do prédio são: energia elétrica e gás liquefeito de petróleo (GLP), o qual é abastecido por botijões industriais e utilizado somente para o preparo das refeições, enquanto todos os demais processos de transformação de energia em trabalho são feitos através de energia elétrica. Portanto, foi determinado como fronteira desta pesquisa a utilização de energia elétrica do prédio do RU.

Por se tratar de uso oneroso do espaço interno da instituição, o fiscal administrativo do contrato do RU realiza mensalmente a medição do consumo de energia. Com base nos documentos de registro do referido dado, foi possível levantar uma série histórica do consumo. Importante o esclarecer que o início das atividades do prédio se deu em agosto de 2018. No entanto, ainda não havia sido instalado o medidor de energia, fato ocorrido somente em julho de 2019. Sabe-se também que o prédio foi fechado por dois anos, de março de 2020 a março de 2022, devido à pandemia de COVID-19. Equipamentos elétricos como os instalados no prédio perdem sua eficiência sem uso ou até mesmo deixam de funcionar por conta da depreciação, o que pode ocasionar mudança no perfil de consumo antes e depois do período de paralisação. Há ainda aspectos não quantificáveis, como mudança no perfil de

usuários o que, no entanto, não compete a esta pesquisa analisar. Portanto, foi escolhido como período de linha de base o início das atividades do RU pós-pandemia a partir de março de 2022 até março de 2024.

Determinado o escopo, a fronteira do estudo e o período de linha de base, um levantamento da carga instalada do prédio foi realizado com intuito de averiguar o Uso Significativo de Energia (USE). Esse dado é de suma importância para determinar o perfil de uso de eletricidade do prédio, permitindo ter clareza das possíveis áreas com maior potencial de economia de energia. O resultado do USE do prédio é ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Uso Significativo de Energia



Fonte: Autor (2023).

O levantamento resultou em 55,60% de potência instalada destinada à refrigeração, incluindo a climatização dos ambientes, funcionamento dos refrigeradores de alimentos e de sucos (geladeiras industriais de 2 e 4 portas e 4 câmaras frias, sendo 2 de congelamento e 2 de resfriamento). Este resultado assemelha-se ao obtido por Souza (2022), o qual evidenciou maior percentual da demanda do RU estudado em equipamentos de refrigeração. Já Paixão (2020) observou que 73% da carga instalada é utilizada por aparelhos de ar-condicionado.

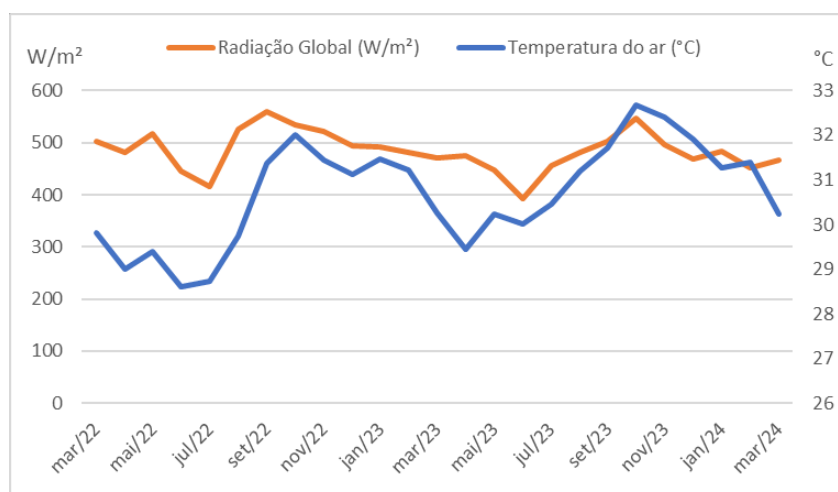
A potência observada para aquecimento está distribuída em aparelhos como fornos elétricos, lavadoras de louças e mesas de distribuição de alimentos à banho maria. Quanto a potência classificada como “Outros”, que aparece como o segundo maior potencial de carga instalada, configuram-se diversos equipamentos essenciais para os preparos das refeições e conforto dos colaboradores que prestam serviço, tais como liquidificador industrial, descascador de legumes, exaustores, *notebook*, impressoras e outros.

4.2 Variáveis relevantes e fatores estáticos

O *campus* está localizado em uma região semiárida do oeste potiguar brasileiro, onde a média de temperatura máxima pode chegar a 38°C (INMET, 2023). Sua localização geográfica no globo terrestre, abaixo da Linha do Equador e acima do Trópico de Capricórnio, também contribui para as altas temperaturas e índices de radiação global. O clima da região é um fator ambiental de muita relevância, pois pode alterar os equipamentos que influenciam na carga instalada de um prédio de tipologia e arquétipo semelhante em outras localidades do Brasil.

Com base nos dados fornecidos pela plataforma em HOBOLink (2023), foi possível traçar duas curvas, a da temperatura (°C) média mensal e a da radiação global (W/m²) média mensal durante o período de linha de base como visto na Figura 18.

Figura 18 - Temperatura e radiação global da região



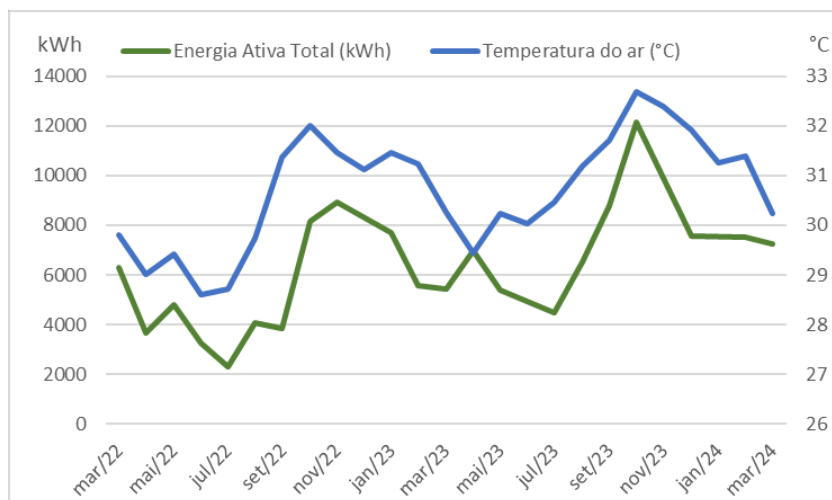
Fonte: Autor (2024).

Percebe-se pelo gráfico que ambos os dados têm relação direta um com o outro. Esse dado torna-se muito relevante ao pensar em técnicas de eficiência energética voltadas à redução do consumo de energia elétrica. Com índices bons de radiação solar como os apresentados, a instalação de uma usina solar fotovoltaica certamente teria um excelente desempenho na produção de energia, mesmo levando em consideração as perdas de geração devido às altas temperaturas.

Como demonstrado no gráfico do USE (Figura 17), a maior potência em kW de equipamentos é de refrigeração, o que torna possível a inferência de que a temperatura ambiente influencia de forma diretamente proporcional no consumo de energia devido ao aumento da carga térmica no interior da edificação, fazendo necessária a retirada de maior quantidade de calor do ambiente, elevando, conseqüentemente, o consumo. Com base nisso,

foi feito o cruzamento da curva do consumo de energia ativa no período de linha de base frente ao gráfico da temperatura para o mesmo período. O resultado está ilustrado na Figura 19.

Figura 19 - Energia ativa e temperatura no período de base



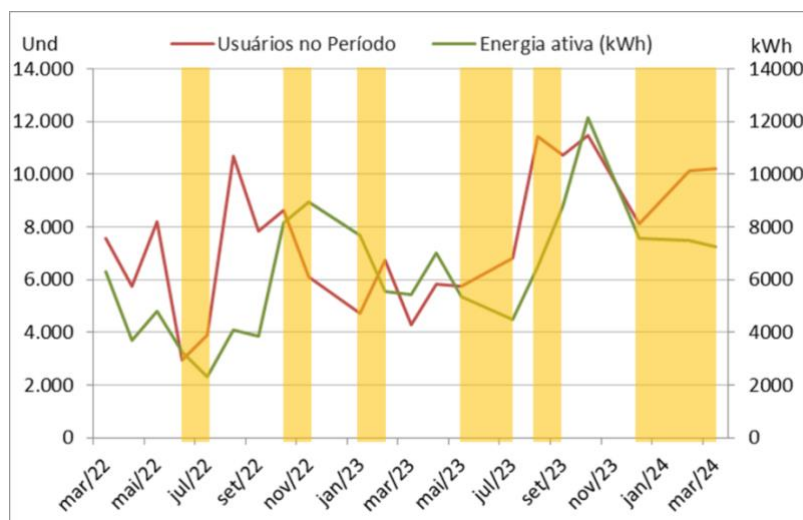
Fonte: Autor (2024).

Pelo gráfico, nota-se a semelhança entre a curva da energia ativa e a temperatura do ar, comprovando, assim, a hipótese de que devido à quantidade de carga instalada com equipamentos de refrigeração e o clima característico, a temperatura faz o consumo de energia seja elevado ou diminuído. Ressalva-se, porém, que em alguns meses é percebida uma relação inversa, a exemplo de março e abril de 2023. Isso é explicado pelas intercorrências no uso de alguns equipamentos ao longo do período de linha de base, principalmente os aparelhos de climatização do refeitório.

A relação diretamente proporcional entre temperatura e consumo do ar-condicionado ocorre por conta de que as trocas de calor com o meio externo e a entrada e saída constante dos usuários faz os compressores desses equipamentos trabalhar mais para chegar na temperatura de *setpoint*, valor de temperatura que o aparelho tenta atingir e então interrompe o funcionamento do compressor. Essa relação da quantidade de usuários influenciando no consumo pode ser observada no gráfico da Figura 20. É importante ressaltar que o restaurante funciona apenas durante os dias letivos estabelecidos no calendário acadêmico, de segunda a sexta com fornecimento de almoço e jantar e aos sábados somente almoço. Nota-se em alguns meses drástica redução da quantidade de usuários devido ao período de recesso acadêmico iniciar e finalizar ao longo do mês, como é o caso entre o mês de junho e julho de 2022, nos quais o semestre letivo 2022.1 iniciou no dia 25 de junho, levando a um volume muito alto de usuários na última semana do mês. A correlação entre as duas curvas mostra-se um pouco

mais fraca do que a correlação com a temperatura. No gráfico da Figura 20 estão destacados em amarelo os momentos em que foi registrada ação inversa entre as variáveis.

Figura 20 - Energia ativa x nº de usuários



Fonte: Autor (2024).

Pelo gráfico acima, também é percebido o aumento do consumo ativo a partir de outubro 2022. Ao longo do referido mês, houve o retorno da totalidade dos ar-condicionados do refeitório que estavam parados devido a problemas técnicos. Isso aliado aos elevados índices de temperatura contribuiu para o consumo mesmo com a queda do número de usuários. A mesma hipótese poderia explicar a discrepância entre os meses de novembro de 2022 e janeiro de 2023.

Chung e Rhee (2014) preocupam-se com a dificuldade em analisar a eficiência energética de um prédio com base no consumo devido a mudança de perfil sazonal. Entretanto, é interessante notar que, na Figura 20, no primeiro semestre do ano civil a quantidade de energia ativa é inferior ao segundo semestre. Apesar da diferença no módulo do consumo, é possível perceber a presença de um padrão de consumo de energia elétrica ao longo do ano no prédio.

Das curvas da Figura 19 desprende-se o entendimento de uma grande diferença nos valores correspondentes às temperaturas entre os meses de julho de 2022 e outubro de 2022, coincidentes com o aumento do consumo de energia ativa. O mês julho de 2022 apresenta o menor consumo de energia ativa do período, 2.308,00 kWh, assim como tem o segundo menor dado de radiação global média, 416,85 W/m², conforme os dados da Tabela 1. A variação de temperatura desse mês apresenta um pico de 36,25 °C, enquanto a temperatura média do mês foi de 28,73 °C, ou seja, nota-se que o mês de julho apresenta uma variação de

temperatura com picos acima dos 31 °C, mas a predominância do mês está abaixo desse valor inferindo um conforto térmico mais ameno.

No mês outubro de 2022, foi registrado um valor de temperatura do ar máxima de 39,06 °C, enquanto a mínima de 19,39 °C, uma variação de aproximadamente 20 °C. O valor médio registrado foi na ordem de 32 °C. Comparado com o mês de julho, a diferença das médias foi de 3,29 °C. Nota-se que, assim como esperado a partir do comportamento da radiação e temperatura na Figura 18, a média da radiação global correspondente foi 21,83% maior com picos de radiação de 1.279,00 W/m² (Tabela 1).

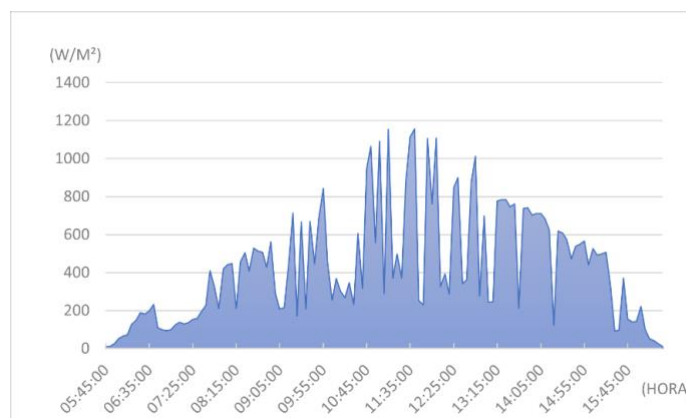
Tabela 1 - Comparativo entre os meses julho e outubro de 2022

Mês	Temperatura		Radiação		Energia	
	Temperatura do Ar média (°C)	do Ar máxima (°C)	Temperatura do Ar mínima (°C)	Global média (W/m²)	Radiação máxima (W/m²)	Ativa Total (kWh)
jul/22	28,73	36,25	20,29	416,85	1.158,00	2.308,00
out/22	32,02	39,06	19,39	533,28	1.279,00	8.165,00
Δ	3,29	2,81	-0,90	116,43	121,00	5.857,00

Fonte: Autor (2023) com dados de HOBOLink (2023).

No que tange à radiação, foi observado que, no mês de julho, o maior pico foi de 1.158,00 W/m² registrado apenas uma vez no mês (dia 02). Ao longo de todo o mês, a variação foi inferior a esse valor, demonstrando muitas quedas acentuadas ocasionadas provavelmente pela presença de dias nublados. A Figura 21 ilustra a medição ao longo de todo o dia.

Figura 21 - Curva da radiação global no dia 02/07/2022

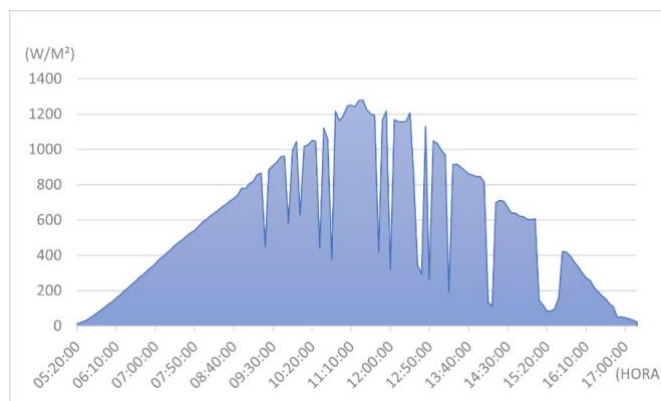


Fonte: Autor (2023) com dados de HOBOLink (2023).

Em contrapartida, como visto na Tabela 1, o mês de outubro apresenta um pico de 1.279,00 W/m², valor registrado diversas vezes ao longo do mês. Observa-se também que as

curvas diárias das radiações têm menos quedas, indicando horas de sol prolongadas e menos presença de dias nublados. Na Figura 22, observa-se um dos dias em que foi registrado o valor de pico.

Figura 22 - Curva da radiação global no dia 14/10/2022



Fonte: Autor (2023) com dados de HOBOLink (2023).

A mesma análise foi observada para o ano seguinte, 2023, seguindo o padrão de variação climática de acordo com a radiação global da região, na qual o mês de julho registrou a menor temperatura do ar do ano, enquanto o mês de outubro registrou a maior temperatura, dessa vez superando a casa dos 30 °C. Além disso, assim como o padrão climático, foi observado um padrão de consumo. O mês de julho de 2023 registrou a menor quantidade de energia ativa consumida e outubro a maior. Os dados referentes aos meses citados são vistos na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparativo entre os meses julho e outubro de 2023

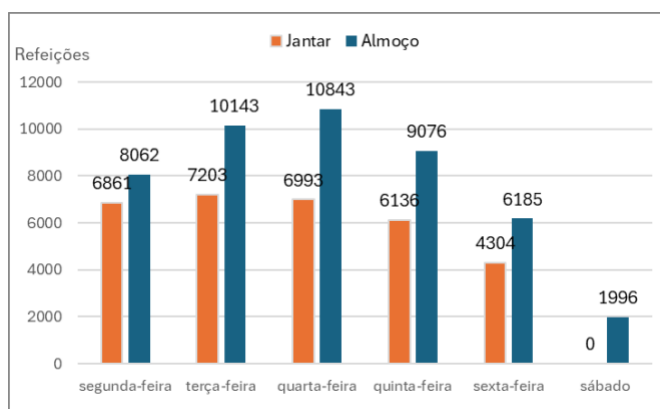
Mês	Temperatura do Ar média (°C)	Temperatura do Ar máxima (°C)	Temperatura do Ar mínima (°C)	Radiação Global média (W/m²)	Radiação máxima (W/m²)	Energia Ativa Total (kWh)
jul/23	30,45	36,34	19,79	456,18	1.189,00	4.470,00
out/23	32,68	40,23	21,13	546,61	1.279,00	1.2142,00
Δ	2,23	3,89	1,34	90,43	90,00	7.672,00

Fonte: Autor (2023) com dados de HOBOLink (2023).

Portanto, dos dados observados percebe-se que a região se encontra privilegiada em sua posição global para captação da energia solar. Os elevados e constantes índices de radiação incidentes na área em que o prédio está construído mostram-se favoráveis para instalação de uma usina solar fotovoltaica, mesmo tendo em vista as perdas de geração por temperatura ambiente elevada.

Com base nos gráficos apresentados, no USE e no entendimento do escopo do prédio estudado, foram determinadas algumas variáveis relevantes que afetam o consumo do RU: temperatura ($^{\circ}\text{C}$) média mensal, radiação global (W/m^2) média mensal e quantidade de usuários. Ademais, foi observado um fator estático que também influencia no consumo de energia, os dias da semana devido ao cardápio semanal e à distribuição de aulas. É definido como fator estático por apresentar baixa ou nenhuma variação do padrão durante o período de avaliação. O cardápio semanal ao longo do mês, apesar de variado, tende a se repetir, a exemplo das quartas-feiras, quando é servida feijoada com frango empanado, e, de acordo com os documentos de registro de refeições, este é o dia da semana com pico de usuários. Logo, espera-se que neste dia o consumo de energia elétrica seja maior. Ademais, as aulas na universidade ficam acumuladas ao longo de três dias, terça, quarta e quinta-feira. A Figura 23 ilustra a relação entre os dias da semana e usuários, demonstrando a quantidade de refeições servidas em cada dia da semana registrado pelo sistema da universidade.

Figura 23 - Relatório de refeições servidas no ano de 2023



Fonte: Autor (2024).

4.2.1 Análise estatística

Observados os dados, foi realizada uma análise estatística de correlação entre o consumo de energia ativa total do período de linha de base e as variáveis. O resultado é observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Estudo estatístico

Método	Temperatura	Radiação	Nº de usuários
r de Pearson	0,7845	0,4127	0,5184
Coef. de determinação R^2	0,6155	0,1703	0,2687

Fonte: Autor (2024).

Conclui-se que, dentre as variáveis relevantes, a que apresenta o maior R^2 também apresenta um r considerado “forte”, que é a temperatura média mensal, enquanto a radiação e quantidade de usuários apresentaram um r “moderado”, ambos com R^2 com determinação que demonstra uma fraca relação direta. Quanto aos valores da temperatura, mais uma vez foi comprovada a influência desse aspecto climático no consumo ativo de energia total do restaurante.

A correlação moderada encontrada na quantidade de usuários com o consumo pode ser um indicativo que a atual tecnologia de climatização de ambiente não é adequada para o padrão comportamental do prédio. Devido à característica de ser muito rotativo, com variações de quantidade simultânea de pessoas, utilizar uma solução que opera com velocidade variável, como os equipamentos com tecnologia *Inverter* e VRF (Vazão de Refrigerante Variável), pode ser uma ação de eficiência energética apropriada, medida também defendida por Silva (2021). Esse tipo de equipamento mantém a temperatura interna de forma mais eficiente, pois o compressor fica ligado ininterruptamente com variação de potência, sendo capaz de identificar com maior precisão a variação da temperatura em detrimento do *setpoint*, tornando-o mais eficaz na identificação da carga térmica instantânea.

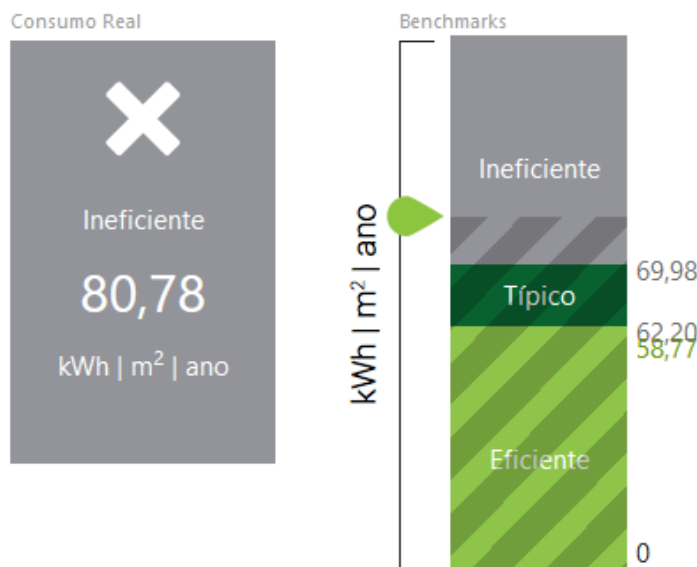
4.3 Indicadores de desempenho energético

De posse dos dados apresentados anteriormente, foram estimados dois IDE: a energia ativa consumida por metro quadrado por ano ($\text{kWh/m}^2/\text{ano}$) e a energia ativa por usuário por ano (kWh/usuário/ano). A ISO 50006 considera o IDE baseado na dimensão do espaço físico como “subótimo” pois se tratando de um fator estáticos raramente é relevante para aparelhos elétricos. Por sua vez, um IDE baseado na ocupação é um melhor indicador para o prédio (ABNT, 2016), conforme abordado na seção 2.1.1. Outros autores utilizaram indicadores iguais ou semelhantes em arquétipos universitários ou outro tipo, como em Paixão (2020), Souza (2022) e Nourdine e Saad (2019) Os valores dos indicadores foram calculados de acordo com as equações 5 e 6, respectivamente. Obteve-se, como resultado, um quantitativo de $80,78 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$ e $0,88 \text{ kWh/usuário/ano}$.

O Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis (CBCS) disponibiliza uma plataforma online de mensuração e qualificação do desempenho de diversos tipos de *benchmarking*, incluindo edificações públicas e restaurantes (CBCS, 2024). O indicador é então classificado como “Eficiente”, “Típico” e “Ineficiente”. Utilizando a plataforma mencionada e alimentando com os dados coletados e utilizando a opção de cidade mais próxima disponibilizada, Apodi/RN, o valor calculado foi de $80,78 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$,

corroborando o calculado. O resultado da avaliação da plataforma da CBCS é visto na Figura 24.

Figura 24 - Simulação plataforma CBCS

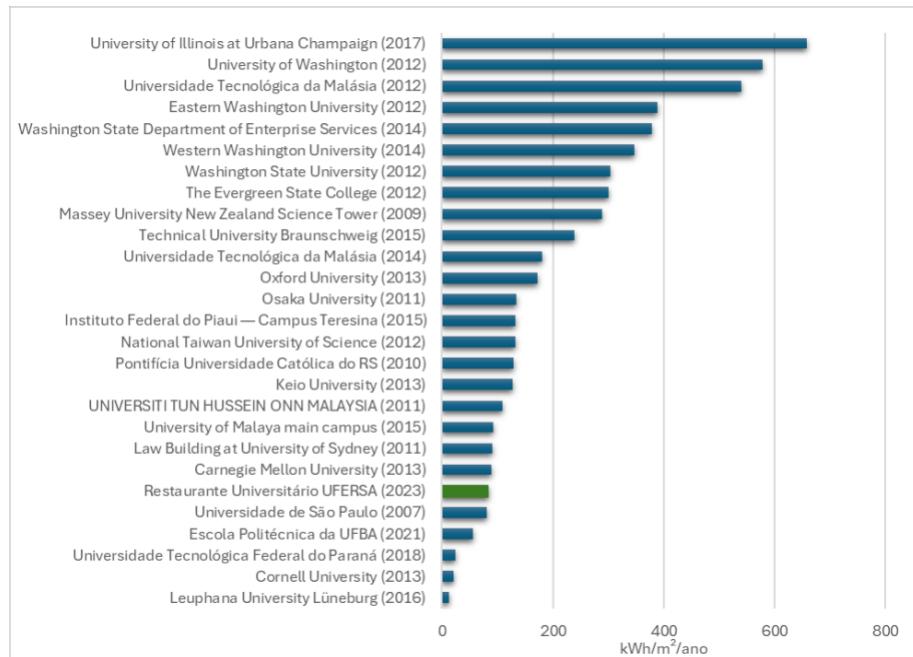


Fonte: Autor (2024).

A plataforma considera em seus cálculos a envoltória, a densidade de potência, densidade de potência de iluminação, o tipo de climatização o ambiente e a tecnologia correspondente, a área física e o tipo de restaurante, se é à *la carte* ou *self service*/bandeijão, quais refeições servem, além de considerar os aspectos climáticos mais próximos da cidade em que o prédio está localizado. O *benchmarking* foi simulado com dados completos de 395 edifícios cobrindo 25 estados do Brasil (CBCS, 2024). Visto isso, a necessidade de adequação da edificação se evidencia. O resultado obtido é um alerta de que o prédio precisa de alguma estratégia de eficiência energética em sua envoltória, reduzindo a carga térmica e a absorção de calor, em equipamentos ou *retrofit* de sistemas.

Apesar da ISO 50006 considerar o IDE kWh/m²/ano como um indicador menos eficiente, muitas literaturas e autores utilizam indicadores baseado na área construída. Assim, procedeu-se ao cálculo desse indicador e sua comparação com outras universidades. Outros estudos calcularam o IDE de acordo com o número de alunos, esta pesquisa calcula do IDE de acordo com os usuários, como já explicado, os quais são majoritariamente alunos da graduação. O resultado desse comparativo com outros estudos pode ser avaliado na Figura 25.

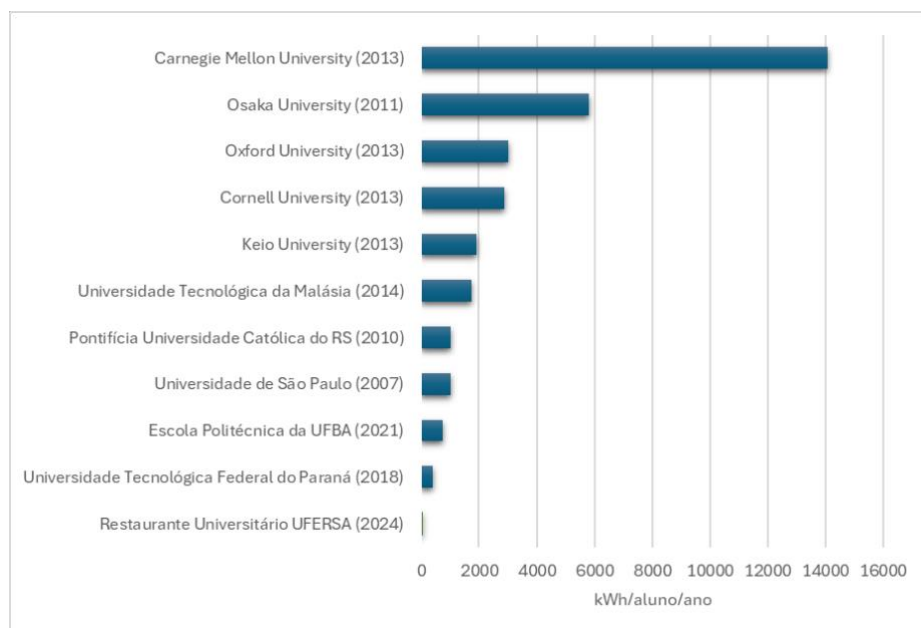
Figura 25 - Comparativo do IDE kWh/m²/ano com outras universidades



Fonte: Adaptado de Rossi (2018) e Paixão (2020).

O IDE kWh/aluno/ano foi estudado por outros pesquisadores de acordo com o número de alunos ocupantes do prédio no período de estudo. Com base no comparativo apresentado na Figura 26, observa-se que o valor resultante para o restaurante da UFERSA é muito inferior aos demais estudos com o mesmo dado analisado (Figura 25).

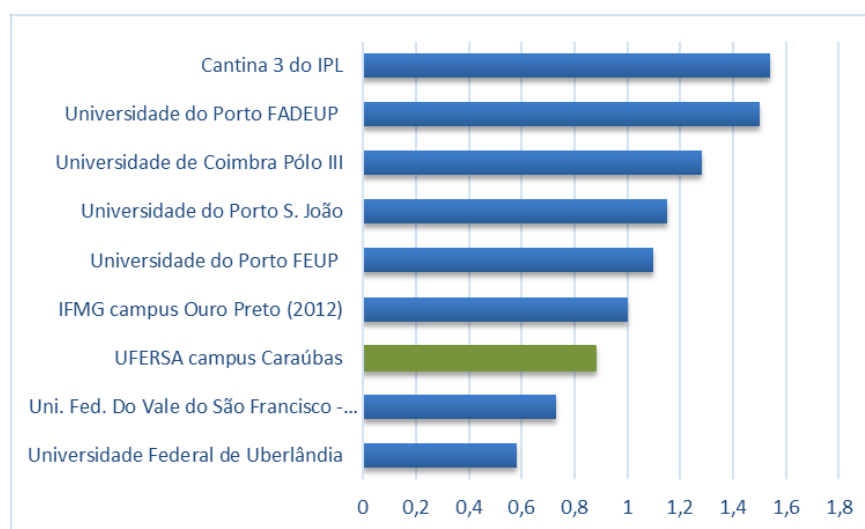
Figura 26 - Comparativo do IDE kWh/usuário/ano com outras universidades



Fonte: Adaptado de Rossi (2018) e Paixão (2020).

O baixo valor de energia consumida por aluno não significa necessariamente um desempenho energético do prédio superior ao restante, mas pode indicar que o comparativo não é válido. Os estudos comparados com os resultados desta pesquisa foram realizados em prédios universitários nos quais a permanência é prolongada, tais como blocos de laboratório e salas de aula, diferentemente do RU, no qual seus usuários permanecem somente para o consumo da refeição. Portanto, seria mais eficaz o comparativo entre pares, ou seja, outros prédios de restaurantes universitários. Na Figura 27, é apresentado um comparativo entre o consumo de energia elétrica para cada refeição servida em restaurantes e cantinas universitárias. Cabe um destaque para estas últimas, pois seus aspectos físicos construtivos se assemelham aos RU's. Pela figura denota-se uma resposta favorável: o RU da UFERSA Caraúbas apresenta um bom desempenho em comparação com os pares. Dentre os estudos analisados, somente 2 tiveram um consumo menor, os demais foram maiores ou iguais a 1,0 kWh/refeição.

Figura 27 - Comparativo do kWh/refeição com outras universidades



Fonte: Autor com dados de Sousa (2011), Pierre, Souza e Bitencourt (2012), UNIVASF (2022) e adaptado de Rodrigues *et al.* (2004).

Com base nas variáveis relevantes que afetam o desempenho energético da edificação, as Ações de Eficiência Energética (AEE) do Quadro 2 foram pensadas e estudadas tendo em vista em seus aspectos construtivos, natureza de operação e fatores ambientais.

4.4 Classe de eficiência do sistema de condicionamento de ar

O restaurante universitário tem diversos ambientes climatizados artificialmente, fazendo uso de tipo de tecnologia de equipamentos distintos com classes de eficiência

distintos, conforme o Quadro 6. 7 equipamentos são utilizados no refeitório e os demais ambientes têm 1 aparelho em cada.

Quadro 6 - Características dos ares-condicionados do RU

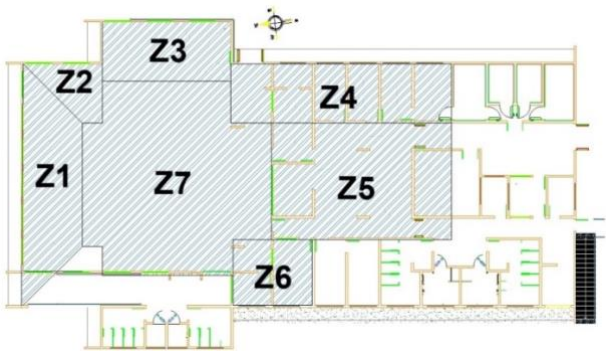
Ambiente	Tipo	Quantidade	Potência (BTUs)	Potência de Refrigeração (W)	COP (W/W)
Refeitório	<i>Split Cassete</i>	7	48.000	4.601,00	3,06
Dispensa	<i>Split High Wall</i>	1	12.000	1.125,00	3,34
Demais ambientes	<i>Split High Wall Eco Inverter</i>	7	9.000	815,00	3,24

Fonte: Autor (2023).

Utilizando a metodologia para determinar a classificação da eficiência energética dos sistemas, inicialmente compara-se o coeficiente de performance (COP) dos equipamentos utilizados com o Quadro 4, o qual apresenta os valores mínimos do COP para as classes A e B. Para o refeitório, temos que a classificação é determinada como “B”, enquanto para a despensa e demais ambientes foram classificados como “A”.

Para determinar a eficiência do sistema pelo método da INI-C, é necessário a, princípio, realizar a distinção das zonas térmicas em zonas perimetrais e zonas internas. Além disso, é necessário definir quais dessas zonas são áreas de permanência prolongada, como o refeitório, caixa, cozinha), pois as áreas de permanências provisórias, como banheiros, não serão avaliadas consoante à norma. Observou-se 7 zonas térmicas para toda a edificação, 5 perimetrais e 2 internas conforme a ilustração da Figura 28.

Figura 28 - Zonas térmicas



Fonte: Autor (2024).

Através da interface de cálculo de carga térmica da INI-C, foi calculado a carga térmica da edificação em sua condição real ($CgTT_{real}$) e de referência classe D ($CgTT_{refD}$). Os valores obtidos são vistos na Tabela 4. Os dados utilizados para a simulação são conferidos no Apêndice B.

Tabela 4 - Carga térmica total calculada

Zona	Carga térmica real (kWh/ano)	Carga térmica referência (kWh/ano)
1	15.816,00	22.908,00
2	4.866,00	7.488,00
3	10.975,00	16.401,00
4	18.493,00	26.973,00
5	28.950,00	31.025,00
6	7.651,00	11.462,00
7	46.378,00	50.644,00
Total	133.129,00	166.901,00

Fonte: Autor (2024).

Com esses valores, é possível determinar as demais variáveis necessárias para estabelecer a classe de eficiência do sistema de refrigeração. Foram realizados os cálculos para determinar a classe de eficiência do sistema de ar-condicionado do refeitório atual e um possível *retrofit* para que o sistema possa ser classificado como A. Pelos resultados da Tabela 5, observa-se que, assim como determinado pela análise do COP, o sistema atual é classificado como “B” para o refeitório. Para a despensa e os demais ambientes cujos equipamentos são classificados como “A”, quando calculado o percentual de redução do consumo para refrigeração, o valor resultante conferiu aos sistemas classificação “B”. O resultado denota que, apesar dos valores de eficiência alto à época da fabricação dos equipamentos, o sistema não é o mais adequado para a tipologia predial na qual está instalada, a qual apresenta uma carga térmica elevada devido às transferências de calor do meio externo para o seu interior (tendo em mente a zona bioclimática da região com suas características de dias muito quentes) e internamente, através dos equipamentos, das pessoas e do processo de cocção.

Tabela 5 - Classificação do sistema de ar-condicionado existente

	Refeitório	Despensa	Demais ambientes
COP	3,06	3,34	3,24
Potência (W)	4.600,00	1.125,00	815,00

CEEr	2,47	3,27	3,25
C _{R,real}	53.846,30	40.682,00	40.972,39
C _{R.refD}	77.072,69	67.342,69	66.474,69
RedCr	30,14	39,59	38,36
Classificação	B	B	B

Fonte: Autor (2024).

Como proposta para tornar o sistema de condicionamento de ar classe “A”, é necessária a readequação dos aparelhos com indicadores de desempenho mais eficientes com tecnologia *inverter* para se adequar melhor às mudanças de carga térmica. A Tabela 6 apresenta uma proposta de *retrofit* do sistema atendendo aos requisitos para que a classificação de eficiência do prédio seja “A” de acordo com os intervalos de classificação e os critérios de elegibilidade para equipamentos abaixo de 19 kW, cujos IDRS devem ser maior ou igual a 5,50.

Tabela 6 - Classificação de eficiência do sistema de ar-condicionado para o caso proposto

	Refeitório	Despensa	Demais ambientes
Unidade interna	KDFI48C2NA	HJFI12C2WB	HJFI12C2WB
Unidade externa	KDFE48C2CA	HJFE12C2CB	HJFE12C2CB
Potência (W)	5.090,00	1.080,00	813,00
IDRS	5,53	7,62	7,60
CEEr	3,47	6,50	6,73
C _{R,real}	38.325,96	20.495,00	19.793,37
C _{R.refD}	78.444,69	78.444,69	78.444,69
RedCr	51,14	73,87	74,77
Classificação	A	A	A

Fonte: Autor (2024).

4.5 Classe de eficiência do sistema de iluminação

Internamente, o sistema de iluminação do prédio é composto majoritariamente por lâmpadas tubulares de LED 20 W de 1,2 m, 6.500 K, distribuídas em luminárias para duas lâmpadas em cada. Na iluminação externa, são utilizados refletores com lâmpadas de bulbo a vapor de sódio com reatores de 150 W e acionamento automático por fotocélulas. Da inspeção visual das luminárias não foi verificado sujeiras ou barreiras que diminuam a luminosidade. Portanto, o prédio se encontra adequado do ponto de vista de manutenção e do uso da tecnologia mais eficiente para o sistema de iluminação.

A classificação da eficiência energética do sistema de iluminação do prédio foi calculada de acordo com a metodologia explicada na seção 3.7. O resultado é visto na Tabela 7, chegando ao mesmo encontrado por Oliveira (2021).

Tabela 7 - Classificação de eficiência energética do sistema de iluminação

Variável	Valor
Horas de uso (h)	8h/dia
N _{ano}	350 dias
Área iluminada (m ²)	796,07
DPIL _D Restaurante (W/m ²)	13,90
DPIL _A Restaurante (W/m ²)	8,40
P _{ITreal} (W)	3.969,53
P _{ILD} (W)	11.065,37
P _{ILA} (W)	6.686,99
C _{ILreal} (kWh)	11.114,68
C _{ILD} (kWh)	30.983,04
C _{ILA} (kWh)	18.723,57
RedC _{IL} (%)	64,13
i (%)	13,19
Classe de Eficiência	A

Fonte: Autor (2024).

Apesar disso, foi verificado que, para o acionamento das lâmpadas do refeitório, somente 3 das 23 luminárias com duas lâmpadas em cada são acionadas por interruptores *three way*. As demais são ligadas diretamente pelo disjuntor de proteção. Ou seja, além da forma inadequada de acionamento, há um circuito muito longo para o acionamento de várias cargas, podendo vir a ocasionar queda de tensão em alguns pontos, diminuindo a eficiência luminosa das lâmpadas e promovendo uma baixa eficiência energética em relação ao uso da energia elétrica pelo sistema de iluminação.

Além do refeitório, foi identificado que há mais quatro ambientes em que o acionamento das lâmpadas é realizado através dos disjuntores de proteção: o corredor da fila, a cozinha, o corredor interno 1 e o corredor interno 2. A Figura 29 ilustra os ambientes cujos acionamentos das luminárias (representadas em azul) são realizados por dispositivos de proteção.

Figura 29 - Ambientes com acionamento de iluminação por disjuntores



Fonte: Autor (2024).

A INI-C estabelece que há critérios de elegibilidade da classificação de eficiência “A”, os quais, quando não atendidos, limitam a classificação do sistema para o máximo “B” e precisam ser atendidos concomitantemente. Os critérios, de acordo com (INMETRO, 2022a), são:

- Ambientes com aberturas voltadas para o exterior ou de coberturas translúcidas e que contenham mais de uma fileira de luminárias paralelas às aberturas devem possuir um controle de acionamento independente, manual ou automático;
- Cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto devem possuir pelo menos um dispositivo de acionamento da iluminação interna de forma independente;
- Áreas internas maiores que 250 m² devem possuir um dispositivo de controle automático para desligamento.

Com base nesses critérios e tendo em vista as janelas ao redor da envoltória do prédio e a ausência de aberturas zenitais (na cobertura), foi realizado uma verificação das zonas de iluminação natural primária incidentes no interior do restaurante.

De acordo com a norma, janelas cujas áreas de vidro menores do que 1,86 m² não são contabilizadas como aberturas laterais para fins de zonas de iluminação natural primária. No prédio, há dois tipos de janelas de 4 folhas, janelas de 1,5 x 2,0 m (ao redor do refeitório) e janelas de 0,4 x 2,0 m (ao redor dos demais ambientes do prédio com parede voltada para área externa, tais como banheiros e salas de preparo). O segundo tipo de janela apresenta uma área de vidro inferior ao limite estabelecido em norma, e, portanto, não será contabilizado.

Das janelas com área de vidro superior ao limite, localizadas ao redor do refeitório, algumas estão cobertas pela própria estrutura de alvenaria do prédio. Essas estruturas são permanentes e maiores que 1,8 m de altura em relação ao piso, o que desqualifica as janelas cobertas para incidências de zonas primárias de iluminação natural.

O RU também conta em suas fachadas norte e leste com uma projeção externa às aberturas laterais. De acordo com a norma, esse tipo de estrutura precisa estar dentro do limite do fator de projeção para que sua sombra não exerça influência na zona de iluminação natural. A Tabela 8 apresenta o resultado do estudo dos fatores de projeção para as fachadas do prédio. Nenhuma das projeções ultrapassou o limite.

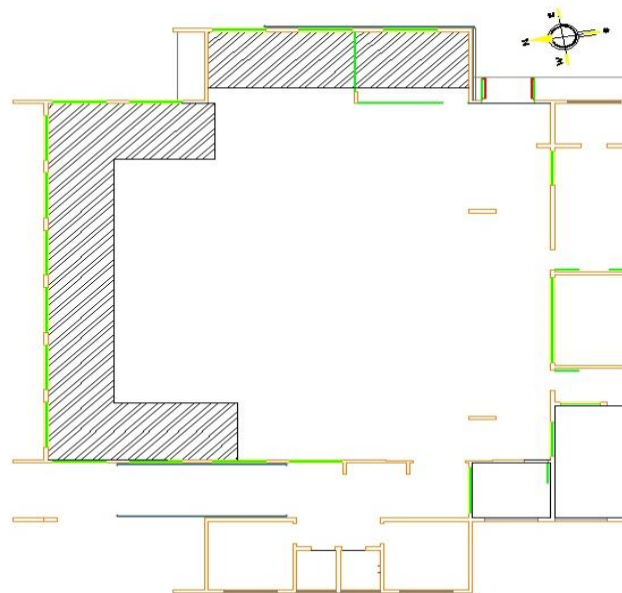
Tabela 8 - Fator de projeção do RU

Orientação	A (m)	B (m)	FP	Limite
Norte	1	2,62	0,3816	FP>1,5
Oeste	2,6	4,7	0,55	FP>1,5
Leste	NA	NA	NA	FP>1,5
Sul	NA	NA	NA	FP>1,0

Fonte: Autor (2024).

A Figura 30 ilustra as zonas de iluminação natural que influenciam no interior do prédio por meio áreas hachuradas.

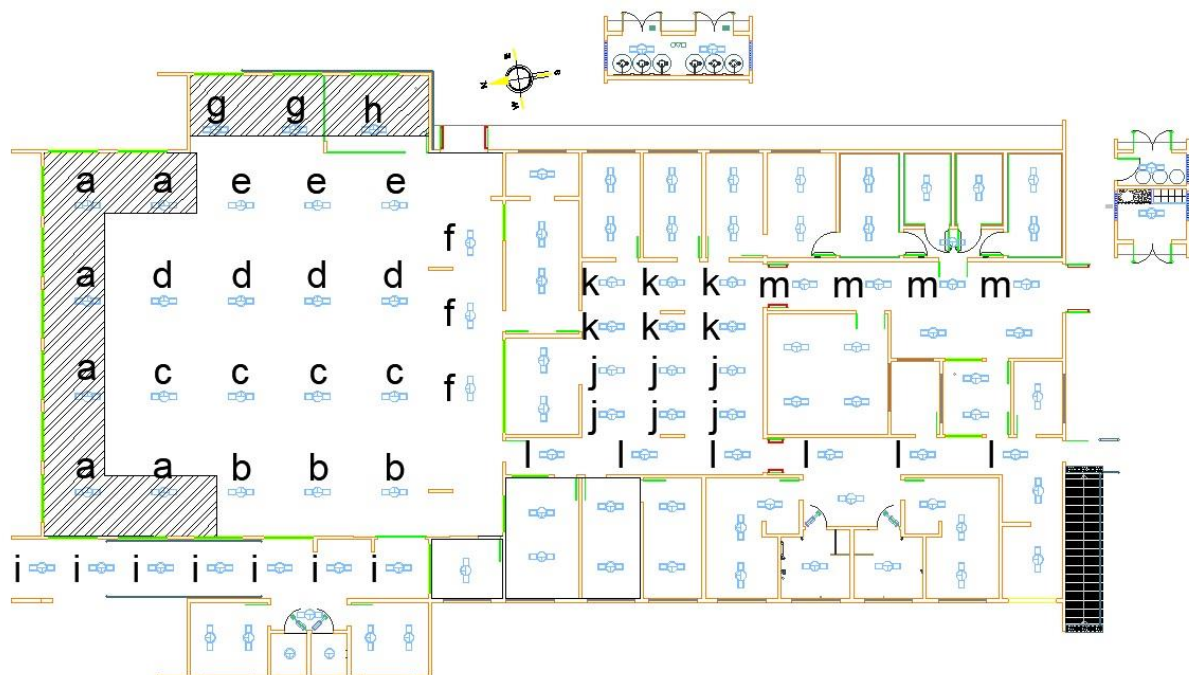
Figura 30 - Zonas de iluminação natural primária no RU



Fonte: Autor (2024).

Com base no estudo acima apresentado, uma proposta de *retrofit* para o sistema de iluminação foi desenvolvida e é ilustrada na Figura 31. A solução tem como objetivo a divisão dos circuitos de acionamento das lâmpadas conforme ilustrado, com seu seccionamento realizado através de interruptores e não mais diretamente nos disjuntores. Os circuitos estão mais distribuídos pela carga e pelas necessidades dos ambientes. A proposta atende ao critério da divisão dos acionamentos independentes de ambientes fechados, assim como no refeitório atende ao critério do acionamento individualizado para as fileiras de luminárias localizadas paralelamente às aberturas laterais, proporcionando que as lâmpadas permaneçam desligadas nos horários em que há uma forte incidência da luz natural nessas regiões, evitando um uso desnecessário de energia elétrica.

Figura 31 - Proposta de *retrofit* para o sistema de iluminação do RU



Fonte: Autor (2024).

Como última ação desse *retrofit*, é proposta a instalação de uma temporização no circuito de iluminação do refeitório, como um temporizador TMD-TB91A, aparelho capaz de programar um horário do dia para que o circuito seja desativado, evitando falhas humanas em manter as lâmpadas acesas após o fechamento do prédio.

Realizada as ações de eficiência proposta acima, o restaurante atenderia a todos os critérios para ser elegível à classificação de eficiência energética “A”.

4.6 Análise das ações de eficiência energética

Como estudado no gráfico do Uso Significativo de Energia (USE) e nas análises de consumo em função da temperatura (de forma gráfica e estatística), o uso de ar-condicionado tem uma influência muito marcante no consumo de energia do prédio. Os aparelhos foram instalados na mesma época da finalização da construção, 2018, tempo relativamente curto tendo em vista a vida útil desse tipo de equipamento, a qual pode chegar a 20 anos, segundo Marangoni *et al.* (2015). Entretanto, como já mencionado, os aparelhos estavam quebrados por um recorte do período de linha de base, o que sinaliza que seu desempenho está aquém do ideal. Foi mencionado, também, que o restaurante ficou fechado durante dois anos devido à pandemia de COVID-19. A falta de uso pode gerar danos ao equipamento por várias razões, como perda de lubrificação, vazamentos e envelhecimento do fluido refrigerante. Aliada a esses fatores, há também a evolução das tecnologias de fabricação. Hoje, os equipamentos

instalados no refeitório (detalhados no Quadro 3) são classificados como B no selo PROCEL e de acordo com o cálculo proposto pela INI-C.

O cenário 1, disposto no Quadro 7 foi simulado com objetivo de melhorar o consumo energético do prédio substituindo os ares-condicionados de baixo desempenho existentes por equipamentos melhores de mesmas características de instalação para não haver custos com adaptações. Equipamentos convencionais foram substituídos pela tecnologia *inverter*, considerada adequada para detecção da variação de carga térmica devido à quantidade variável de usuários. Em Rangel *et al.* (2020), foi realizado um estudo comparativo entre as tecnologias convencionais e *inverter*. Os resultados apontaram uma economia entre 30% a 40% desta em relação àquela. Ademais, foi comprovado que, a depender da carga térmica do interior do ambiente, o consumo de energia era mais demandado e o aparelho *inverter* demonstrou superioridade de desempenho no ciclo estudado, diminuindo o funcionamento para manter a temperatura adequada nos horário de maior carga térmica. Marangoni *et al.* (2015), obteve resultado semelhante, no qual a economia estimada foi de quase 30%. O cenário 1 é composto por 3 subcenários de acordo com as potências dos equipamentos: 1.1 *split* cassete 48.000 BTU do refeitório, 1.2 *split High Wall* 12.000 BTU da despensa e 1.3 *split High Wall* 9.000 BTU dos demais ambientes. Todos os equipamentos simulados são os mesmos utilizados no cálculo da classificação de eficiência energética da seção 4.4.

Os cenários 2 e 3 são soluções baseadas no ambiente e no clima semiárido da região de localização do restaurante. A proposição da manta térmica abaixo do telhado e a troca dos vidros simples por vidros insulados, também chamado de vidro duplo, minimizam a incidência de calor externa para dentro do RU, o que potencializa o uso do ar-condicionado existente, pois permite o ambiente atingir a temperatura de *setpoint* em um tempo reduzido e nela permanecer por um período prolongado, diminuindo, dessa forma, o consumo. As características técnicas de cada substituição simulada são vistas no Quadro 7.

Quadro 7 - Características técnicas das substituições simuladas

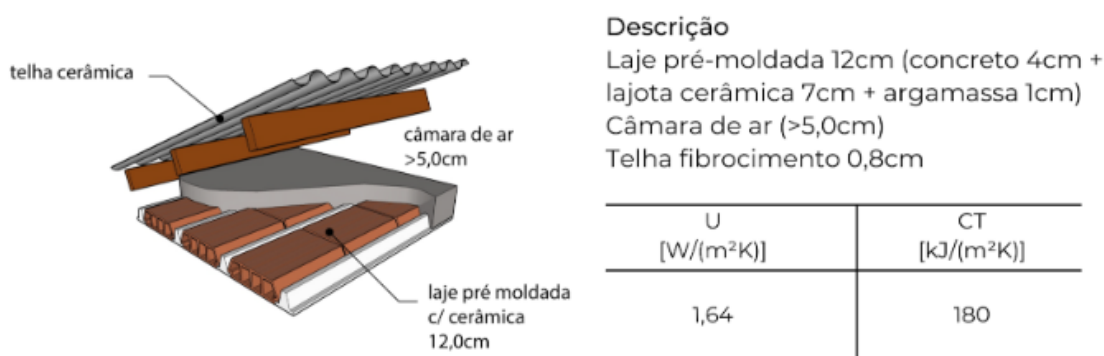
Cenário	Caso de referência	Caso proposto
1.1	COP 3,06, Potência de refrigeração 4,60 kW	IDRS 5,53, Potência de refrigeração 5,09 kW
1.2	COP 3,34, Potência de refrigeração 1,125 kW	COP 7,62, Potência de refrigeração 1,08 kW
1.3	COP 3,24, Potência de	COP 7,60, Potência de

	refrigeração 0,815 kW	refrigeração 0,813 kW
2	$U = 1,64 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U = 1,348 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
3	$U = 6,52 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ e $5,55 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U = 3,185 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ e $0,557 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Fonte: Autor (2024).

O valor da transmitância térmica atribuída no cenário 2 foi adotado para o caso de referência os valores utilizados no catálogo de propriedades térmicas que visa estabelecer os Requisitos de Avaliação e Conformidade (RAC) de eficiência energética de edificações para concessão do selo ENCE, documento ao qual a norma INI-C recomenda para uso. O modelo adotado é ilustrado na Figura 32, com telhas de fibrocimento abaixo uma laje de treliças e lajotas cerâmicas, observadas conforme visita ao local. No caso proposto, foi adotado o valor especificado no catálogo do fabricante da manta térmica simulada, conforme detalhado em Jamantha (2023).

Figura 32 - Modelo de telhado do RU



Fonte: INMETRO (2022b).

Um estudo foi realizado por Silva (2021) com objetivo de atestar a adequação do sistema de ar-condicionado de um bloco de sala de aulas da UFERSA *campus* Caraúbas. A universidade mantém um padrão de fachadas e características construtivas, em que as mesmas cores e materiais são semelhantes, ou seja, as janelas do bloco de sala de aulas são semelhantes às do RU, com quatro folhas, sendo duas estáticas e duas de correr e com persianas externas metálicas a 45°. No estudo, o autor calculou, dentre outros parâmetros, a transmitância térmica da janela detalhada e enfatizou um fator de ajuste de módulo 0,175 para as janelas com a proteção solar citada. O valor final calculado para a transmitância térmica da janela foi de $5,55 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Em Milbratz (2007) foi realizado um estudo com diversos tipos de janelas com objetivo de aferir dados de transmitância térmica, fator solar e transmitância de luz visível

para diversas configurações de janelas, esquadrias e proteções. Dentre as diversas configurações estudadas, a mais semelhante com a do RU é janela de vidro simples claros de 3 mm com esquadrias de PVC e persianas horizontais externas 45° de metal 17,7 mm, para a qual o valor de transmitância térmica aferida foi de 5,671 W/m². K. Esse resultado apresenta um valor próximo ao calculado por Silva (2021), com variações justificáveis por arredondamentos, cores dos materiais e condições de simulação, conferindo a possibilidade de que, multiplicando os valores da transmitância térmica das janelas de vidro duplo sem proteção em Milbratz (2007), que é 3,185 W/m². K. por 0,175, teremos o valor da transmitância térmica do vidro duplo com persianas. Dessa maneira, o valor atribuído na simulação foi de U= 0,557 W/m². K para as janelas de vidro duplo com persianas. No mesmo sentido, para encontrar o valor das janelas sem proteção existentes multiplicou-se o valor calculado por Silva (2021) por 1,175. O resultado foi 6,52 W/m². K.

O cenário 4 foi simulado unificando todas as três AEE anteriores. Segundo Salih *et al* (2021), o resultado de uma simulação de eficiência energética de forma isolada não pode ser simplesmente adicionado em outra. A interação dos benefícios de cada ação gera um outro desempenho que precisa ser avaliado como uma nova ação.

Para o desenvolvimento da simulação, foi utilizado o custo da eletricidade de 0,6211 R\$/kWh; o valor da inflação de acordo com o IPCA acumulado nos últimos 12 meses à época, correspondente à 3,93% a.a.; a taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade (TMA) igual a 8% a.a, como explicado na seção 3.3.4 e o período de 25 anos, que é o mesmo período ofertado pelos fabricantes dos módulos fotovoltaicos como garantia de produção. No que compete à taxa de escalada do preço do combustível, energia elétrica, de acordo com o método detalhado na seção 3.3.2, a Tabela 9 foi desenvolvida.

Tabela 9 - Tarifa média do setor Poder Público e IPCA nos anos de 1996 a 2022

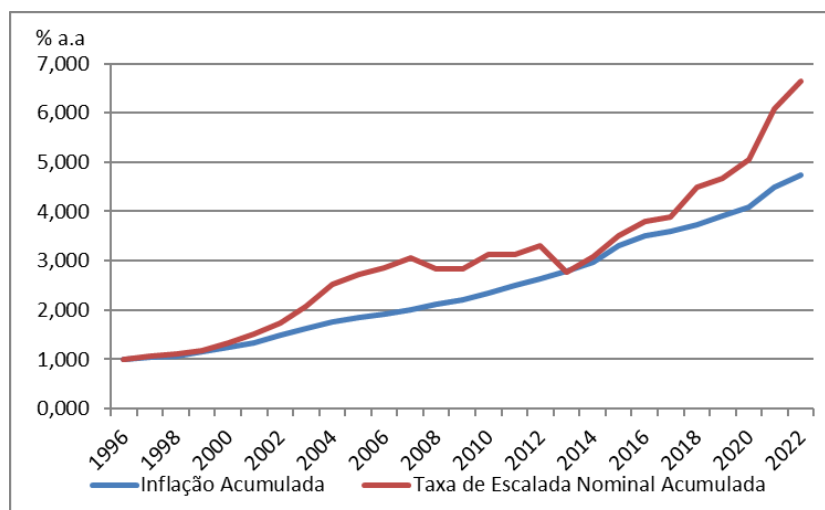
Ano	Inflação (%)	Inflação Acumulada	Tarifa Média (R\$/MWh)	Taxa de Escalada Nominal (%)	Taxa de Escalada Real (%)	Taxa de Escalada Nominal Acumulada
1996	9,56	1,000	102,06			1,00
1997	5,22	1,052	107,98	5,80	0,55	1,06
1998	1,65	1,070	113,86	5,45	3,73	1,12
1999	8,94	1,165	119,28	4,76	-3,84	1,17
2000	5,97	1,235	135,44	13,55	7,15	1,33
2001	7,67	1,329	153,39	13,25	5,19	1,50
2002	12,53	1,496	178,28	16,23	3,29	1,75
2003	9,30	1,635	210,52	18,08	8,04	2,06
2004	7,60	1,759	256,26	21,73	13,13	2,51
2005	5,69	1,860	278,30	8,60	2,75	2,73

2006	3,14	1,918	291,89	4,88	1,69	2,86
2007	4,46	2,003	313,21	7,30	2,72	3,07
2008	5,90	2,122	289,74	-7,49	-12,65	2,84
2009	4,31	2,213	289,36	-0,13	-4,26	2,84
2010	5,91	2,344	318,01	9,90	3,77	3,12
2011	6,50	2,496	318,09	0,03	-6,08	3,12
2012	5,84	2,642	337,74	6,18	0,32	3,31
2013	5,91	2,798	281,77	-16,57	-21,23	2,76
2014	6,41	2,978	313,42	11,23	4,53	3,07
2015	10,67	3,295	358,48	14,38	3,35	3,51
2016	6,29	3,503	388,66	8,42	2,00	3,81
2017	2,95	3,606	397,77	2,34	-0,59	3,90
2018	3,75	3,741	457,85	15,10	10,94	4,49
2019	4,31	3,902	476,09	3,98	-0,31	4,66
2020	4,52	4,079	514,65	8,10	3,42	5,04
2021	10,06	4,489	621,56	20,77	9,73	6,09
2022	5,79	4,749	678,28	9,13	3,15	6,65
2023	4,62	4,968	665,53	-1,88	-6,21	6,52

Fonte: Autor (2024) com dados de ANEEL (2024) e IBGE (2024).

Ao retirar a média dos valores da coluna Taxa de Escalada Real (e), obtém-se o valor da taxa de escalada do período, resultante em 1,27% a.a. Pelo gráfico da Figura 33, em que se compara o acúmulo da inflação e o acúmulo da taxa de escalada nominal sem a correção pela inflação, é notório que os valores da tarifa média paga pelo setor poder público segue o crescimento próximo à inflação com pouco ganho real por parte da concessionária.

Figura 33 - Evolução da tarifa do setor Poder Público comparado à inflação



Fonte: Autor com dados de ANEEL (2023) e IBGE (2024).

O resultado apresentado na Tabela 10 se mostra promissor. A troca do sistema de climatização teve um retorno do investimento, *payback*, abaixo de 3 anos (tempo necessário para que os rendimentos obtidos na aplicação da ação atinjam um montante igual ao valor

investido, fazendo com que desse momento em diante qualquer rendimento seja lucro). O *payback* calculado é um tempo curto se comparado à vida útil de 20 anos para equipamentos de ar-condicionado. Ou seja, o investimento seria pago e começaria a gerar lucro após quase 3 anos de operação. Quanto a Taxa Interna de Retorno (TIR), o resultado é positivo e maior do que quatro vezes do valor TMA, que é 8%.

A TIR é definida como a taxa em que um investimento é recuperado por meio dos rendimentos obtidos pelo próprio projeto (MOREIRA, 2021). De forma simplificada, é a taxa a qual o investimento analisado converteria o investimento em rendimentos. Esse indicador precisa ser comparado ao custo de oportunidade ou à taxa mínima de atratividade (TMA), pois em caso de uma TIR maior do que a TMA, o projeto em questão é mais rentável do que a oportunidade do investimento que traga retorno igual à TMA. Em caso de uma TIR inferior, o projeto é menos rentável do que a TMA e, em caso de o projeto ter a TIR igual à TMA, a escolha é indiferente para esse indicador.

Apesar do resultado muito positivo, devido ao custo de aquisição elevado, a decisão de investir nesse cenário pode ser decidida com base no desempenho real dos equipamentos e no custo de Operação, Manutenção e Reparos (OMR) do caso de referência devendo-se analisar se esses pontos de observação justificariam a troca.

Tabela 10 – Análise de viabilidade financeira das AEE

Cenário	Investimento Inicial (R\$)	<i>Payback</i> (anos)	TIR (% a.a)	Redução anual líquida de emissões de GEE		
				Litros de		
				gasolina não consumidos	tCO ₂	Custo (R\$/tCO ₂)
1	132.191,60	2,80	36,90	2.621,00	6,10	6.540,00
2	6.720,00	0,70	144,70	559,00	1,30	8.058,00
3	53.440,00	6,20	17,20	473,00	1,10	4.748,00
4	192.352,60	3,30	31,50	3.266,00	7,60	6.184,00

Fonte: Autor (2024).

O cenário 3 demonstrou ser um bom investimento, com um *payback* relativamente curto quando comparado ao tempo de vida útil de uma janela e suas propriedades. A TIR encontrada foi mais que o dobro da TMA, o que justificaria financeiramente o investimento. Um ponto negativo são os valores de referência de aquisição e instalação, que foram

atribuídos os valores utilizados em comércio eletrônico privado e, para instalação, 20% do valor da compra. Para este cenário, não foi encontrado em bases de dados do setor público nenhuma aquisição ou contrato.

A substituição das janelas tecnicamente se mostra uma solução que abrange tanto o conforto térmico do ambiente quanto ao conforto visual, pois preserva a incidência de luz enquanto diminui a entrada de calor por irradiação, fazendo com que a quantidade de lâmpadas acesas durante o dia seja menor e que o ar-condicionado trabalhe menos para chegar e manter a temperatura. Brema e Abraham (2018) constataram que a troca das janelas de vidro simples por duplos reduziu a temperatura interna sem alterar a quantidade de luz incidente no interior do edifício.

Dentre os cenários 1, 2 e 3, pelo resultado das simulações, conclui-se que a maior viabilidade financeira é a do cenário 2, aplicação de manta térmica. O investimento apresentou resultado acima da média dos demais cenários, com uma TIR de 144,70% e um tempo de retorno abaixo de um ano. Esse resultado se dá devido ao baixo preço do metro quadrado da manta térmica adquirida pelos órgãos públicos, conforme detalhado no Apêndice C, no qual o rolo de 50 m² custou R\$ 280,00. Como a área do telhado do RU é de aproximadamente 912 m², o custo dispendido para essa ação se tornou baixo, principalmente quando confrontado aos benefícios.

Assim como observado no cenário 2, Salih *et al.* (2022) desenvolveu em seu trabalho algumas simulações de *retrofit*. Dentre elas, o isolamento do telhado utilizando poliestireno extrudado (XPS) de 5 cm, sendo este o cenário com melhor desempenho na redução da carga térmica no interior da edificação. Porém, esta aplicação não se mostrou viável financeiramente devido ao alto custo na região, ascendendo como melhor custo-benefício o revestimento de janelas com películas. Errabai *et al.* (2021) também concluíram a viabilidade técnica e financeira de ações de isolamento térmico passivo na edificação.

Ao observar o investimento de todas as propostas de AEE juntas, cenário 4, entende-se a importância de analisar o efeito das variáveis agindo concomitantemente. O cenário 1, quando analisado de forma individual, se mostra financeiramente atrativo frente às outras ações. Além disso, foi o cenário que teve a maior redução de toneladas de CO₂ emitidos na atmosfera, tornando-se atrativo na perspectiva ambiental. Isso ocorre devido à dupla emissão de gases do efeito estufa (GEE) que acontece no uso de ar-condicionado, o qual emite poluentes por utilizar energia elétrica para o funcionamento e, a depender da fonte geradora, essa emissão pode ser maior, bem como ocorre com os fluidos refrigerantes HFC

(hidrofluorocarbono) utilizados no processo, os quais também são fontes de emissão de GEE na atmosfera (PANATO, 2020).

O cenário 3, troca das janelas, é que apresenta o menor custo de real por cada tonelada de CO₂ reduzido, o que fez o resultado da redução da emissão de GEE do cenário 4 diminuir. Em relação aos aspectos financeiros, a junção das ações estudadas no último cenário também mostra viabilidade técnica positiva, com um *payback* curto e uma TIR elevada, quase 4 vezes a TMA. Outro benefício deste cenário é a conservação do sistema de ar-condicionado desde o início de sua operação devido à ação conjunta com a manta térmica e as janelas de vidro duplo diminuir a carga térmica no interior da edificação, fazendo com que se reduza a necessidade de manutenção corretiva ao longo da vida útil do sistema.

4.7 Comparativo entre as ações simuladas e um sistema fotovoltaico

Uma das ações mais difundidas ao longo dos anos foi a geração distribuída, principalmente da geração fotovoltaica. O Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) ganhou muito espaço de mercado no Brasil e no mundo e o barateamento da tecnologia ao longo da última década a tornou cada vez mais acessível. A instalação de algum tipo de fonte de energia renovável não se configura uma melhoria do desempenho energético dentro do escopo e fronteiras do SGE (ABNT, 2018). Apesar da instalação de uma fonte renovável como a fotovoltaica trazer inúmeros benefícios principalmente ambientais, essa ação não altera o consumo da energia relacionado ao uso da energia como resultado do planejamento e das ações determinado no SGE. Portanto, não haverá melhoria mensurável no consumo de energia ou na eficiência energética do RU.

A universidade está localizada em uma região privilegiada do planeta no que tange ao potencial de recurso solar, o que viabiliza tecnicamente a instalação de usinas. Tendo em mente o custo de instalação e o potencial energético da região, um SFCR foi dimensionado para suprir a demanda de consumo de energia ativa do RU. Seus componentes são apresentados no Quadro 3. A usina teria uma capacidade instalada de 48,84 kWp, sendo necessários 111 módulos de 440 Wp.

O valor simulado do SFCR assim como os equipamentos foram baseados no resultado do pregão eletrônico nº 38/2020, no qual o valor homologado no processo foi de R\$ 118.000,00. Ao longo do contrato, a empresa solicitou reequilíbrio econômico-financeiro, cujo valor do kWp saltou para R\$ 3.308,87. Logo, multiplicando o valor do kWp ajustado pela potência instalada do sistema, o valor do projeto dimensionado totalizaria a importância de R\$ 161.605,21.

A análise de viabilidade financeira também foi simulada com os mesmos parâmetros de reajustes e ciclo de vida dos cenários apresentados. Porém, para o cálculo da economia ao longo do tempo foi necessário observar as alterações do marco regulatório da microgeração e minigeração distribuída no Brasil advindo da lei nº 14.300/2022. Esse instrumento definiu critérios de grupos de aplicação e percentuais de cobrança sobre o uso da rede de transmissão e distribuição em percentuais crescentes de 2023 a 2028, com abertura para alterações a partir de 2029 sobre o fio B (uma das componentes da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição - TUSD), conforme a Tabela 12 exemplifica. No caso do estudo proposto em que o sistema seria instalado após o início de vigência das novas regras e a potência do sistema é inferior a 500 kW, a usina seria considerada como “GD-II”, na qual a cobrança ocorreria conforme narrado (ANEEL, 2023).

Além dessa normativa, a análise da distribuição e economia mensal ao longo do ano foi realizada seguindo as regras da Resolução Normativa ANEEL nº 1.059/2023 para o grupo de alta tensão A4 Horosazonal Verde, em que o valor do kWh compensado no horário de ponta e que foi gerado no horário fora de ponta precisa ser multiplicado pelo fator de ajuste (ANEEL, 2023).

Como resultado, observa-se, na Tabela 11, o investimento inicial maior do que o cenário 4, com um *payback* de apenas 3,7 anos e uma TIR mais que três vezes a TMA. Alia-se à análise um custo na redução de emissão de GEE competitivo com as demais ações e uma maior redução CO₂ emitidos ao longo do ano dentre todos os cenários.

Tabela 11 – Análise de viabilidade financeira do SFCR

			Redução anual líquida de emissões de GEE		
			Litros de gasolina não consumidos	tCO ₂	Custo (R\$/tCO ₂)
Investimento Inicial (R\$)	<i>Payback</i> (anos)	TIR (% a.a)			
161.605,21	3,70	26,80	3.094,00	7,20	4.059,00

Fonte: Autor (2024).

4.7.1 Viabilidade financeira antes e após a lei nº 14.300/2022

No cenário nacional, uma preocupação comum em relação à geração distribuída é a viabilidade de investimento após as alterações realizadas pelo marco regulatório da micro e mini geração distribuída (GD) e seu sistema de compensação de créditos de energia. Para

avaliar o impacto das mudanças no estudo de caso, a Tabela 12 foi elaborada comparando o valor da economia gerada em cada ano ao longo da vida útil estimada de um sistema fotovoltaico, ou seja, a diferença entre a fatura de energia sem GD e com GD antes e após a nova regulamentação. Vale ressaltar que os valores projetados para os anos futuros foram realizados tomando como 1,27% a taxa de escalada de reajuste.

Tabela 12. Economia do SFCR antes e após as novas regras da lei nº14.300

Tempo (t)	Ano	Percentual	Fio B	Regra antiga	Regra atual
0	2022	-	-	50.908,88	-
1	2023	15%	0,2236	51.417,97	49.547,43
2	2024	30%	0,4472	51.932,15	48.143,19
3	2025	45%	0,6707	52.451,47	48.728,44
4	2026	60%	0,8943	52.975,99	47.948,15
5	2027	75%	1,1179	53.505,75	47.140,17
6	2028	90%	1,3415	54.040,81	46.303,94
25	2047	90%	1,3415	65.287,18	55.940,20

Fonte: Autor (2024).

A legislação vigente não determina como se dão as regras para o grupo GD-II a partir de 2029. Então, foi utilizada para os cálculos a manutenção da cobrança do Fio B em 90%. É evidente que a diferença ao longo dos anos acentua à medida que o percentual de taxa cresce. No último ano simulado, a diferença é de aproximadamente 10 mil reais entre a economia que a instituição teria se a instalação tivesse sido realizada antes do início da vigência das novas regras. Essa diferença também é ressaltada ao analisar a projeção do fluxo de caixa acumulado simulado no *RETScreen* para o sistema fotovoltaico dimensionado apresentado na Tabela 13. Percebe-se que haveria pouca alteração no tempo de *payback* entre as duas. Antes da promulgação da lei, esse tempo seria de 2,9 anos e apresentaria uma TIR de 34%. No entanto, o acumulado fluxo de caixa demonstra uma diferença considerável de rentabilidade ao fim do ciclo de vida estudado.

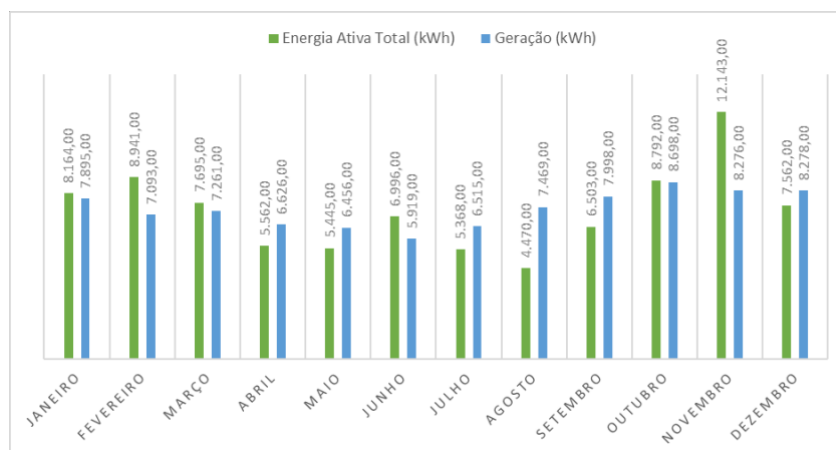
Tabela 13. Fluxo de caixa acumulado do SFCR antes e após a lei nº 14.300

Ano	Regra antiga (R\$)	Regra atual (R\$)
0	-160.480,00	-160.480,00
1	-105.907,00	-117.427,00
2	-51.333,00	-74.375,00
3	-3.241,00	-31.322,00
4	57.814,00	11.731,00
5	112.388,00	54.784,00
6	166.961,00	97.837,00
25	1.203.859,00	984.964,00

Fonte: Autor (2024).

Apesar das perdas de rentabilidade financeira ocasionadas pela tarifa do fio B, ainda é possível afirmar que o investimento no SFCR dimensionado seria uma alternativa viável em detrimento de continuar a pagar os valores de fatura de energia elétrica à concessionária. No gráfico da Figura 34, a geração foi estimada em comparação ao consumo ao longo de um ano, tomando como base o ano de 2023. No gráfico, pode ser visto que, em alguns meses, o consumo é maior do que a geração e, em outros, isso se inverte, como é previsível de acordo com o perfil de consumo e a radiação ao longo do ano. Os ciclos de faturamento foram projetados para que os créditos dos meses de maior geração possam ser utilizados nos demais meses em que o consumo é maior. Dessa forma, mitiga-se a necessidade de uma usina de maior potência instalada e, consequentemente, mais cara.

Figura 34. Estimativa de geração de energia elétrica da usina fotovoltaica



Fonte: Autor (2024).

O potencial de geração da região semiárida brasileira somado a expansão do acesso, tanto de forma técnica quanto comercial, contribuem para esse desempenho. No entanto, ao optar por investir nessa solução, é preciso ter em mente que os custos de manutenção do sistema de refrigeração, a necessidade de troca desses equipamentos em um horizonte próximo, a quantidade de energia elétrica consumida e desperdiçada devido à depreciação e à carga térmica do prédio permanecerão. Em outras palavras, apesar de estar ocorrendo uma economia de energia elétrica através da produção própria, não haverá ganho real de eficiência energética do prédio.

4.8 Análise do potencial de geração

Em seu Anexo D, a metodologia INI-C classifica a edificação como NZEB caso o potencial de geração (PG) seja maior do que 50% e o PG é encontrado por meio da Equação 19. O valor PG calculado para o RU utilizando os dados do SFCR dimensionado e o consumo

do ano de 2023 foi de 1,0025 ou 100,25%, o que confere ao RU a classificação de NZEB. O mesmo anexo também traz o requisito para ser considerado uma EEP. Para isso, o resultado do PG precisa ser maior do que 100%, critério que também foi atendido, classificando o prédio também como EEP. Resultado semelhante foi obtido por Pouey *et al* (2020), utilizando a INI-C classificou a envoltória do edifício estudado como “A”, o qual atendia os critérios para ser conceituado como NZEB e EEP. Kamimura *et al.* (2022) obteve um resultado semelhante estudando uma edificação de ensino infantil, obtendo classificação “A” para a envoltória, iluminação e classificação geral, com um PG de 100,5%, conferindo ao prédio condição de NZEB e EEP.

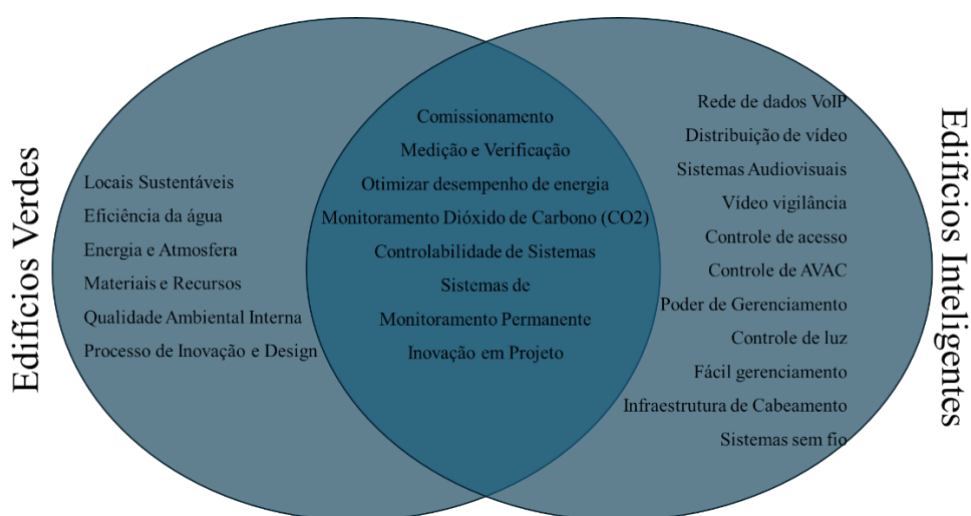
A INI-C também se preocupou em seu texto na introdução dos edifícios à automação predial ao exigir nos critérios de elegibilidade do sistema de iluminação o uso de algum equipamento de desligamento automático da iluminação para evitar uso desnecessário colocando, os edifícios com alto desempenho energético na óptica dos edifícios inteligentes, *smart building*. De acordo com o entendimento de Latifah, Supangkat e Ramelan (2020), *Smart Building* (SB) pode ser entendido como uma edificação que integra e é integrante de tecnologias para otimizar o uso do prédio utilizando dados digitais e processos autônomos para fornecer diversos serviços aos usuários. Os mesmos autores também relacionam os SB com prédios de alta eficiência energética, pois muitas das ações de automação que visam o conforto do usuário através de controle térmico, visual, qualidade do ar etc., impactam diretamente no uso eficiente de energia.

Os *smart buildings*, de forma integrativa e com foco na sustentabilidade em seu conjunto de ações, resultam em um melhor gerenciamento dos recursos da edificação, sejam eles energéticos, hídricos ou humanos. De acordo com Sinopli (2010), o controle dos sistemas aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC), iluminação, controle de energia e ambiente são os pontos principais que determinam a eficiência operacional. Com a utilização de sensores, por exemplo, é possível realizar o controle desses tipos de sistemas, evitando desperdícios de energia devido ao esquecimento de desligar os aparelhos quando estes não estiverem em uso ou pelo dimensionamento demasiado de uma demanda que deveria ser menor, acarretando uso de energia além do necessário.

Institutos de pesquisa e autores correlacionam o conceito de SB com o de “green buildings” (GB), edifícios verdes. Para Rodrigues e Perensin (2009), edifícios inteligentes, ou verdes são aqueles que levam em consideração a perspectiva de edifício sustentável, ou seja, consideram a eficiência energética, arquitetura bioclimática, uso racional de recursos e outros fatores. Em sua concepção, esse tipo de edifício verde é também inteligente desde a sua fase

de projeto, quando são desenvolvidas formas de reduzir o impacto ao ambiente considerando toda sua vida útil. Além disso, a principal geradora de economia de energia é a eliminação da falha humana, segundo os autores, ao controlar a operação de sistemas elétricos como iluminação e ar-condicionado. A Figura 35 pontua os principais pontos que caracterizam os edifícios verdes e inteligentes, assim como os pontos em comum que aproximam os dois conceitos.

Figura 35 - Convergência entre edifícios verdes e inteligentes



Fonte: Adaptado de Sinopoli (2010).

No mundo, a certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) é a metodologia de maior adesão e aceitação internacional para aferir e atestar os requisitos de um *green building*. No Brasil, o *Green Building Council* Brasil (GBCB) gerencia a certificação LEED, que é efetivada após a verificação dos requisitos no prédio construído, obtendo uma classificação que pode ser Platina, Ouro ou Prata (RODRIGUES e PERENSIN, 2009),

Para o GBCB, o conceito de NZEB é definido como o edifício que comprove o consumo de energia local de operação anual zero através da combinação de alta eficiência energética e geração de energia por fontes renováveis. Nesse sentido, o RU da UFERSA Caraúbas poderia pleitear a certificação de edifício verde, se tornando uma referência no nacional no setor público no que compete à alta qualidade do prédio ao optar pela adoção de um SFCR que atenda à demanda anual e ações de eficiência energética, assim como apresentado.

A adoção de medidas de eficiência energética e geração de energia são ações com alto potencial de retorno. A universidade, poderia participar das chamadas públicas de ações de eficiência energética das concessionárias de energia as quais financiam ações como as estudadas nesse trabalho e outras voltadas para a eficiência energética, proporcionando

recursos extras ao orçamento da instituição. Com a economia proporcionada, o recurso de verba de custeio que outrora estaria sendo utilizado com pagamento das faturas de energia elevada pode ser distribuído para o usufruto da comunidade acadêmica e não acadêmica, convertendo esses valores em bolsas de pesquisa, extensão, cultura, ensino e desporto; pagamento de inscrições em eventos e submissões em periódicos estendendo a participação da universidade para outros locais; contratos e parcerias com empresas; aquisição de material de expediente, dentre outras alternativas que podem melhorar o desempenho da universidade interna e externamente.

4.9 Mercado de carbono

Analisando os dados registrados na plataforma *Investing* referente ao valor do crédito de carbono comercializado internacionalmente, é possível extrair o valor médio negociado durante todo o período de linha de base deste estudo, € 80,71 (euros). Utilizando a cotação de 1 euro equivalente a 5,54 reais, é extraído, portanto, que o valor médio de um crédito de carbono no período de estudo é equivalente a R\$ 446,88 (*INVESTING*, 2024).

As simulações realizadas referente às ações de eficiência energética e ao sistema fotovoltaico conectado à rede juntas totalizam uma redução anual de 14,8 tCO₂. Partindo da premissa de que todas as ações de eficiência foram acatadas além do sistema fotovoltaico ser instalado, anualmente seria possível obter uma rentabilidade passiva extra através da comercialização dos Certificados de Redução ou Remoção de Emissão de Gases do Efeito Estufa. Como cada tonelada de dióxido de carbono equivale a uma unidade de certificado, anualmente a receita proveniente dessa fonte seria de R\$ 6.613,82 para o Restaurante Universitário em Caraúbas.

Esse montante comercializado pode ser somado ao fluxo de caixa acumulado dos projetos reduzindo o tempo de retorno do investimento (*payback*), o que faria elevar a Taxa Interna de Retorno (TIR), tornando os investimentos ainda mais atrativos do ponto de vista financeiro. Ademais, esses valores rentabilizados podem ser potencializados quando o aspecto social é introduzido. Existem padrões internacionais de avaliação e monitoramento de projetos de redução ou remoção de GEE que apreciam os cobenefícios advindos desses investimentos. Os cobenefícios são ganhos que vão além das reduções da emissão e que são associados aos Objetivos do Desenvolvimento Social. Entre os tipos de projetos que apresentam essas características, há aqueles os quais investem em educação e incentivam culturas locais e os que apoiam as instituições de saúde e a prática desportiva (VARGAS, 2022).

Por se tratar de investimentos dentro do ambiente universitário, os valores obtidos não somente com a redução das faturas de energia elétrica obtidos pela ação direta das AEE e do SFCR, bem como os valores obtidos na comercialização dos ativos ambientais seriam convertidos dentro da própria universidade para ampliação e melhoria dos pilares ensino, pesquisa, extensão e cultura. A prática esportiva também pode ser ampliada e reforçada, através de aquisição de materiais, melhoramento e ampliação da infraestrutura, fomento da prática desportiva com financiamento de inscrições, passagens e hospedaria para os atletas da instituição. A comunidade externa também se beneficiaria não só com as atividades de extensão da universidade, mas também com a ampliação das ações de esporte, principalmente nos *campi* fora da sede, localizados em cidades pequenas, como é o caso da cidade de Caraúbas.

Logo, os notórios benefícios sociais no âmbito do ensino, pesquisa, extensão, cultura e desporto habilitariam a iniciativa ambiental à condição geradora de cobenefícios. O impacto disso é percebido no interesse dos demandantes dos certificados, que preferem as iniciativas as quais também incentivem a melhoria do desenvolvimento social local, aumentando o valor agregado dos certificados por ele gerados (VARGAS, 2022).

Pless e Torcellini (2010) classificam os ZEB (*Zero Energy Building*) em 4 categorias. Dentre elas, estão os edifícios de emissão zero, cujas geração de energia sem emissão de poluentes é maior ou igual ao consumo. Aliando-se ao valor calculado do Potencial de Geração da metodologia INI-C como 100,25%, ao avaliar sobre o crivo internacional, o RU do *campus* Caraúbas poderia ser considerado um NZEB não somente pelo balanço positivo entre entradas e saídas de energia elétrica, mas também pela não emissão de GEE na natureza.

4.10 Discussões e proposições

A análise realizada por esta pesquisa e seus resultados trata-se da aplicação da metodologia de mensuração de desempenho energético, de técnicas de eficiência energética e do SFCR para o Restaurante Universitário do *campus* Caraúbas. A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) conta com mais 3 *campi*, cada um com seu RU próprio, sendo 2 deles, localizados na cidade de Angicos/RN e Pau dos Ferros/RN, com infraestrutura arquitetônica semelhante ao do *campus* Caraúbas, diferindo apenas a orientação solar. O outro RU é o do *campus* sede em Mossoró/RN, o qual apresenta uma arquitetura diferente dos demais. No entanto, conserva o mesmo arquétipo construtivo característico dos restaurantes.

A diferença da orientação solar, das possíveis barreiras físicas ou arborização ao redor do prédio, modelo dos equipamentos, bem como a conservação e data de início das atividades

seriam fatores de impactariam os resultados obtidos. Apesar dessas variações, a universidade tende a manter e repetir as características construtivas dos seus prédios, sendo eles restaurantes ou não, tais como a utilização do mesmo tipo de janelas e suas persianas (SILVA, 2021).

Devido às semelhanças construtivas e climáticas dos prédios, é esperado que os resultados dos restaurantes dos 4 *campi* sejam semelhantes, logo os resultados obtidos no *campus* Caraúbas podem ser atribuídos aos demais. Dessa hipótese, e multiplicando por quatro os valores de tCO₂ - e reduzido ou removido da atmosfera e seu valor de mercado -, obtém-se que os 4 restaurantes universitários da UFERSA reduziriam cerca de 59,2 tCO₂e gerando uma renda com a comercialização dos certificados de redução total de R\$ 26.455,30.

A metodologia aplicada neste estudo pode ser replicada para outras tipologias de prédios. A INI-C, em seu texto, apresenta valores de referência para vários arquétipos. Um *campus* universitário é composto por alguns dos tipos constantes na norma, como salas de aula, escritórios, hospitais, armazém etc. Além disso, a ISO 50001 e 50006 são aplicáveis a qualquer organização, seja pública ou privada, de modo que a instituição pode se beneficiar dos benefícios da proposta de Sistema de Gestão de Energia (SGE) proposto neste trabalho pela união das três normas. Apesar de nem todos os resultados e cenários aplicados no estudo de caso ser a melhor escolha para todas as situações da universidade, os resultados da aplicação do método será o direcionador da solução apropriada. A aplicação ampliada do método em toda a universidade acarretaria um volume de energia elétrica significativo que seria economizado e maior quantidade de dióxido de carbono reduzido ou removido, ampliando a quantidade de certificados disponíveis para comercialização, diminuindo, consequentemente, as despesas e abrindo espaço no orçamento para ampliação e fomento de atividades prioritárias no processo de formação discente.

Espera-se que soluções voltadas para a redução da carga térmica sejam aplicáveis em muitas das edificações localizadas em regiões com aspectos climáticos semelhantes aos que o RU estudado se encontra, pois os resultados obtidos corroboram as aplicações de métodos de eficiência energética voltados para redução da carga térmica em outras regiões do mundo, como estudado por Salih *et al* (2021), por Brema e Abraham (2018) e por Errabai *et al* (2021). Os sistemas de iluminação e condicionamento de ar são situações específicas e características a cada ambiente, nos quais serão necessários avaliar o tipo de tecnologia utilizada, suas características individuais e a interação com o todo. No caso do RU estudado, as lâmpadas instaladas são do tipo LED. Em muitos ambientes ainda se utilizam lâmpadas fluorescentes. Logo, um *retrofit* apropriado para estudo seria a substituição das lâmpadas pelas do tipo LED

subsidiado por um plano de descarte de resíduos ou estratégia de obtenção de valores residuais (retorno financeiro obtido decorrente do descarte das lâmpadas).

Ao pensar em substituição de objetos e sistemas, é importante considerar o que será feito com o material substituído. Lâmpadas fluorescentes, por exemplo, apresentam em sua composição gases como mercúrio são utilizados, os quais são metais pesados e que podem contaminar o meio ambiente (LIMA e ALVES, 2018). A troca de um sistema com uma quantidade alta de componentes pode gerar problemas ambientais e físicos, sendo necessário avaliar se é mais eficiente a substituição imediata e completa ou de forma gradual à medida que os equipamentos deixarem de funcionar. No caso do serviço público, a alienação e aquisição de bens não é um processo simples como a venda de equipamentos em mercado tradicional particular.

Com a criação do polo EAD (Educação à Distância) da UFERSA, localizado no município de Serra de São Bento/RN, ao futuramente ser pensada a construção do seu *campus* ou a expansão dos *campi* existentes, é recomendado que a metodologia deste estudo seja aplicada para avaliar as variáveis relevantes que afetam a região e para definir estratégias de eficiência energética nos prédios desde sua concepção, perpassando pelas características construtivas como as janelas adequadas, divisão apropriadas dos circuitos de seccionamento de iluminação, tomadas de uso geral e específicos; aproveitamento da luz solar; assim como a aquisição de equipamentos de alta eficiência à exemplo de lâmpadas de LED, ar condicionados de classificação A com tecnologia *inverter* ou superior e estratégias de automação visando evitar desperdícios, como sensores.

Conceição, Gama e Costa (2024) estudaram o Custo do Ciclo de Vida (CCV) de dois prédios multifamiliares comparativamente ao CCV de aplicações de 6 propostas de *retrofit* visando investigar o possível impacto no custo. O resultado foi que o custo de aplicação das propostas não impactava o custo de construção e reforma totais independente da data da aplicação. No entanto, quanto mais cedo a aplicação das medidas propostas, menor foi o custo de operação dos prédios (água, luz etc.). As pesquisadoras também concluíram que o maior percentual do custo total do ciclo de vida correspondia ao custo de operação, cerca de 36% para ambos os prédios, de modo que o ideal é que as medidas propostas fossem implementadas desde a fase de projeto dos edifícios, reduzindo o custo de operação da concepção ao fim do ciclo de vida.

Como mencionado anteriormente, o início das atividades do prédio estudado data de meados de 2018, aproximadamente 6 anos desde sua inauguração. Assim, o RU pode ser considerado um edifício novo, levando em consideração o período de vida de 50 anos dos

prédios analisados por Conceição, Gama e Costa (2024). A identificação prematura desses pontos de ineficiência pode resultar em uma economia significativa no custo operacional total desse edifício até o fim do seu ciclo de uso com a adoção de alguma ação de eficiência energética. O resultado medido após a implementação da medida pode subsidiar a tomada de decisão para ampliar a(s) ação(ões) em outros prédios na universidade ou determinar uma nova diretriz de elaboração de projetos de novas edificações com a(s) ação(ões) inclusas em toda a universidade.

Para o RU de Caraúbas, do ponto de vista técnico e econômico, é recomendável a adoção de alguma ou todas as ações de eficiência energética propostas, já que todos os indicadores simulados apontam que há viabilidade financeira e redução do consumo de energia. A decisão de qual ou quais ações investir fica à critério da gestão a depender da disponibilidade orçamentária, visto que cada uma das propostas apresenta um valor de investimento inicial distinto. É importante ter em mente que a troca das janelas e a aplicação da manta térmica são estratégias que não teriam impacto financeiro em relação à manutenção assim como há na proposta da troca do sistema de condicionamento de ar. É sabido que o sistema atual demanda de manutenções corretivas frequentes além das manutenções preventivas periódicas, o que faz elevar os custos do prédio. Com a substituição do sistema, espera-se que a necessidade das manutenções corretivas seja reduzida ou eliminada. O sistema também resultou em uma classificação de eficiência energética baixa e um tipo de tecnologia inadequado para o perfil do prédio, gerando um gasto demasiado de energia comparando-se ao potencial de redução que o modelo adequado pode proporcionar, como demonstrado na pesquisa.

Utilizando ou não alguma estratégia de redução de carga térmica simulada ou substituindo os ares-condicionados, assim como discutido por Goulart e Labaki (2020), quanto menor for a transmitância térmica da envoltória mais difícil será a saída da carga térmica, fazendo com que o ar condicionado precise retirar do interior uma quantidade maior de calor para chegar à temperatura estabelecida, utilizando, assim, mais energia elétrica no processo. É recomendado, portanto, que, na chegada dos colaboradores no início de cada turno, as portas e janelas sejam abertas para ajudar na renovação do ar no interior do prédio.

A instalação do sistema fotovoltaico dimensionado e avaliado traria um resultado financeiro mais rápido e mais facilmente perceptível, além de uma notoriedade ambiental amplamente difundida nos dias de hoje. Entretanto, o investimento somente nessa proposta não traria nenhuma melhoria de eficiência energética para o prédio. Recomenda-se que o investimento em um SFCR para o RU seja acompanhado de alguma AEE, como as estudadas

nesta pesquisa. No cenário deste investimento a opção de instalação da manta térmica pode ser reduzida pois, assim como comprovado por Ramalho (2022), as edificações que utilizam módulos fotovoltaicos apresentam redução interna da temperatura. Como a área necessária para a instalação do sistema dimensionado é inferior à área de cobertura do prédio, a quantidade de manta instalada pode ficar restrita às regiões que não possuem os módulos acima das telhas.

Para edificações futuras a serem construídas na universidade, uma proposta de economia com fotovoltaica é a utilização de coberturas com módulos fotovoltaicos ou telhas fotovoltaicas. No caso da primeira alternativa, a utilização dos módulos como cobertura do prédio evitaria a necessidade de outra cobertura para o prédio, reduzindo os custos de obra (CHIVELET, 2009; FRANCATO *et al.*, 2023). No nosso caso, por exemplo, a cobertura do prédio é composta por telha de fibrocimento fixada acima de estrutura de madeira. Para sustentação das telhas há abaixo uma laje de lajota cerâmica. Todos esses custos de cobertura que envolvem material e mão de obra podem ser realocados para a aquisição do sistema fotovoltaico, proporcionando um retorno mais rápido. Esse tipo de técnica também pode ser utilizada aproveitando a luz natural, o que pode reduzir a necessidade de iluminação no decorrer do dia, deixando a arquitetura moderna e ainda proporcionando outras fontes de pesquisa que podem ser exploradas pelos acadêmicos.

Assim como mencionado na seção 4.5, o sistema de iluminação do RU apresenta diversos problemas. O seccionamento inadequado dos circuitos pode estar prejudicando a eficiência luminosa das lâmpadas devido ao circuito muito longo, podendo ocasionar quedas de tensão e avarias. O mau aproveitamento da luz solar ao longo do dia é um agravante do desperdício de energia. Há uma parcela das lâmpadas que não precisam estar acesas durante algumas horas do dia por estarem localizadas em regiões cuja ação da luz solar é predominante. Além disso, há um risco para os colaboradores do prédio estarem acionando o sistema diretamente pelo quadro de distribuição geral. Desse modo, a readequação do sistema de iluminação é imprescindível.

Nesta pesquisa, os dados reais do estudo de caso foram utilizados com precisão, tais como a quantidade de usuários, a energia ativa consumida no período de linha de base, os dados dos equipamentos utilizados etc., sem se fazer necessário o uso de aproximações ou estimativas de valores. Trabalhos realizados por Paixão (2020), Oliveira (2021), Salih *et al* (2021), Souza (2022) e outros citados ao decorrer da obra, embora demonstrarem resultados de muita relevância no âmbito acadêmico, realizaram estimativas, projeções ou outra técnica de mensuração de algum dado utilizado na pesquisa, seja energia consumida, quantidade de

usuários, temperatura ou outro. Paixão (2020), por exemplo, obteve os dados da memória de massa do estudo de caso, por outro lado utilizou de uma estimativa para dimensionar a quantidade de usuários. Esses trabalhos obtiveram resultados sólidos, porém, a limitação de acesso às informações completas deixa abertura para alguma margem de erro nos dados. A quantidade de dados disponível no RU através dos sistemas de gerenciamento de pagamento, aferição de contas de luz em medidor próprio e uma estação meteorológica dentro do *campus* proporcionou acesso a uma vasta e precisa quantidade de dados, resultando em valores que refletem a realidade do prédio.

Em contrapartida, um revés no decorrer desta pesquisa foi a impossibilidade de acesso à memória de massa do medidor do RU. Por ser exigência do processo licitatório, a instalação do medidor ocorreu de forma particular pela instituição, de modo que a concessionária não tem acesso aos dados. Também não foi possível a obtenção com a administração da universidade. Outra barreira enfrentada foi a de localizar em portais governamentais os equipamentos e os valores de compra e especificações técnicas para realização das simulações financeiras.

A aplicação da metodologia nesta pesquisa pode ser enxergada pelos gestores tomadores de decisão da perspectiva da gestão orçamentária. A aplicação das medidas e recomendações propostas objetivam demonstrar que a decisão de investir em uma ação ou tecnologia mais eficiente não necessariamente significa que será mais onerosa ao orçamento institucional. A alocação de recurso em uma estratégia que desqualifica a necessidade de outra, como a utilização de cobertura fotovoltaica em detrimento de coberturas tradicionais, pode ser uma alternativa viável. As ações cujos investimentos iniciais geram impacto orçamentário de início são convertidos em benefícios quanto mais cedo for adotado. Assim como foi aplicado no RU *campus* da UFERSA Caraúbas, o estudo pode ser replicado e adaptado para os demais prédios desta universidade como ponto de partida para uma visão aprimorada na elaboração de projetos nesta e em outras instituições de ensino.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As normas da família 50000 da ISO são excelentes ferramentas de mensuração do desempenho energético de uma organização. Sua principal característica é sua adaptabilidade para qualquer tipo de organização. Neste trabalho, as análises foram feitas com base nos preceitos da ISO 50001:2018 e da ISO 50006:2016. Foram classificados os sistemas de condicionamento de ar e de iluminação, além de ser avaliado o potencial de geração da edificação para sua classificação como edifício de energia quase zero e edifício de energia positiva conforme a INI-C, abrindo margem para inserção a padrões internacionais e do mercado de carbono.

No decorrer desta investigação, que tem como estudo de caso o Restaurante Universitário da UFERSA *campus* Caraúbas, foram utilizados diversos conceitos das normas citadas. O escopo do restaurante é o fornecimento de refeições para a comunidade acadêmica (discente e não discente) e não acadêmica (público externo), essencial para delimitar a fronteira de estudo como o uso de energia elétrica do prédio. Do USE identificou-se que a maior porcentagem de carga instalada está concentrada na refrigeração, o que leva a inferir que a maior probabilidade de desperdício e grandes oportunidades de redução de consumo estão nesses sistemas.

Determinado o foco do estudo, foram investigadas as variáveis relevantes que influenciam diretamente no consumo de energia elétrica, bem como os fatores estáticos com a mesma função. Aquelas foram estudadas mais a fundo, esboçando-se vários gráficos e montando-se uma tabela com dados estatísticos de correlação e determinação entre o consumo e as variáveis: temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$), radiação global (W/m^2) e quantidade de usuários por mês. Dessas três variáveis, a temperatura foi a que apresentou maior relação com o consumo. Ao avaliar criteriosamente as curvas de radiação diária ao longo dos meses com maiores discrepâncias entre si, ficou comprovado o potencial de aproveitamento energético proveniente do sol. Mesmo no mês com menores índices de temperatura e radiação, julho, a produção se mostra promissora; nos meses de índices elevados a radiação ultrapassa $1200 \text{ W}/\text{m}^2$, o que compensaria as perdas ocasionadas pelas altas temperaturas.

Com base nos dados expostos, dois IDE foram calculados, a energia ativa consumida por metro quadrado por ano ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{ano}$) e a energia ativa por usuário por ano ($\text{kWh}/\text{usuário}/\text{ano}$), com valores 80,78 e 0,88, respectivamente. Ao confrontar os valores do consumo por área por ano com outros *benchmarks* de mesma tipologia, a conclusão foi de

que o RU do *campus* Caraúbas é classificado como “Ineficiente”, apesar do bom desempenho em comparação com os pares.

Ao aplicar a metodologia de classificação da eficiência energética no prédio para os sistemas de iluminação e ares-condicionados, verificou-se que ambos receberiam classe “B”. A iluminação, apesar de utilizar lâmpadas LED, apresenta diversos problemas como seccionamento inadequado, falta de aproveitamento da luz natural e ausência de sistema de automação, essencial para elegibilidade da classe “A”. O sistema de condicionamento de ambientes, em alguns casos o COP ou IDRS, não atingiam os valores de referência ou a carga térmica do ambiente é muito elevada para os aparelhos utilizados, conferindo a classificação “B”. Foi proposto para os sistemas as soluções para elegibilidade à classe “A”.

A partir dos resultados obtidos de observações do local, da rotina do prédio e das oportunidades de melhoria, foi possível determinar algumas ações de eficiência energética em potencial e simular qual seria o comportamento da redução de consumo de energia ativa as quais foram divididas em quatro cenários: cenário 1, troca dos aparelhos de ar-condicionado; cenário 2, aplicação de manta térmica; cenário 3, troca das janelas de vidro simples por janelas de vidro insulado e cenário 4, todas as ações concomitantes. O resultado obtido foi que, dentre os cenários, a aplicação da manta térmica foi aquela a apresentar melhores indicadores de viabilidade financeira.

Comparativamente ao investimento em AEE, um SFRC de 48,84 kWp foi dimensionado e verificada a viabilidade técnica e financeira como uma solução alternativa às AEE. Devido à facilidade de acesso a essa tecnologia em expansão nos últimos anos, comprovou-se que a GD seria um investimento financeira e ecologicamente atrativo.

Além da vantagem pecuniária e ambiental, utilizando o método de avaliação da INI-C, do programa PBE Edifica, foi calculado que o RU, após a instalação do SFCR, seria classificado como NZEB e EEP, assim como seria possível que a edificação fosse um edifício verde e/ou edifício inteligente.

Com a necessidade crescente de estratégias para frear o aquecimento global o RU demonstra um grande potencial para ser agente produtor de Certificados de Redução ou Remoção de Gases do Efeito Estufa, tornando-se uma referência de prédio público para as demais universidades e Institutos Federais. Os certificados equivalentes a 1 tCO₂, quando comercializados, retornam um benefício financeiro que pode ser reinvestido nas melhorias da universidade e em ações que lhe atribuíssem o cobenefícios dos certificados atraindo mais notoriedade e interesse nacional e internacional para a universidade.

O prédio estudado tem potencial de espaço para redução dos desperdícios de energia adotando as medidas de eficiência energética avaliada neste trabalho, assim como está posicionada geograficamente no planeta de forma privilegiada onde deveria ter melhor aproveitamento dos recursos. A universidade tem espaço para tornar o RU uma referência na administração pública.

Como proposta para trabalhos futuros, é recomendável a determinação das Linhas de Base Energética de acordo com os requisitos da ISO 50001:2018, a fim de esboçar uma previsão da redução do consumo de energia após a implantação do cenário apontado como favorável para investimento. De posse da LBE, pode ser realizado o acompanhamento do desempenho energético do prédio, sendo possível determinar se as ações atingiram os objetivos determinados e se são necessárias correções ou não. Além disso, ficou comprovado ao longo do trabalho a grande influência que a temperatura exerce sobre o consumo de energia ativa do prédio. Devido isso, a ISO 50006 estabelece nos casos em que uma variável relevante impactar o desempenho energético realizar a normalização da LBE e dos IDE, ou seja, é necessário comparar o desempenho energético sob condições equivalentes. Outra linha de pesquisa sugerida é a análise do Custo do Ciclo de Vida (CCV) das condições reais do prédio comparativo a CCV das propostas aplicadas desde a fase de projeto.

5.1 Publicação

Como fruto da pesquisa realizada, foi submetido e aprovado um artigo intitulado “*Energy Performance Indicators for Energy Management Systems in Net Zero Energy Buildings*” no congresso internacional da 2nd IEEE *Industrial Electronics Society Annual Online Conference*, IES ONCON 2023, ocorrido em dezembro de 2023. O artigo está disponível na plataforma IEEE Xplorer e encontrado sob DOI: 10.1109/ONCON60463.2023.10431073.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO - 50006: Sistemas de gerenciamento de energia - Medição do desempenho energético com base na energia e indicadores de desempenho energético - Princípios e orientações gerais. Rio de Janeiro, 2016.c

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 50001: Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro, 2018.

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

Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **A relação da refrigeração e a eficiência energética**. (São Paulo) ABRAVA Disponível em: <https://materiais.abrava.com.br/cartilha-eficiencia-energetica-em-refrigeracao>. Acesso em: 21 jun. 2023.

Aebischer, B., Balmer, M., Kinney, S., Le Strat, P., Shibata, Y., & Varone, F. (2003). Energy efficiency indicators for high electric-load buildings. **Lawrence Berkeley National Laboratory. Retrieved**. from <https://escholarship.org/uc/item/7qv6j5qj>.

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Tarifas e Informações Econômico-Financeiras**. Brasília, ANEEL. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/relatorios-e-indicadores/tarifas-e-informacoes-economico-financeiras>. Acesso em: 04 abr. 2024.

Agência Nacional De Energia Elétrica. **Resolução Normativa N°. 1059/2023**. Brasília, ANEEL, 2023

Brasil Bolsa Balcão. **B3 fecha parceria com ACX para lançamento de plataforma de negociação de créditos de carbono no Brasil**.B3, 2023. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/noticias/b3-fecha-parceria-com-acx-para-lancamento-de-plataforma-de-negociacao-de-creditos-de-carbono-no-brasil.htm. Acesso em: 30 abr. 2024.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 7 de janeiro de 2022. Dispõe sobre o marco legal para o setor elétrico e institui a Lei do Consumidor de Energia Elétrica. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 jan. 2022. Seção 1, p. 1

BRASIL. **Portal de Compras do Governo Federal**. 2023a. Disponível em: http://comprasnet.gov.br/aceso.asp?url=/livre/Pregao/lista_pregao_filtro.asp?Opc=1. Acesso em: 09 set. 2023.

BRASIL. Projeto de Lei nº 412. Dispõe sobre a criação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa. 2023b. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/151967>. Acesso em 28 de abril de 2024.

BREMA, J.; ABRAHAM, Ajish Ajoel. Energy efficiency analysis of an existing building in a semi-arid region. Ecol. **Environ. Conserv**, v. 24, p. S195-S201, 2018.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Restaurante e Preparação de Alimentos**. CBCS. Disponível em: <https://plataformadeo.cbcs.org.br/restaurante-e-preparacao-de-alimentos/>. Acesso em: 01 abr. 2024.

CANADÁ. GOVERNMENT OF CANADÁ. **RETScreen**. 2023. Disponível em: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/RETScreen/7465>. Acesso em: 15 set. 2023.

CHIVELET, Niura M. **Técnicas de vedação fotovoltaica na arquitetura**. Bookman Editora, 2009.

CHUNG, Min Hee; RHEE, Eon Ku. Potential opportunities for energy conservation in existing buildings on university *campus*: A field survey in Korea. **Energy and Buildings**, v. 78, p. 176-182, 2014.

CONCEIÇÃO, Gabriel Pereira da; GAMA, João Luiz Calmon Nogueira da; COSTA, Dayana Bastos. Influência de retrofits sustentáveis nos custos de ciclo de vida de edificações de alto padrão. **Revista Principia** - Divulgação Científica e Tecnológica do Ifpb, [S.L.], v. 61, n. 1, p. 180, 10 jan. 2024. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia da Paraiba. <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6769>.

Dancey, C. & Reidy, J. (2006), **Estatística sem Matemática para Psicologia**: Usando SPSS para Windows. Porto Alegre, Artmed.

Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022**: Ano base 2021. EPE. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em 30 de nov. 2022

Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023**: Ano base 2022. EPE, 2023b. Disponível em <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em 21 de jun. de 2023

Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. EPE, 2023a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 21 fev. 2024

Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. EPE, 2008. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%202030%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica.pdf>>. Acesso em: 15 de jan, 2024.

Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2050**. EPE, 2020. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>>. Acesso em: 21 de fev. 2024

Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica 030/2018**: Uso de Ar-Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. Brasília, EPE, 2018. 43 p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf. Acesso em: 24 jun. 2023.

ERREBAI, Farid Boudali; DERRADJI, Lotfi; LIMAM, Amel; AMARA, Mohamed. Energy efficiency and economic profitability between standard and high energy performance dwellings in a semi-arid climate. **International Journal Of Ambient Energy**, [S.L.], v. 43, n. 1, p. 4020-4036, 19 jan. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/01430750.2021.1874525>

FORNARO, D. H.; MARJOTTA-MAISTRO, M. C.; SANTOS, J. A. dos. Decarbonization credits on exchange. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 13, p. e279111335583, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i13.35583. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/35583>. Acesso em: 30 apr. 2024.

FRANCATO, A. L., HIRATA, R. P., PINHEIRO, V. de C. N., CARRA, C. B., & CAMARGO, W. J. C. (2023). Integração de sistemas fotovoltaicos em elementos construtivos das envoltórias de edificações: estudo de caso em coberturas. **Peer Review**, 5(21), 646–660. <https://doi.org/10.53660/1153.prw2682>

GARCIA, Marina da Silva. **Consumo de energia e conforto térmico em *campus* universitário**: uma proposta de benchmarking. 2022. 296 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/48004>. Acesso em: 23 out. 2023.

GOULART, M. F.; LABAKI, L. C. **A influência da transmitância térmica de superfícies opacas no desempenho de um edifício naturalmente ventilado com alta ocupação**. In: Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, 18., 2020. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–8. DOI: 10.46421/entac.v18i.899. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/899>. Acesso em: 3 abr. 2024.

HOBOLINK: Ufersa Caraúbas. Ufersa Caraúbas. Disponível em: <https://hobolink.com/p/175fc5b80720c04a02cfbdf8e0024526>. Acesso em: 21 maio 2023.

International Energy Agency **Buildings Setorial Overview**. IEA, 2022. Disponível em <<https://www.iea.org/reports/buildings>>. Acesso em 21 de jun. de 2023.

International Energy Agency. **World Energy Outlook**. IEA 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>>. Acesso em: 1 maio 2020.

Instituto Nacional de Metrologia. Instituto Nacional de Metrologia. INMET. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 21 jun. 2023.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **COP Ar-condicionado**. INMETRO. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/condicionadores-de-ar>. Acesso em: 02 jan. 2024.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria nº 269, de 22 de junho de 2021: Aprova os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Condicionadores de Ar – Consolidado. INMETRO. Brasília, DF, 22 jun. 2021. Disponível em: <http://sistema-sil.inmetro.gov.br/rtac/RTAC002783.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2024

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria 309, de dezembro de 2022. INI-C. INMETRO, 2022a. Brasília, DF. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/inic>. Acesso em: 05 set. 2023.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria nº 309, de 06 de dezembro de 2022b. Catálogo das propriedades térmicas. INMETRO. Brasília, Disponível em: https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual%20RAC_Cat%C3%A1logo%20de%20propriedades_DEZ-22.pdf. Acesso em: 06 set. 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Inflação. IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>. Acesso em: 03 jan. 2024. ANEEL, 2024.

INVESTING. **Crédito Carbono Futuros - Dez 24 (CFI2Z4)**. 2024. Disponível em: <https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data>. Acesso em: 03 maio 2024.

International Renewable Energy Agency. **Global Energy Transformation – A roadmap to 2050**. IRENA, 2019.

JAMANTHA (Veranópolis/Rs). **Mantas Térmicas para Telhados: bfa 135 - manta térmica. BFA 135 - Manta Térmica**. Disponível em: <http://www.jamantha.com.br/produtos/1/mantas-termicas-para-telhados/bfa-135-manta-termica>. Acesso em: 10 nov. 2023

KAMIMURA, artur martins *et al.*. **Da eficiência energética à nzeb: avaliação de uma edificação educacional pela método simplificado da ini-c..** in: anais do xvi encontro nacional de conforto no ambiente construído/ xii encontro latino-americano de conforto no ambiente construído. anais...palmas(to) online, 2021. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/encac2021/340523-da-eficiencia-energetica-a-nzeb--avaliacao-de-uma-edificacao-educacional-pela-metodo-simplificado-da-ini-c>. Acesso em: 16/04/2024

KNEIFEL, Joshua; WEBB, David. Life cycle costing manual for the Federal Energy Management Program. **National Institute Of Standards And Technolog**, [S.L.], v. , n. , p. 1-296, 13 abr. 2022. National Institute of Standards and Technology (U.S.). <http://dx.doi.org/10.6028/nist.hb.135e2022-upd1>. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/hb/2022/NIST.HB.135e2022.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2023.

LATIFAH, Ayu; SUPANGKAT, Suhono Harso; RAMELAN, Agus. Smart building: A literature review. In: 2020 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS). IEEE, 2020. p. 1-6.

LIMA, Josiane Pichani; ALVES, Ana Paula Ferreira. Logística reversa pós-consumo de lâmpadas fluorescentes: uma survey online com consumidores da cidade de Osório/RS. Revista Gestão Premium, v. 6, n. 1, p. 40-59, 2018.

LIMA, Maria Thereza da Silva Lopes; DE SOUZA, Marina Corrêa. Discorrendo sobre o uso das termelétricas no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 2, p. 17-23, 2015.

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

MEDEIROS, Pedro Samuel Gomes; BARBOSA, Cleiton Rubens Formiga. Análise do coeficiente de desempenho de um chiller doméstico operando com o R-401A em regime transiente. **Holos**, Natal, v. 4, p. 62-74, 2009. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/347/287>. Acesso em: 25 out. 2021. <https://doi.org/10.15628/holos.2009.347>.

MILBRATZ, Juliana Helena. **Construção, Conforto Ambiental e uso Racional de energia e Água**-Análise de propriedades térmicas e óticas de janelas através de simulação computacional. 2007. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado). Florianópolis.

MOREIRA, José Roberto Simões. **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc-Livros Técnicos e Científicos, 2021. 481 p.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO ORGANIZAÇÃO E GESTÃO. MPOG. Brasília, 04 jun. 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/compras/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/instrucoes-normativas/instrucao-normativa-no-2-de-04-de-junho-de-2014>. Acesso em: 27 fev. 2024.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E PREVIDÊNCIA. NR 17: NR 17 - ERGONOMIA. MPT. Brasília, 2021. Disponível em: https://www.normaslegais.com.br/legislacao/portaria_mtp_423_2021.htm. Acesso em: 25 jun. 2023.

NOURDINE, Brahim; SAAD, Abdallah. **Energy Efficiency and Importance of Energy Monitoring System in Moroccan Hospitals**. In: 2019 7th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC). IEEE, 2019. p. 1-7.

OLIVEIRA, Dayane Cynthia Pinto. **Diagnóstico e avaliação de eficiência energética de prédios universitários utilizando o método PROCEL RTQ-C**. 2021. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Ufersa, Caraúbas, 2021.

PAIXÃO, Maria Fabiana Balduino da. **Sistema de gestão de energia em universidades federais brasileiras**: um estudo de caso na escola politécnica da universidade federal da

Bahia. 2020. 229 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

PANATO, Victor Hugo. **Análise experimental de fluidos refrigerantes alternativos ao R410A em sistema de ar condicionado**. 2020. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.510>.

PBE Edifica. **Início**. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/>. Acesso em: 23 fev. 2024.

PBE Edifica. **Manuais de Aplicação da INI-C**. 2022. Disponível em: <https://pbeedifica.com.br/inicmanuais>. Acesso em: 05 jan. 2024.

PBE Edifica. **Sobre**: PBE Edifica. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/sobre>. Acesso em: 20 jun. 2023.

PIMENTEL, Breno Pontes; SILVA, Arthur Santos; BARBOSA, Andréa Teresa Riccio; REIS, Marcelo de Miranda. Comparação dos métodos simplificado e de simulação propostos no novo regulamento brasileiro de etiquetagem de edificações públicas. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 179-200, out. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/>

PIERRE, L. T.; SOUZA, W. J.; BITENCOURT, L. **Sustentabilidade na produção de refeições em um restaurante institucional do município de Ouro Preto-MG**. Resumo Expandido. Seminário de Iniciação científica. Pró-Reitoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação do Instituto Federal de Minas Gerais, 2013. na produção de refeições em um restaurante institucional do município de Ouro Preto- MG.

PLESS, Shanti; TORCELLINI, Paul. Net-zero energy buildings: A classification system based on renewable energy supply options. **National Renewable Energy Lab.(NREL)**, Golden, CO (United States), 2010.

PORTO, Wellington Silva et al. **Mercado voluntário de carbono no Brasil**: uma análise dos critérios estabelecidos pela NBR 15948: 2011. UNIR: Rondônia, 2014.

POUEY, Juliana Al-Alam; MUTA, Luís Filipe; LEITZKE, Rodrigo Karini; SILVA, Antonio César Silveira Baptista da. Aplicação da proposta da INI-C para avaliação de projeto NZEB, pelo método de simulação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 454., 2020, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA (Brasil); CONTROLADORIA-GERAL DA UNIÃO - CGU. Portal da Transparência do Governo Federal. Disponível em: <<http://www.portaltransparencia.gov.br/>>. Acesso em: 16 de jan. 2024

RAMALHO, D.C.L. **Influência da cobertura fotovoltaica na temperatura de uma edificação no nordeste do Brasil**. 2022. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.)

RANGEL, Maurício Silva. **Análise do consumo e qualidade de energia em condicionadores de ar convencional e inverter**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG, Itumbiara, 79 p. 2020.

RIBAS, Luiz César. **Aprimoramento da política de pagamento por serviços ambientais de Botucatu/SP a partir do acordo de Paris**. 2023. 182 f. Tese (Livre-Docente) - Curso de Política e Legislação Florestal, Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/1ff833c7-ef53-457a-929d-3ee2558f88a3>. Acesso em: 25 mar. 2024.

RODRIGUES, D.; PERENSIN, S. **Edifícios Inteligentes X Certificação Green Building**, Santo André, 2009.

RODRIGUES, Humberto de Ávila, GUIMARAES JUNIOR, Sebastião Camargo, BISPO, Décio et al. **Gerenciamento do uso da energia elétrica em um restaurante universitário utilizando a lógica difusa**: análise da composição deste insumo nos custos da refeição. In Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural, 2004, Campinas (SP) [online]. 2004 [cited 24 January 2024]. Available from: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000200003&lng=en&nrm=iso>

ROSSI, Alexandre Luiz. **Sistema de gerenciamento de energia em instituição de ensino superior**. 2018. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Utfpr, Pato Branco, 2018.

SALIH, Kavar; LEDESMA, Gabriela; SAEED, Zaid O. Simulation of Energy Efficiency Measures for the Residential Building Stock: a case study in the semi-arid region. Iop Conference Series: **Materials Science and Engineering**, [S.L.], v. 1090, n. 1, p. 012018, 1 mar. 2021. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/1090/1/012018>.

SHIM, Hong Souk; LEE, Sung Joo. A Study of Determination of Energy Performance Indicator for Applying Energy Management System in Industrial Sector. In: 2018 **Portland**

International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). IEEE, 2018. p. 1-6.

SILVA, M. K. P. **Desenvolvimento de *benchmark* energético em centros de saúde.** 2022. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

SILVA, Viviane Dutra da. **Análise da viabilidade de modernização dos condicionadores de ar do bloco 1 de salas de aula da UFERSA/Caraúbas.** 2021. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Ufersa, Caraúbas, 2021.

SINGH, Pawan; VERMA, Rakesh. Zero-Energy buildings-A review. **SAMRIDDHI: A Journal of Physical Sciences, Engineering and Technology**, v. 5, n. 02, p. 143-150, 2014.

SINOPOLI, J. **Smart Building Systems for Architects, Owners and Builders.** Amsterdã: Elsevier, 2010, 231p.

SOUSA, Alexandra Filipa Parente. **Análise do Desempenho Energético de Cozinhas Industriais.** 2011. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra.

SOUSA, L. C. R.; SOUSA, D. S. P.; SANTOS, R. B. N. Curva ambiental de kuznets: uma análise macroeconômica entre crescimento econômico e impacto ambiental de 2005 a 2010. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 227–246, 2016.

SOUZA, Ana Carolina Dias Barreto de. **Eficiência energética de edificações visando a certificação pelo RTQ-C e a análise energético-financeira e ambiental.** 2017. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

SOUZA, Thayná Ayala de. **Plano de eficiência energética no *campus* Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2022.

UFERSA. **SIPAC.** Disponível em: <https://sipac.ufersa.edu.br/public/jsp/portal.jsf>. Acesso em: 25 jun. 2023.

UNIVASF. **Estudo Técnico Preliminar:** número do processo: 23402.033222/2022-03. Petrolina, 2022

VARGAS, Daniel Barcelos; DELAZERI, Linda Márcia Mendes; FERRERA, Vinícius Hector Pires. **O avanço do mercado voluntário de carbono no Brasil: desafios estruturais, técnicos e científicos**. Observatório de Bioeconomia–Escola de Economia de São Paulo–FGV, 2022.

APÊNDICE A – CONFIGURAÇÕES DO RETSCREEN

Figura 36 – Configuração dos Combustíveis e Horários

Combustíveis & horários

Mostrar dado

Combustível		Tipo de Combustível 1	Tipo de Combustível 2	Tipo de Combustível 3	Tipo de Combustível 4	Tipo de Combustível 5	Tipo de Combustível 6
Tipo de Combustível		Electricidade	Electricidade				
Consumo de combustível - unitário		MWh	MWh				
Preço combustível - unidade		\$/kWh	\$/kWh				
Preço do combustível			0,621				

Horário	Unidade	Horário 1	Horário 2	Horário 3	Horário 4	Horário 5	Horário 6
Descrição		24/7	Real	Ocupado	Ocupado	Ocupado	Ocupado
Temperatura - aquecimento ambiental	°C						
Temperatura - refrigeração ambiental	°C						
Temperatura - desocupado	+/-°C		Desocupado				
Taxa de ocupação - diária		h/d	h/d				
Segunda-feira		24	11,0				
Terça-feira		24	11,0				
Quarta-feira		24	11,0				
Quinta-feira		24	11,0				
Sexta-feira		24	11,0				
Sábado		24	5,5				
Domingo		24	0,0				
Taxa de ocupação - anual	h/ano	8.760	3.155				
	%	100%	36%				
Temperatura de comutação aquec./refrigeração	°C	16,0					
Duração da estação de calor	d	0					
Duração da estação de frio	d	365					

Fonte: Autor (2024)

Figura 37 - Configurações do Invólucro do Prédio 1

RETScreen

Invólucro do prédio

1 2 3 4 5

Descrição

Restaurante Universitário

Caso de referência

Caso proposto

Norte do prédio

Horário

Descrição

-2

Horário 2

24/7

-2

Horário 2

24/7

☒ Caso de referência = Caso proposto

Invólucro do prédio

Norte

Leste

Sul

Oeste

Norte

Leste

Sul

Oeste

Custo inicial incremental

Muros

Área

Valor - R

☐ Caso de referência = Caso proposto

m²

m² - °C/W

\$

Janela

Área

Valor - U

Coefficiente de ganho de calor solar

☐ Caso de referência = Caso proposto

18

15,66

0,84

19,2

18

15,66

0,84

19,2

0,557

3,185

0,557

0,557

\$

(W/m²)/°C

Sombreamento solar - estações de uso

Sombra solar - inverno

Sombra solar - verão

☐ Caso de referência = Caso proposto

%

%

Portas

Área

Valor - U

☒ Caso de referência = Caso proposto

%

(W/m²)/°C

4,72

1,74

3,97

0

4,72

1,74

3,97

0

0

0

0

\$

(W/m²)/°C

Telhado

Área

Valor - U

☐ Caso de referência = Caso proposto

912,18

912,18

1,64

1,348

\$

m²

(W/m²)/°C

Piso

Muro abaixo do solo

Piso-abaixo-nível

☐ Caso de referência = Caso proposto

Avançar

Avançar

Fonte: Autor (2024)

Figura 38 - Configurações do Invólucro do Prédio 2

RETScreen

Invólucro do prédio

1

2

3

4

5

Restaurante Universitário

		Caso de referência	Caso proposto		Custo inicial incremental
Infiltração de ar natural		Calculado		\$	
Método		Com vazamento	Com vazamento		
Muros		Com vazamento	Com vazamento		
Janela		Com vazamento	Com vazamento		
Portas		Com vazamento	Com vazamento		
Infiltração de ar natural	L/s	268,5	268,5		
Custo inicial incremental	\$		48.800		
Economia de O&M incremental	\$				
Número de unidades de invólucros dos prédios		1	1		
Seleção do Sistema		Refrigeração	Refrigeração		
Sistema de refrigeração		Sistema de refrigeração 1	Sistema de refrigeração 1		
Descrição do sistema de refrigeração		Refeitório	Refeitório		
Demanda de refrigeração	MWh	460	371		19,4%

Voltar

Voltar

Fonte: Autor (2024)

Figura 39 - Configuração Sistema de Refrigeração: Refeitório

RETScreen

Sistema de refrigeração

1

2

3

4

5

Refeitório

		Caso de referência	Caso proposto
Tipo de Combustível		Tipo de Combustível 2	Tipo de Combustível 2
Combustível		Elettricidade	Elettricidade
Coefficiente de desempenho - sazonal		3,06	5,03
Custo inicial incremental	\$		
Economia de O&M incremental	\$		

☐ Refrigerante

Fonte: Autor (2024)

Figura 40 - Configuração Refrigeração

RETScreen

Refrigeração

1

2

3

4

5

Simu. Ar condicionado - Refeitório

		Caso de referência	Caso proposto
Carga de refrigeração	kW	4,6	5,09
Fator de utilização	%	100	100
Horas de operação	h/d	8,5	8,5
Custo inicial incremental	\$		14.199
Economia de O&M incremental	\$		
Sistema de refrigeração		Sistema de refrigeração 1	Sistema de refrigeração 1
Descrição do sistema de refrigeração		Refeitório	Refeitório
Número de unidades		7	7
Demanda de refrigeração	MWh	100	111

-10,7%

Fonte: Autor (2024)

Figura 41 - Configuração Custos das AEE

Ações de Eficiência energética					
Custo inicial incremental				\$	163.852
					85,2%
Balanco do sistema e misc.					
Custos específicos do projeto		Definido pelo usuário			
Manutenção ar condicionado	custo	1	\$	11.426	\$ 11.426
Instalação dos Ar condicionados	custo	1	\$	5.713	\$ 5.713
Instalação das Janelas	custo	1	\$	10.240	\$ 10.240
Instalação da manta térmica	custo	1	\$	1.120	\$ 1.120
Construção do prédio e do pátio	m²				\$ -
Pecas de reposição	%				\$ -
Transporte	projeto				\$ -
Treinamento & Comissionamento	d-p				\$ -
Definido pelo usuário	custo				\$ -
Contingências	%		\$	192.352	\$ -
Juros durante a construção			\$	192.352	\$ -
Subtotal				\$	28.500
					14,8%
Total de custos de investimento				\$	192.352
					100,0%

Fonte: Autor (2024)

Figura 42 - Configuração SFCR

Sistema de eletricidade do caso proposto

Tecnologia

Fotovoltaica

Tipo de análise

Método 1

Método 2

Avaliação de recursos

Sistema de posicionamento solar

Inclinação

Azimet

Fixo

10.0

-2.0

Mostrar dado

Mês

Radiação solar diária - horizontal

Radiação solar diária - inclinada

Preço eletricidade exportada

Eletricidade exportada p/ rede

kWh/m²/d

kWh/m²/d

\$/MWh

MWh

Janeiro

5,74

5,94

621,1

7,840

Fevereiro

5,83

5,91

621,1

7,044

Março

5,51

5,43

621,1

7,210

Abril

5,38

5,13

621,1

6,579

Maio

5,26

4,85

621,1

6,411

Junho

5,07

4,60

621,1

5,878

Julho

5,40

4,92

621,1

6,469

Agosto

6,09

5,69

621,1

7,417

Setembro

6,51

6,32

621,1

7,942

Outubro

6,61

6,65

621,1

8,637

Novembro

6,31

6,51

621,1

8,218

Dezembro

6,01

6,27

621,1

8,220

Anual

5,81

5,69

621,10

87,866

Radiação Solar anual - horizontal

Radiação Solar anual - inclinado

MWh/m²

MWh/m²

2,12

2,08

Fotovoltaica

Tipo

Potência elétrica

Fabricante

Modelo

Eficiência

Temperatura de operação normal da célula

Coeficiente de Temperatura

Área do coletor solar

Perdas diversas

mono-Si

48,50

JA Solar

JAM78S10-440MR

20,3%

45

0,40%

239

1,0%

1 unidade(s)

Inversor

Eficiência

Capacidade

Perdas diversas

98,7%

50,0

1,0%

Resumo

Fator de Utilização

Eletricidade exportada p/ rede

20,7%

87,866

Ver banco de dados de produtos

Fonte: Autor (2024)

CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kj/m ² .k)	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00
αcob - Absortância solar da cobertura (adimensional)	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface
Piso	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface
FS - Fator solar do vidro	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface
Uvid - Transmitância térmica do vidro (W/m ² K)	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	0
AOV - ângulo de obstrução vertical (°)	0	0	0	0	0	0	0
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	0	0	0	0	0	0	0
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	0	0	0	0	45	0	0
DPE - Densidade de potência elétrica (W/m ²)	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface	Referência interface
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	4,00	4,67	4,00	5,78	7,12	3,93	4,00,

Fonte: Autor (2024)

APÊNDICE C – DETALHAMENTO DOS CUSTOS

Quadro 8 - Detalhamento dos custos das simulações

Ação	Valor Unitário (R\$)	Qtd	Valor total (R\$)	Fonte	Observação	Chave de Acesso NFe
Aquisição dos novos Ar-Condicionados 48.000 BTU	14.199,00	7,00	64.960,00	Portal da Transparência		29220231801 71600011155 00100000103 51578541747
Aquisição do novo Ar-Condicionado 12.000 BTU	1694,00	1,000	1.694,00	Portal da Transparência		33211128097 30500018255 00100000004 31007000183
Aquisição dos novos Ar-Condicionados 9.000 BTU	1995,00	7,00	13.965,00	Portal da Transparência		4322038795 8674000181 5589003946 1548110846 0288
Instalação dos Ar-condicionados	47,61	120,00	5.713,20	SIPAC/UFERSA (Processo Administrativo nº 23091.001788/2023-17)	Valor de 8 horas multiplicado pela quantidade de aparelhos	
Manutenção preventiva ar-	47,61	240,00	11.426,40	SIPAC/UFERSA (Processo Administrativo	Valor de 4 horas multiplicadas	

condicionado s				n° 23091.001788/ 2023-17)	por 4 manutenções ao ano	
Aquisição manta térmica	280,00	20,00	5.600,00	Carecterísticas técnicas Jamantha; Valores Nota Fiscal compra Comando do Exército		15231222104 45300010955 00100000890 71420046471
Instalação manta térmica	1.120,00	1,00	1.120,00		20% do valor do material	
Aquisição janelas insuladas	2.700,00	16,00	43.200,00	Valores comerciais LINK DA COMPRA		
Instalação janelas insuladas	640,00	16,00	10.240,00	Nota fiscal Comando do exército		1121 1125 2887 0200 0143 5500 1000 0001 9210 5465 0909
Geração Distribuída Fotovoltaica	160.480,20	1,00	160.480,20	SIPAC/UFER SA Pregão Eletrônico 38/2020 ou Portal da Transparência		3522 0417 7745 0100 0128 5500 1000 0586 9118 1842 1738 - Inversor 23231225005 75100012155 00100000000

						51621894151 - Módulos
--	--	--	--	--	--	--------------------------

Fonte: Autor (2024)