



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

José Rodrigues da Silva Neto

**Análise da Eficiência Energética de Edificações Públicas com Geração Distribuída
Fotovoltaica na Região do Semiárido Brasileiro.**

MOSSORÓ

2024

José Rodrigues da Silva Neto

**Análise da Eficiência Energética de Edificações Públicas com Geração Distribuída
Fotovoltaica na Região do Semiárido Brasileiro.**

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

Linha de Pesquisa: Sistemas Elétricos

Orientador: Victor de Paula Brandão Aguiar,
Prof. Dr.

Co-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.

S586a Silva, José.
Análise da eficiência energética de edificações públicas com geração distribuída fotovoltaica na região do semiárido brasileiro. / José Silva. - 2024.
72 f. : il.

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

1. recursos energéticos distribuídos. 2. eficiência energética. 3. energia solar. 4. INI-C. 5. PVSOL. I. Aguiar, Victor, orient. II. Silva, Rogerio, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo 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.

José Rodrigues da Silva Neto

Análise da Eficiência Energética de Edificações Públicas com Geração Distribuída Fotovoltaica na Região do Semiárido Brasileiro.

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

Linha de Pesquisa: Sistemas Elétricos

Defendida em: 27 / 09 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

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

Rogério Diogne de Souza e Silva, Prof. Dr. (UFERSA)
Co-orientador

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

Thiago Mota Soares, Prof. Dr. (UFPA)
Membro Externo

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça de saúde e pela força que me impulsionou a perseverar nos estudos.

Aos estimados docentes Rogério Diogne de Souza e Silva e Victor de Paula Brandão Aguiar, pela generosa transmissão de saberes, pelo acolhimento e suporte inestimável, que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

À UFERSA e ao PPGEE, por me acolherem no programa de mestrado e, como instituição pública, oferecerem um ambiente de excelência que possibilitou o crescimento e a expansão do meu conhecimento.

Por fim, mas com igual importância, à minha noiva Elisa, à minha família e aos amigos, pelo inabalável e constante apoio em todas as minhas decisões e empreitadas.

RESUMO

No contexto da eficiência energética, os Recursos Energéticos Distribuídos (RED) englobam tecnologias de geração e armazenamento de energia elétrica instaladas próximas aos consumidores, promovendo sua participação ativa no gerenciamento e geração de energia, incluindo geração distribuída, armazenamento, veículos elétricos com infraestrutura de recarga, eficiência energética e gestão de demanda. A implementação desses recursos tem o potencial de transformar o setor energético, proporcionando soluções mais sustentáveis e descentralizadas. Nesse cenário, a Instrução Normativa do INMETRO para a classificação de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas (INI-C) desempenha um papel fundamental. O presente estudo tem como objetivo principal realizar uma análise abrangente da eficiência energética em edificações públicas, utilizando como estudo de caso o projeto da Escola Técnica Padrão do programa Brasil Profissionalizado. A pesquisa também busca propor uma reclassificação da eficiência energética considerando novos cenários que integram sistemas de Geração Distribuída Fotovoltaica (GDFV), com foco na região semiárida brasileira. Para isso, são desenvolvidas etapas como análise e classificação do projeto segundo as diretrizes da INI-C, simulação de cenários de geração fotovoltaica adaptados às condições climáticas locais. Este estudo aplicou a norma INI-C em um estudo de caso, cuja metodologia consistiu em realizar uma análise inicial para determinar a classificação energética da edificação e, posteriormente, simular a implementação de GDFV no software PVSOL, gerando dados para uma nova classificação. Os resultados indicam que a GDFV proporcionou melhorias significativas na eficiência energética, destacando-se a edificação localizada em Mossoró-RN, que reduziu seu consumo em 36% e atingiu a classificação A no cenário 2. Outras edificações também apresentaram avanços notáveis, confirmando a eficácia da GDFV como uma solução viável e benéfica, especialmente para o semiárido. A combinação de tecnologias RED com a norma INI-C revela-se uma abordagem promissora para promover um futuro mais sustentável e energeticamente eficiente.

Palavras-chave: recursos energéticos distribuídos; eficiência energética; energia solar; INI-C; PVSOL.

ABSTRACT

In the context of energy efficiency, Distributed Energy Resources (DER) encompass technologies for energy generation and storage installed near consumers, enabling their active participation in energy management and generation. This includes distributed generation, storage, electric vehicles with charging infrastructure, energy efficiency, and demand management. The implementation of these resources has the potential to transform the energy sector, offering more sustainable and decentralized solutions. In this scenario, INMETRO's Normative Instruction for the energy efficiency classification of commercial, service, and public buildings (INI-C) plays a fundamental role. This study aims to conduct a comprehensive analysis of energy efficiency in public buildings, using the Standard Technical School project from the Brasil Profissionalizado program as a case study. The research also seeks to propose a reclassification of energy efficiency, considering new scenarios that integrate Photovoltaic Distributed Generation (PDG) systems, with a focus on the semi-arid region of Brazil. For this purpose, stages were developed, including the analysis and classification of the project according to INI-C guidelines and the simulation of photovoltaic generation scenarios adapted to local climatic conditions. This study applied the INI-C standard in a case study, with a methodology that included an initial analysis to determine the building's energy classification, followed by simulations of PDG implementation using PVSOL software, generating data for a new classification. The results indicate that PDG provided significant improvements in energy efficiency, particularly for the building located in Mossoró-RN, which reduced its consumption by 36% and achieved an A classification in Scenario 2. Other buildings also demonstrated notable advancements, confirming the effectiveness of PDG as a viable and beneficial solution, especially for the semi-arid region. The combination of DER technologies with the INI-C standard proves to be a promising approach to promoting a more sustainable and energy-efficient future.

Keywords: distributed energy resources; energy efficiency; solar energy; INI-C; PVSOL.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Delimitação do Semiárido Brasileiro.....	23
Figura 2	– Tipos de Energia Primária.....	25
Figura 3	– Total diário da irradiação global horizontal (Média Anual)	26
Figura 4	– Sistema Elétrico: presente e futuro.....	28
Figura 5	– Exemplos de Recursos Energéticos Distribuídos.....	29
Figura 6	– Escala para classificação de eficiência energética.....	31
Figura 7	– Resumo da metodologia.....	34
Figura 8	– Projeto Escola Técnica Padrão (Vista Área).....	35
Figura 9	– CEEP - Centro Estadual De Educação Profissional Professor Francisco de Assis Pedrosa, Mossoró – RN.....	35
Figura 10	– Representação por blocos da edificação Escola Técnica Padrão.....	38
Figura 11	– Fluxo de aplicação do método simplificado de avaliação do sistema de iluminação.....	39
Figura 12	– Fluxo de aplicação do método simplificado de avaliação da envoltória.....	46
Figura 13	– Divisão da edificação em zonas térmicas.....	47
Figura 14	– Propriedades térmicas das paredes.....	49
Figura 15	– Propriedades térmicas da cobertura.....	50
Figura 16	– Propriedades térmicas da pintura.....	50
Figura 17	– Fluxo de aplicação do método simplificado de avaliação do condicionamento de ar.....	53
Figura 18	– Vista do Centro Estadual de Educação Profissional Prof. Francisco de Assis Pedrosa.....	57
Figura 19	– Modelagem do projeto no PVSOL (Cenário 1).....	58
Figura 20	– Energia gerada por mês, simulação no PVSOL (Cenário 1).....	58
Figura 21	– Modelagem do projeto no PVSOL (Cenário 2).....	60
Figura 22	– Energia gerada por mês, simulação no PVSOL (Cenário 2).....	60
Figura 23	– Relação Aumento de desempenho energético e custo de implementação...	62
Figura 24	– Localização de Escolas técnicas nas cinco regiões do Brasil.....	63
Figura 25	– Escola de Ensino Técnico do Estado do Pará Francisco Coimbra Lobato, Santarém – PA.....	64
Figura 26	– Centro de Educação Profissional de Santa Maria, Santa Maria, Brasília – DF.....	64

Figura 27 –	Escola Estadual Escritora Carolina Maria de Jesus, Sacramento - MG.....	64
Figura 28 –	Centro Estadual de Educação Profissional Ozório Gonçalves Nogueira, Bandeirantes – PR.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Energia Solar, pontos positivos e negativos	27
Tabela 2	– Áreas dos Blocos da Edificação.....	38
Tabela 3	– Equipamentos do sistema de iluminação.....	39
Tabela 4	– Valores de referência para edificações educacionais.....	40
Tabela 5	– Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para a classificação de eficiência pretendida – método do edifício completo.....	41
Tabela 6	– Potência de iluminação limite para cada classificação A ou D.....	42
Tabela 7	– Potências do sistema de iluminação do projeto escola técnica padrão.....	42
Tabela 8	– Potência de iluminação limite para cada classificação A ou D e REAL.....	43
Tabela 9	– Consumo de iluminação limite para cada classificação A ou D e REAL.....	43
Tabela 10	– Limites de RedCIL para a classificação do sistema de iluminação.....	45
Tabela 11	Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória pelo método simplificado.....	46
Tabela 12	Áreas e orientação geográfica das zonas térmicas do pavimento térreo.....	48
Tabela 13	Áreas e orientação geográfica das zonas térmicas do pavimento superior....	48
Tabela 14	Áreas e orientação geográfica das zonas térmicas.....	49
Tabela 15	Características térmicas, áreas e orientação geográfica das zonas térmicas..	51
Tabela 16	Carga térmica da edificação.....	51
Tabela 17	Carga térmica da edificação e limites de classificação da envoltória.....	52
Tabela 18	Carga térmica da edificação.....	53
Tabela 19	Valor de ponderação de acordo com o grupo climático.....	53
Tabela 20	Consumo de refrigeração na condição real.....	54
Tabela 21	Carga térmica da edificação e limites de classificação do sistema de condicionamento de ar.....	55
Tabela 22	Dados Gerais da Edificação.....	55
Tabela 23	Consumo em Energia Primária (Classificação inicial).....	56
Tabela 24	Classes e limites para classificação.....	56
Tabela 25	Emissão de CO ₂	56
Tabela 26	Consumo em Energia Primária (Cenário 1).....	59

Tabela 27	Emissão de CO ₂ (Cenário 1).....	59
Tabela 28	Consumo em Energia Primária (Cenário 2).....	61
Tabela 29	Emissão de CO ₂ (Cenário 2).....	61
Tabela 30	Geração anual e custo de implementação (Cenários 1 e 2).....	62
Tabela 31	Classes e limites para classificação por localidade.....	67
Tabela 32	Classificação energética das edificações por região.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEER	Coefficiente de eficiência energética
EEP	Edificação de energia positiva
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
GDFV	Geração Distribuída Fotovoltaica
IEA	International Energy Agency
INI-C	Instrução Normativa do Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
IRENA	Agência Internacional de Energia Renovável
ISO	Organização Internacional de Padronização
MEC	Ministério da Educação
NZEB	Edificação de Energia Quase Zero
PGE	Potencial de geração de energia
PRONATEC	Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego
PPGEE	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
PNE 2050	Plano Nacional de Energia
RED	Recursos energéticos distribuídos
RTQ-C	Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
SEEC	Secretaria Estadual de Educação
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TCE	Tribunal de Contas Europeu

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Justificativa.....	16
1.2. Objetivos.....	16
1.3. Revisão bibliográfica.....	17
1.4. Estrutura da Dissertação	19
2. ARCABOUÇO TÉCNICO	20
2.1. O Projeto Brasil Profissionalizado	20
2.1.1. Escola Técnica Padrão.....	21
2.2. O Semiárido Brasileiro e suas características.....	22
2.3. Energia Solar e o potencial brasileiro	24
2.4. Recursos Energéticos Distribuídos (RED): definição, características e exemplos.....	27
2.4.1. Geração distribuída fotovoltaica.....	29
2.5. Instrução Normativa do Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)	30
2.6. Eficiência energética em prédios públicos: desafios e estratégias para a promoção da sustentabilidade.....	31
2.7. Temperaturas médias ambientais e uso de ar-condicionado: considerações para a região semiárida.....	32
3. METODOLOGIA.....	34
4. RESULTADOS	37
4.1. Sistema de iluminação	37
4.1.1. Avaliação da edificação segundo um dos métodos (Passo 1)	39
4.1.2. Determinação da potência limite da condição de referência (Passo 2)	41
4.1.3. Determinação da potência de iluminação total da edificação real (Passo 3).....	42
4.1.4. Determinação do consumo de iluminação (Passo 4).....	42
4.1.5. Determinação do percentual de redução do consumo de iluminação (Passo 5).....	43
4.1.6. Determinação da classificação de eficiência energética do sistema de iluminação (Passo 6).....	44
4.1.7. Determinação da classificação de eficiência energética do sistema de iluminação (Passo 7).....	45

4.2.	Envoltória.....	45
4.2.1.	Condições de aplicabilidade do método simplificado (Passo 1)	46
4.2.2.	Divisão das zonas térmicas (Passo 2).....	47
4.2.3.	Levantamento de parâmetros construtivos da edificação (Passo 3)	48
4.2.4.	Predição da carga térmica e cálculo do percentual de redução (Passo 4).....	50
4.2.5.	Classificação da Envoltória (Passo 5)	52
4.3.	Condicionamento de Ar	52
4.3.1.	Determinação da carga térmica da envoltória (Passo 1).....	53
4.3.2.	Coefficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar (Passo 2)	53
4.3.3.	Consumo de refrigeração (Passo 3).....	54
4.3.4.	Classificação do sistema de condicionamento de ar (Passo 4).....	54
4.4.	Classificação Geral da Edificação	55
4.5.	Novos cenários com a implementação de geração solar fotovoltaica na edificação ...	56
4.6.	Análise comparativa por região	63
5	CONCLUSÕES.....	69
5.1.	Sugestões para trabalhos futuros.....	70
	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

A busca por alternativas energéticas sustentáveis tem se tornado cada vez mais urgente diante dos desafios globais relacionados às mudanças climáticas e à escassez de recursos naturais. No contexto brasileiro, a região do semiárido apresenta características peculiares que demandam soluções energéticas eficientes e adaptadas às suas particularidades. Nesse sentido, a análise de eficiência energética em edificações públicas com a implementação de recursos energéticos distribuídos no semiárido brasileiro torna-se um tema de grande relevância para a promoção da sustentabilidade e da autossuficiência energética nesta região.

O semiárido brasileiro, que ocupa 12% do território nacional estando presente nos nove estados do nordeste e uma parte do estado de Minas Gerais, tendo uma população de 28 milhões de habitantes sendo 68% em zonas urbanas e 38% em zonas rurais, é marcada por um clima semiárido e árido, com chuvas escassas e irregulares ao longo do ano (INSA, 2023). Essa condição climática resulta em um ambiente desafiador para a produção e o consumo de energia, especialmente considerando que a geração hidrelétrica, principal fonte de energia do país, é limitada nessa região. Além disso, o acesso à rede elétrica é muitas vezes precário, o que dificulta o fornecimento de energia convencional para as edificações.

Diante desses desafios, torna-se fundamental explorar estratégias que possibilitem o aproveitamento máximo dos recursos energéticos disponíveis no semiárido brasileiro, principalmente em projetos de grande escala, como é o caso do projeto Brasil Profissionalizado, garantindo a eficiência energética e a redução da dependência externa.

Uma abordagem se destaca nesse contexto: a geração distribuída fotovoltaica, que consiste na instalação de painéis solares nos próprios edifícios, permitindo a produção de energia limpa e renovável de forma descentralizada.

A análise de eficiência energética em edificações públicas com a implementação de recursos energéticos distribuídos no semiárido brasileiro torna-se fundamental para determinar a melhor estratégia a ser adotada em edificações no semiárido brasileiro. Aspectos como redução de consumo, economia financeira, confiabilidade energética e impacto ambiental devem ser considerados na análise comparativa, a fim de identificar a solução mais eficiente e adequada para as necessidades específicas da região.

Nesta dissertação, busca-se analisar e classificar edificações públicas quanto a eficiência energética, utilizando o caso do projeto Brasil Profissionalizado e aplicando a Instrução Normativa do Inmetro para a classificação de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas (INI-C), verificando assim as vantagens com o enriquecimento desse

projeto dado pela implementação de geração distribuída fotovoltaica nessas edificações na região do semiárido brasileiro. A partir dessa análise, espera-se contribuir para a promoção de um desenvolvimento sustentável e resiliente, impulsionando a adoção de soluções energéticas mais eficientes e adaptadas à realidade dessa região desafiadora.

1.1 Justificativa

O semiárido brasileiro caracteriza-se por condições climáticas adversas, como altas temperaturas, escassez de água e baixa umidade, o que representa um desafio significativo para a garantia de suprimento energético confiável e acessível. A análise de eficiência energética das edificações é fundamental para identificar a melhor estratégia de geração e consumo de energia nesse contexto específico. A classificação das edificações visa demonstrar o nível de eficiência energética dos empreendimentos como um todo, enquanto a geração distribuída fotovoltaica aproveita a abundante radiação solar na região para produzir eletricidade de forma limpa e renovável.

Nesse sentido, a motivação desse trabalho reside na necessidade de avaliar, classificar e comparar o nível de eficiência energética das edificações do projeto Brasil Profissionalizado integrado a geração solar fotovoltaica no semiárido brasileiro. Compreender os aspectos técnicos, econômicos e ambientais envolvidos na classificação das edificações integrado a geração distribuída fotovoltaica permitirá identificar o nível de eficiência atual dessas instituições de ensino bem como a possibilidade de reclassificação de acordo com a implementação de unidades de geração fotovoltaica. Além disso, contribuirá para o avanço do conhecimento científico e tecnológico no campo da energia renovável, para o desenvolvimento e atualização de políticas públicas e diretrizes que promovam ao nascer dos projetos a adoção de soluções energéticas sustentáveis no Semiárido brasileiro. Os resultados obtidos poderão ser utilizados por governos, empresas, instituições de pesquisa e sociedade civil para embasar a tomada de decisões estratégicas e promover a transição para um modelo energético mais limpo e resiliente na região.

1.2 Objetivos

Objetivo principal desta pesquisa consiste em conduzir uma análise abrangente da eficiência energética de edificações públicas, realizando um estudo de caso baseado no projeto da escola técnica padrão do programa Brasil Profissionalizado, e, posteriormente, realizar uma

reclassificação em um novo cenário com integração de sistemas de geração distribuída fotovoltaica na região do semiárido brasileiro.

Este objetivo desdobra-se nos seguintes objetivos específicos:

- Analisar o projeto da Escola Técnica Padrão de acordo com as diretrizes da INI-C;
- Realizar a classificação energética da edificação de acordo com a INI-C;
- Projetar e simular a integração de sistemas de geração distribuída fotovoltaica em diferentes cenários, considerando as características climáticas e as particularidades da região semiárida;
- Realizar análises econômicas e ambientais decorrentes da adoção de sistemas de geração distribuída fotovoltaica;
- Comparar os resultados de eficiência energética, aspectos econômicos e impactos ambientais entre os cenários de edificações públicas antes e depois da implementação da geração fotovoltaica;
- Contribuir para a disseminação de práticas sustentáveis e eficientes no setor de edificações públicas, promovendo uma cultura de eficiência energética e sustentabilidade;
- Consolidar os achados e conclusões em uma dissertação que sirva como recurso de referência para futuras iniciativas de eficiência energética e geração distribuída em edificações públicas na região do semiárido brasileiro.

1.3 Revisão bibliográfica

Teni *et al.* (2019) avaliaram a melhoria da eficiência energética em edifícios públicos na Croácia, visando alcançar construções de quase zero consumo de energia. A análise mostrou que a tecnologia de construção aplicada em diferentes épocas impacta o desempenho energético e a viabilidade econômica das renovações. Edifícios construídos entre 1971 e 1980 têm maior demanda energética e custos de renovação, mas também maior potencial de economia. A pesquisa destacou a necessidade de uma abordagem abrangente para renovações, especialmente em edifícios muito antigos, e enfatiza que o financiamento será crucial para a transformação desses edifícios em Edificações de Energia Quase Zero (NZEB).

Paoletti *et al.* (2017) analisaram as principais tecnologias usadas na Europa para construir e renovar edifícios com quase zero consumo de energia (NZEB), avaliando a influência do clima na adoção dessas tecnologias. Concluiu-se que o clima tem pouca influência na escolha das tecnologias, exceto em zonas com maior irradiação solar, onde o uso de

tecnologias renováveis é mais comum. Custos de investimento e desempenho energético são os fatores principais na decisão.

Andrade (2022) realizou um estudo comparativo sobre a eficiência energética de uma edificação, utilizando os modelos RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos) e INI-C (Instrução Normativa do Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas). Os resultados de eficiência energética segundo o modelo RTQ-C inicialmente atribuíram à edificação a classificação "B"; no entanto, a classificação final foi "C", devido ao não cumprimento de alguns pré-requisitos específicos. Por outro lado, o modelo INI-C classificou a edificação no nível "B" e indicou uma redução de 33,5% no consumo estimado de energia nas condições atuais de operação. Concluiu-se que os procedimentos da metodologia INI-C são, em geral, mais simples de serem executados, uma vez que requerem a criação de um menor número de modelos em comparação com a metodologia RTQ-C. Além disso, a INI-C demonstrou maior precisão na classificação da edificação, pois possui parâmetros pré-estabelecidos para todas as variáveis necessárias. Portanto, pode-se afirmar que há uma maior facilidade em obter uma classificação mais favorável utilizando a metodologia INI-C em comparação com a metodologia RTQ-C.

Oliveira *et al.* (2021) diagnosticaram, avaliaram e classificaram a eficiência energética da envoltória de uma edificação pública federal militar no 4º Batalhão de Polícia do Exército, em Recife-PE, utilizando os métodos "prescritivo" do RTQ-C e "simplificado" da INI-C. A INI-C demonstrou ser mais eficiente na avaliação do desempenho energético e no auxílio ao projetista, oferecendo maior precisão na análise e possibilitando a comparação da edificação real com uma referência de desempenho energético classe D, além de mensurar o potencial de redução no consumo de energia. O estudo reforça a importância de considerar a eficiência energética desde a fase de concepção do projeto arquitetônico, escolhendo a disposição mais adequada da edificação e de seus ambientes, com base em estratégias bioclimáticas, materiais e diretrizes construtivas apropriadas.

Pacheco (2022) avaliou a eficiência energética da envoltória de um edifício público de saúde na cidade de Cacoal-RO utilizando a metodologia da INI-C. Inicialmente, o edifício foi classificado no nível "C", mas com intervenções construtivas, alcançou o nível "A", indicando que as melhorias propostas podem reduzir a dependência de sistemas artificiais de climatização e aumentar a eficiência energética.

Kamimura *et al.* (2021) aplicaram o método simplificado da INI-C, com seus conceitos de NZEB, EEP e Potencial de Geração de Energia (PGE), em uma edificação educacional

localizada da cidade de Florianópolis-SC, comparando o modelo real ao modelo de referência, visando à redução do consumo energético e das emissões de gases do efeito estufa. A edificação obteve a classificação de eficiência "A" para envoltória, iluminação e desempenho geral. Com a adoção de sistemas fotovoltaicos, alcançou-se a classificação NZEB e EEP, resultando em uma redução de 30% no consumo e nas emissões de CO₂ em relação ao modelo de referência. A implementação dos sistemas fotovoltaicos possibilitou uma redução adicional de 51% no consumo e nas emissões de CO₂ para NZEB e 100,50% para EEP.

1.4 Estrutura da Dissertação

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo é a introdução, que contextualiza o tema. O segundo capítulo explora diversos tópicos relevantes, incluindo o Projeto Brasil Profissionalizado, as características do Semiárido Brasileiro, o potencial da energia solar no Brasil, a definição e exemplos de Recursos Energéticos Distribuídos (RED), com foco na geração distribuída fotovoltaica. Também são discutidas a Instrução Normativa do Inmetro (INI-C) para a classificação de eficiência energética em edificações comerciais, de serviços e públicas, os desafios e estratégias para a eficiência energética em prédios públicos, e as considerações sobre o uso de ar-condicionado na região semiárida. O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada para análise e classificação das edificações estudadas e para a implementação de novos cenários. No quarto capítulo, são detalhados os resultados da classificação energética das edificações. Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões do estudo e sugestões para trabalhos futuros.

2 ARCABOUÇO TÉCNICO

Este capítulo apresenta uma visão geral sobre a geração distribuída fotovoltaica, Recursos Energéticos Distribuídos (RED) e eficiência energética em edificações na região semiárida. Inicia-se com a descrição das características do Semiárido, incluindo seus aspectos geográficos e climáticos, como altas temperaturas e baixos índices pluviométricos. Em seguida, são abordados conceitos e diferenciações da microgeração e minigeração distribuída, bem como a definição, características e exemplos de RED. O capítulo também destaca a importância da Instrução Normativa do Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Além disso, são discutidos os desafios e estratégias para a promoção da sustentabilidade e eficiência energética em prédios públicos, considerando as temperaturas médias ambientais e o uso de ar-condicionado na região semiárida. Por fim, são mencionadas as políticas públicas e incentivos fiscais que visam estimular os sistemas de geração de energia elétrica por meio de RED.

2.1 O Projeto Brasil Profissionalizado

Segundo o Ministério da Educação (MEC, 2016), o Projeto Brasil Profissionalizado, uma iniciativa do Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (Pronatec), foi criado em 2007 por meio do Decreto nº 6.302, datado de 12 de dezembro do mesmo ano. Seu principal objetivo é fortalecer o ensino médio integrado à educação profissional nas redes estaduais de educação profissional. O programa desempenha um papel fundamental na expansão, ampliação e modernização das escolas das redes estaduais de Educação Profissional e Tecnológica. Seu foco principal é aumentar a oferta de cursos técnicos de nível médio, com ênfase no ensino médio integrado à educação profissional e tecnológica. Os recursos do Brasil Profissionalizado são direcionados aos estados por meio de Termos de Compromissos, especialmente desde que o programa passou a fazer parte do Plano de Ações Articuladas (PAR). Esses recursos são aplicados na construção, reforma e modernização de escolas técnicas, bem como a estruturação de laboratórios. De 2007 até janeiro de 2016, o programa beneficiou instituições de educação profissional em 24 estados do Brasil, durante esse período, foram concluídas 342 obras, das quais 86 resultaram na construção de novas escolas e 256 em ampliações e/ou reformas. Além disso, foram entregues 635 laboratórios para aulas práticas, fortalecendo ainda mais a infraestrutura educacional no país, de acordo com o MEC (2016).

Ainda de acordo com o MEC (2016), a estruturação da rede de ensino técnico no país proporcionada pelo Projeto Brasil Profissionalizado continua a desempenhar um papel de grande relevância na promoção da educação técnica e profissionalizante em todo o país, contribuindo para o fortalecimento do ensino médio integrado à educação profissional e tecnológica.

2.1.1 Escola Técnica Padrão

O conceito de Escola Técnica Padrão foi introduzido como parte do Programa Brasil Profissionalizado, uma iniciativa do Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (Pronatec). O programa foi criado em 2007, com o objetivo de fortalecer o ensino médio integrado à educação profissional nas redes estaduais de educação de acordo com o MEC (2016). Desde então, tem trabalhado para expandir, aprimorar e modernizar as escolas de Educação Profissional e Tecnológica em todo o país. Uma das características mais marcantes das Escolas Técnicas Padrão é o seu compromisso com a qualidade. Os projetos de arquitetura e engenharia dessas instituições são elaborados, seguindo padrões de infraestrutura e equipamentos. Isso garante um ambiente propício para a aprendizagem prática e teórica, proporcionando aos estudantes uma formação sólida e alinhada com as demandas do mercado de trabalho (MEC, 2016).

De acordo com MEC (2015), entre 2007 e 2016, o programa beneficiou escolas de ensino profissional em 24 estados, durante esse período, foram finalizadas 342 construções, incluindo a construção de 86 novas escolas e a ampliação ou reforma de outras 256, incluindo o estado do Rio Grande do Norte que firmou convenio junto ao órgão para construção de dez novos Centros de Educação Profissional. Essas unidades estão distribuídas em dez municípios, incluindo Natal, Parnamirim e Mossoró, e começaram a funcionar no ano de 2017, sendo parte do Programa Brasil Profissionalizado, promovido pelo MEC com um investimento total de R\$ 124,1 milhões, provenientes de convênios com o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), a infraestrutura inclui salas de aula, auditório, quadra coberta, laboratórios e muito mais. Essa expansão representa um passo importante na oferta de educação profissional de qualidade no estado, preparando os estudantes para o mercado de trabalho de forma competente e eficaz (FNDE 2017).

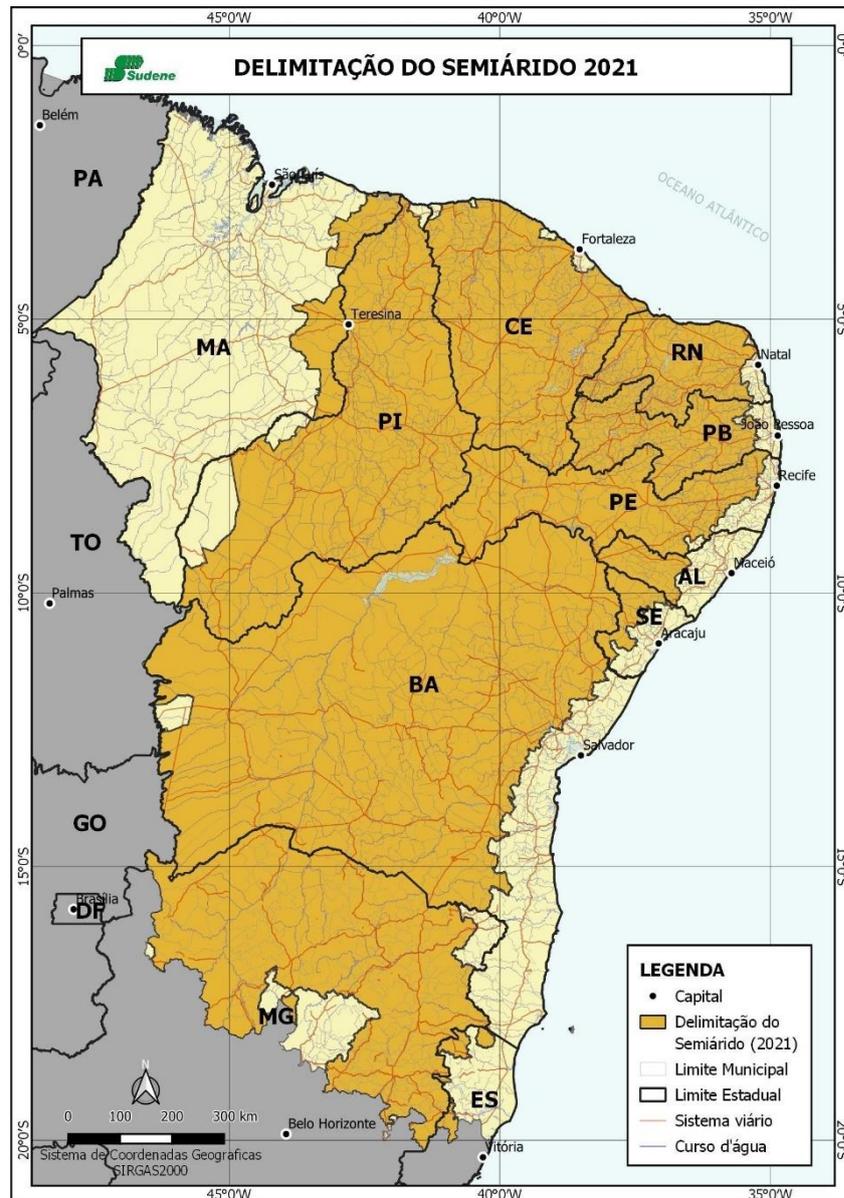
2.2 O Semiárido Brasileiro e suas características

O Nordeste do Brasil apresenta características distintivas em relação às demais regiões do país, destacando-se pela sua marcante variabilidade interanual, tanto em termos de precipitação quanto de disponibilidade de recursos hídricos. Essa variabilidade resulta em anos extremamente secos e outros mais chuvosos. Conforme mencionado por Da Silva (2010), a Região Nordeste enfrenta uma realidade complexa, caracterizada pela relativa escassez de recursos naturais e, em particular, pela variabilidade climática, especialmente na região Semiárida.

De acordo com o Instituto Nacional do Semiárido (INSA, 2010), essa é uma região que abrange estados do nordeste do Brasil, como Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, bem como partes de Minas Gerais. Ainda de acordo com INSA esse ambiente é caracterizado por um clima semiárido, com chuvas escassas e irregulares ao longo do ano, as altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar contribuem para a aridez da região e possui como vegetação predominante a caatinga, adaptada às condições de seca e altas temperaturas.

Segundo a SUDENE (2021), a delimitação do Semiárido foi realizada considerando fatores climáticos como a média anual de precipitação pluviométrica, o índice de aridez e a porcentagem diária de déficit hídrico, esses critérios foram utilizados para determinar quais cidades pertencem à região Semiárida (Figura 1). Ainda segundo os dados da SUDENE (2021) o semiárido brasileiro engloba um total de 1.262 municípios, ocupando aproximadamente 12% do território nacional sendo habitado por cerca de 28 milhões de pessoas, distribuídas entre áreas urbanas e rurais.

Figura 1 – Delimitação do Semiárido Brasileiro.



Fonte: SUDENE (2021).

Conforme Marengo *et al.* (2011) no que diz respeito às características distintivas do semiárido, menciona-se: alta exposição solar, temperaturas relativamente elevadas e um padrão de chuvas caracterizado pela escassez, irregularidade e concentração em um curto período. Essas características têm sido obstáculos para o desenvolvimento das atividades agrícolas e pecuárias, afetando, conseqüentemente, a sobrevivência das famílias. O clima é a principal característica identificadora da região, principalmente devido aos baixos níveis de precipitação. Ao longo da história, o Nordeste sempre enfrentou grandes secas e enchentes. Relatos de períodos de seca na região remontam ao século XVII, quando os portugueses chegaram ao Brasil (MARENGO *et al.*, 2011).

De acordo com o INSA (2023), a média anual de precipitação é inferior a 800mm e o risco de seca é superior a 60%. No entanto, esse valor anual de precipitação não reflete a qualidade da estação chuvosa, já que a maior parte das chuvas ocorre em um período de apenas 3 ou 4 meses ao longo do ano. Embora se espere que as atividades agrícolas se beneficiem dessas chuvas, elas costumam ser intensas, o que pode resultar em inundações nas plantações. Por outro lado, essa mesma intensidade contribui para um volume significativo de água nos corpos hídricos. No entanto, mesmo com esse volume positivo, a demanda por água é maior do que a disponibilidade. De acordo com Da Silva (2010), a demanda por água no Nordeste geralmente excede a oferta da região, e um dos maiores problemas é a combinação da irregularidade das chuvas com as altas temperaturas, resultando em altas taxas de escassez hídrica.

Ao considerar essas características climáticas e ambientais específicas, bem como os desafios energéticos enfrentados no semiárido brasileiro, torna-se evidente a importância de realizar estudos comparativos entre recursos energéticos distribuídos e ações de eficiência energética nessa região. Essa análise busca identificar as soluções mais adequadas e sustentáveis para promover o desenvolvimento sustentável e melhorar a qualidade de vida das comunidades que habitam esta região brasileira.

2.3 Energia Solar e o potencial brasileiro

Segundo Silva (2021), com o aumento da demanda por energia elétrica e a crescente preocupação com os impactos ambientais causados pela geração de energia convencional, as energias renováveis têm se destacado como uma alternativa sustentável para suprir a demanda energética mundial. As energias renováveis são provenientes de recursos naturais, como água, vento e sol, e podem ser reabastecidas ou renovadas de forma contínua e rápida. Além disso, apresentam baixo impacto ambiental, em contraste, as energias não renováveis têm sua origem na queima de combustíveis fósseis, os quais levam milhões de anos para se formarem (IRENA, 2019).

De acordo com o relatório da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2019), a energia renovável é a fonte de eletricidade mais econômica em muitas partes do mundo atualmente. As fontes de energia renovável incluem energia solar, eólica, hidrelétrica, biomassa, geotérmica e maremotriz. O Tribunal de Contas Europeu (TCE) apresenta uma ilustração (Figura 2) bastante pertinente com os diferentes tipos de energias, suas tecnologias e

aplicações, sendo assim, das energias renováveis aproveita-se recursos naturais como base para sua geração, utilizando tecnologias específicas para se chegar em diferentes aplicações.

Figura 2 – Tipos de Energia Primária.

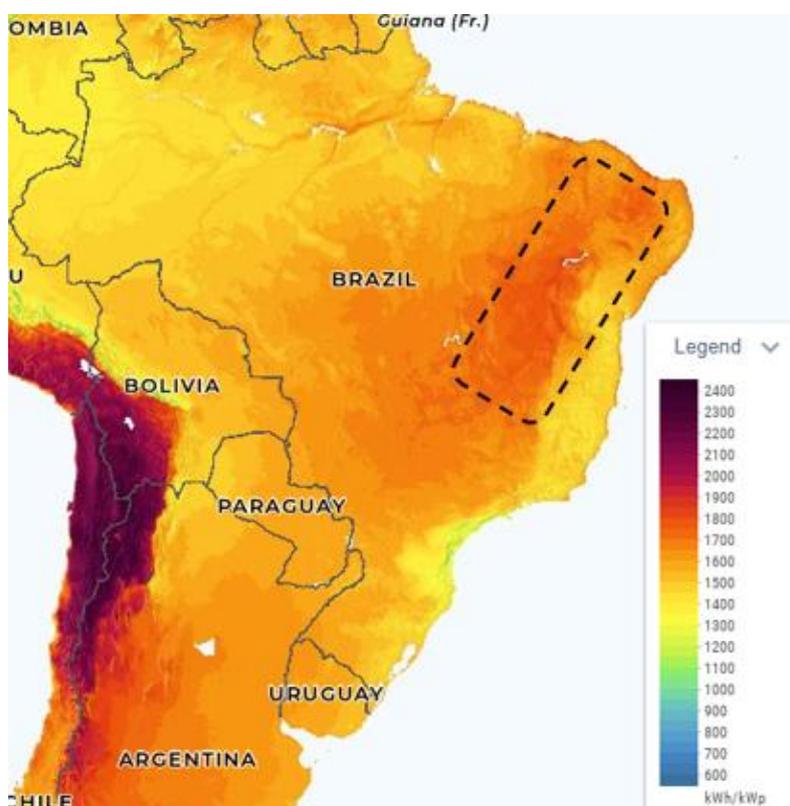
<p>Energia solar</p>  <p><i>Fonte:</i> Sol</p> <p><i>Tecnologias:</i> Fotovoltaica, solar térmica</p> <p><i>Aplicações:</i> Eletricidade, aquecimento e arrefecimento</p>	<p>Energia eólica</p>  <p><i>Fonte:</i> Vento</p> <p><i>Tecnologias:</i> Turbinas eólicas</p> <p><i>Aplicações:</i> Eletricidade</p>	<p>Energia marinha</p>  <p><i>Fonte:</i> Ondas, marés</p> <p><i>Tecnologias:</i> Barragens maremotrizes</p> <p><i>Aplicações:</i> Eletricidade</p>	<p>Energia hidráulica</p>  <p><i>Fonte:</i> Água</p> <p><i>Tecnologias:</i> Centrais hidroelétricas</p> <p><i>Aplicações:</i> Eletricidade</p>	<p>Energia geotérmica</p>  <p><i>Fonte:</i> Terra</p> <p><i>Tecnologias:</i> Bombas geotérmicas e de calor</p> <p><i>Aplicações:</i> Eletricidade, aquecimento e arrefecimento</p>	<p>Bioenergia</p>  <p><i>Fonte:</i> Biomassa, resíduos</p> <p><i>Tecnologias:</i> Combustão de biomassa, centrais de biogás, biocombustíveis</p> <p><i>Aplicações:</i> Eletricidade, aquecimento e arrefecimento, transportes</p>
--	---	---	---	---	--

Fonte: TCE (2018).

Destaca-se a energia solar, que utiliza a fonte solar e por meio de tecnologias fotovoltaicas e térmicas, permite sua aplicação na geração de eletricidade, aquecimento ou arrefecimento, nesse sentido tem sido aproveitada pelo ser humano ao longo de toda a história para suprir necessidades fundamentais, como aquecimento, iluminação e alimentação conforme mencionado por Tolmasquim (2016). No entanto, o uso direto do sol como fonte de energia para a produção de eletricidade é relativamente recente, datando da segunda metade do século passado.

Devido à sua localização geográfica privilegiada, o Brasil possui níveis elevados de irradiação solar, com destaque para a região do semiárido. Conforme dados do Global Solar Atlas (2023), essa região apresenta uma média diária de irradiação solar, de acordo com o destaque da (Figura 3) que varia entre 4,0 e 5,0 kWh/m²/dia.

Figura 3 - Total diário da irradiação global horizontal (Média Anual).



Fonte: Adaptado de Global Solar Atlas (2023).

Segundo Tolmasquim (2016), o país está situado em uma região onde os raios solares têm uma incidência mais vertical, resultando em altos índices de irradiação em praticamente todo o território nacional (Figura 3). Além disso, a proximidade com a linha do equador faz com que haja pouca variação na incidência solar ao longo do ano, garantindo bons níveis de irradiação mesmo durante o inverno. Essas características proporcionam ao Brasil vantagens significativas para a exploração da energia solar. Portanto, o país destaca-se de forma notável em comparação a muitas nações desenvolvidas, sendo amplamente reconhecido pelo seu imenso potencial na produção de energia solar.

Ainda de acordo com Tolmasquim (2016), somente na década atual é que a energia solar começou a ganhar popularidade em todo o país, devido à regulamentação da geração distribuída conectada à rede elétrica e à realização de leilões específicos para a contratação de projetos de grande escala. Nessa perspectiva, o uso dessa fonte de energia apresenta tanto pontos positivos quanto negativos, conforme apontado por Tolmasquim (2016) e descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Energia Solar, pontos positivos e negativos.

Aspectos	Pontos Positivos	Pontos Negativos
Econômicos	Aquecimento da economia local.	Os preços da energia solar são mais elevados em comparação às fontes não renováveis.
Adequação Geográfica	Ideal para países tropicais, como o Brasil, devido à intensidade da radiação solar ao longo do ano.	Nas regiões em latitudes médias/altas, a produção de energia solar é reduzida durante o inverno.
Infraestrutura	Permite o acesso a energia em áreas remotas sem grandes investimentos em infraestrutura.	Alteração da paisagem.
Tecnologia e Custos	Avanços contínuos na eficiência dos painéis solares e redução de custos.	Durante a noite, não há geração de energia solar.
Operacional	Baixa necessidade de manutenção em suas instalações de geração.	A produção de energia solar varia de acordo com as condições atmosféricas.
Ambiental	Baixo impacto ambiental.	
Sustentabilidade	Fonte de energia renovável e inesgotável.	

Fonte: Adaptado de Tolmasquim (2016).

O potencial das energias renováveis é enorme e pode ser explorado em diversas áreas e setores da economia, segundo um estudo realizado pela consultoria McKinsey, as energias renováveis podem ser responsáveis por até 85% da geração de eletricidade mundial até 2050, reduzindo significativamente as emissões de gases de efeito estufa e os impactos ambientais negativos causados pela geração de energia convencional (GURLIT *et al.*, 2021).

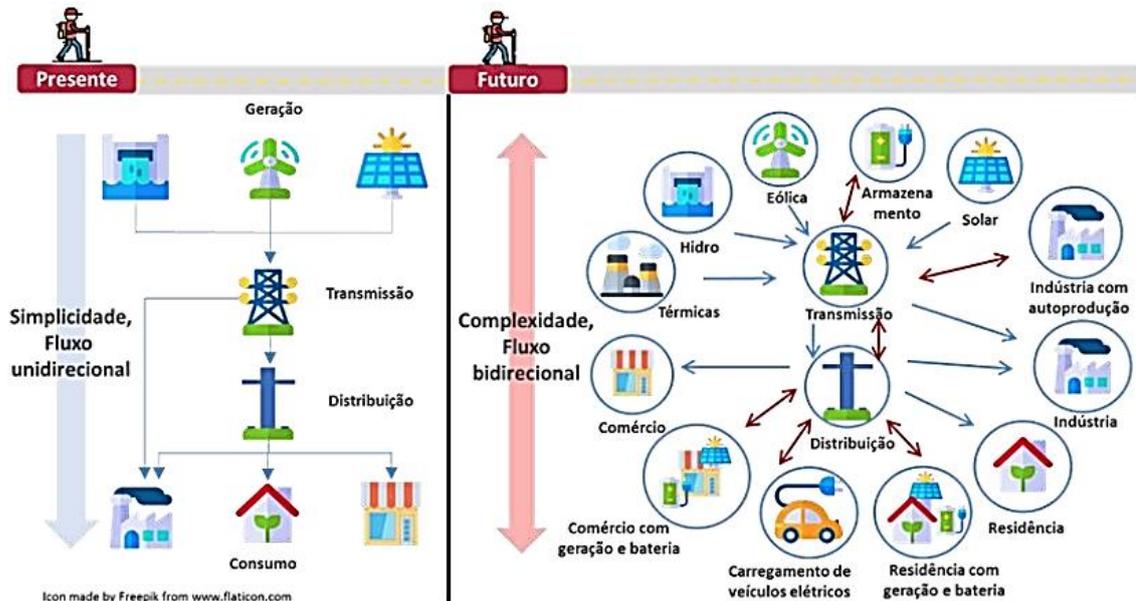
2.4 Recursos Energéticos Distribuídos (RED): definição, características e exemplos

Conforme relatório da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016), os recursos Energéticos Distribuídos (RED), são tecnologias que englobam geração e armazenamento de energia elétrica localizados dentro da área de concessão de uma distribuidora, normalmente próximos às unidades consumidoras, em uma configuração *behind-the-meter*. Além disso, o conceito de RED tem sido ampliado para incluir iniciativas como eficiência energética, Resposta da Demanda (RD) e Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD).

De acordo com a FGV (2016), os RED incluem: i) geração distribuída (GD), ii) armazenamento de energia, iii) veículos elétricos e infraestrutura de recarga, iv) eficiência energética e v) resposta da demanda. Esses recursos permitem maior participação dos consumidores tanto na geração quanto na gestão de sua energia, contribuindo para o aumento da eficiência e resiliência do sistema elétrico fazendo com que o sistema elétrico passe a ter

uma nova configuração quanto aos seus personagens, saindo de um cenário de fluxo unidirecional para um bidirecional, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – Sistemas Elétricos: presente e futuro.



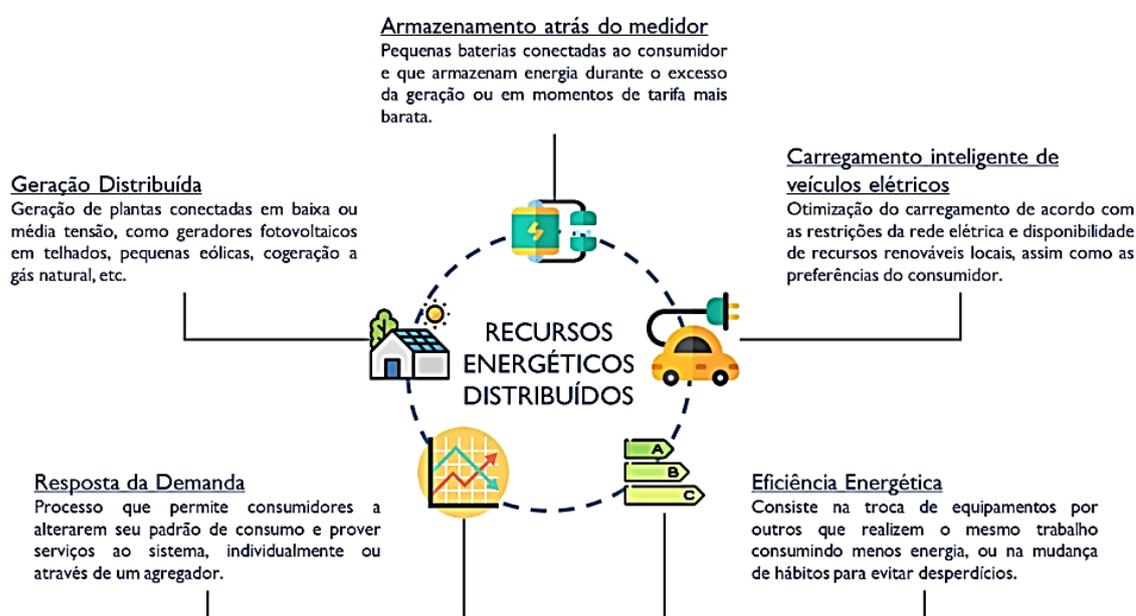
Fonte: NYISO (2017).

Segundo a EPE (2016), as principais características dos RED incluem:

- Localização próxima às unidades consumidoras: os RED são instalados próximos às unidades consumidoras, reduzindo a necessidade de transporte de energia elétrica em longas distâncias e minimizando as perdas de transmissão.
 - Fontes de energia renováveis: a maioria dos RED são baseados em fontes renováveis de energia, como energia solar, eólica, hidráulica, biomassa, geotérmica, entre outras.
 - Geração distribuída: os RED permitem a geração distribuída de energia elétrica, ou seja, a produção de energia elétrica em pequena escala, próxima ao local de consumo.
 - Armazenamento de energia: alguns RED também são capazes de armazenar energia elétrica, permitindo o uso da energia gerada em momentos de pico de consumo ou em momentos em que a fonte de energia não está disponível.
 - Eficiência energética: os RED podem contribuir para a eficiência energética ao reduzir as perdas de transmissão de energia elétrica e ao permitir que a energia seja produzida e consumida localmente, reduzindo a necessidade de transportar energia em longas distâncias.
- De acordo com o Plano nacional de Energia (PNE 2050), alguns exemplos (Figura 5) de tecnologias de RED incluem:

- Painéis solares fotovoltaicos instalados em edifícios comerciais, industriais ou residenciais, capazes de gerar energia elétrica a partir da luz solar.
- Aerogeradores de pequeno porte instaladas em áreas urbanas ou rurais, capazes de gerar energia elétrica a partir do vento.
- Sistemas de armazenamento de energia, baterias ou sistemas de bombeamento de água para reservatórios de grande altitude, que permitem o armazenamento de energia gerada por hidrelétricas de pequeno porte.
- Veículos elétricos, capazes de armazenar energia elétrica em suas baterias e fornecer energia para a rede elétrica quando conectados a um sistema de recarga inteligente.

Figura 5 – Exemplos de Recursos Energéticos Distribuídos.



Fonte: PNE 2050 (2020).

2.4.1 Geração distribuída fotovoltaica

A microgeração e a minigeração distribuída são duas formas de geração de energia elétrica em pequena escala, a partir de fontes renováveis, instaladas próximas aos pontos de consumo. Conforme estabelecido pela Resolução Normativa 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a diferenciação entre microgeração e minigeração está na capacidade instalada dos sistemas, sendo até 75 kW para a microgeração e entre 75 kW e 5 MW para a minigeração, essa regulamentação também define as regras de conexão à rede elétrica, compensação de energia não consumida e tarifas de uso do sistema de distribuição (ANEEL, Resolução Normativa nº 482, 2012).

No contexto brasileiro, a microgeração e a minigeração distribuída têm se mostrado uma alternativa viável para a geração de energia elétrica, especialmente em regiões remotas ou com instabilidade no fornecimento de energia. Além disso, essas formas de geração contribuem para diversificar a matriz elétrica nacional, reduzir perdas na transmissão e distribuição de energia e mitigar as emissões de gases de efeito estufa (Nakabayashi, 2014).

Um marco significativo no desenvolvimento da geração distribuída no Brasil foi a promulgação da Lei nº 14.300/2022, conhecida como o Marco Legal da Geração Distribuída. Essa legislação estabeleceu diretrizes claras para o setor, ampliando os limites de potência para microgeração e minigeração, simplificando os procedimentos de conexão à rede elétrica e reduzindo burocracias. Além disso, a lei buscou estimular o uso de fontes renováveis, promovendo a expansão da geração distribuída e fortalecendo a transição energética no Brasil (BRASIL, 2022).

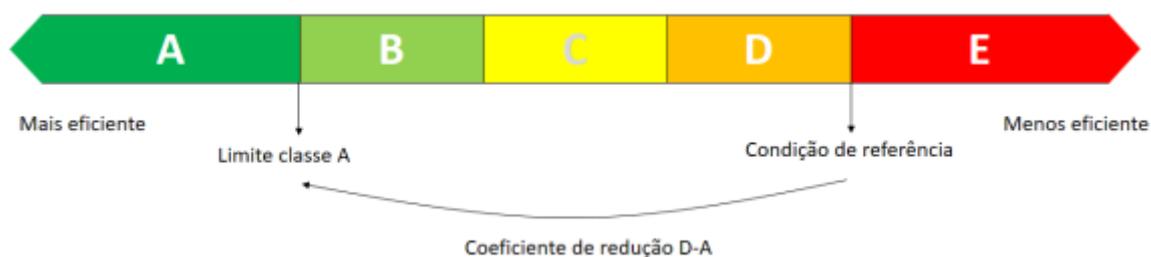
Conforme Pereira (2017), a de geração distribuída representa uma contribuição ambiental significativa visto que os impactos ambientais são praticamente inexistentes quando comparados à geração centralizada e especialmente quando comparada a outras formas de energia.

2.5 Instrução Normativa do Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)

A Instrução Normativa do Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) é um importante documento que estabelece diretrizes e critérios para avaliar e classificar a eficiência energética de edifícios no Brasil. Por meio dessa normativa, busca-se promover a adoção de práticas sustentáveis na construção civil, incentivando a redução do consumo de energia e o uso racional dos recursos (INMETRO, 2014).

A INI-C define cinco classes de eficiência, sendo a classe A a mais eficiente e a classe D a de referência (Figura 6). Ela estabelece requisitos e metodologias para a avaliação e classificação da eficiência energética dos edifícios, considerando aspectos como consumo de energia, desempenho térmico, iluminação e sistemas de condicionamento de ar. Além disso, a normativa estabelece a obrigatoriedade da etiquetagem de eficiência energética nos edifícios, proporcionando informações claras e transparentes aos consumidores e facilitando a comparação entre diferentes imóveis (INMETRO, 2014).

Figura 6 – Escala para classificação de eficiência energética.



Fonte: Manual de Aplicação da INI-C.

Com a INI-C, busca-se fomentar a adoção de práticas construtivas mais sustentáveis, estimulando a utilização de tecnologias eficientes e a conscientização sobre a importância da eficiência energética. Essa iniciativa contribuiu para a redução do impacto ambiental da construção civil, o uso mais eficiente dos recursos energéticos e a melhoria da qualidade de vida das pessoas que ocupam esses edifícios (INMETRO, 2014).

2.6 Eficiência energética em prédios públicos: desafios e estratégias para a promoção da sustentabilidade

Segundo Santos (2015), a eficiência energética é a relação entre a energia utilizada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. Nesse sentido as edificações públicas tem se tornado uma preocupação cada vez mais relevante, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. No Brasil, soma-se a isso a publicação da Instrução Normativa 02/2014, do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, a qual determina que os projetos de edificações e os *retrofits* de edificações públicas federais, com área maior que quinhentos metros quadrados, sejam desenvolvidos buscando a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia de Projeto nível A, de acordo com os Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (BRASIL, 2014).

Diante desse cenário, é essencial buscar estratégias eficientes para otimizar o consumo de energia nesses prédios, visando reduzir os custos operacionais e promover a sustentabilidade ambiental. Diversas ações podem ser adotadas a luz da INI-C, incluindo:

- Revisão energética: Realização de auditorias energéticas para identificar o consumo de energia atual, identificar áreas de desperdício e oportunidades de melhoria.
- Atualização tecnológica: Substituição de equipamentos e sistemas obsoletos por alternativas mais eficientes e energeticamente sustentáveis, como a instalação de

sistemas de iluminação LED, equipamentos com classificação energética A, sistemas de climatização eficientes, entre outros.

- Gestão e controle do consumo: Implantação de sistemas de gestão energética que monitorem e controlem o consumo de energia em tempo real, permitindo identificar desvios e adotar medidas corretivas.
- Educação e conscientização: Promoção de campanhas de conscientização e treinamento dos usuários dos prédios públicos, incentivando boas práticas de uso da energia, como desligar equipamentos em horários ociosos, utilizar iluminação natural sempre que possível, entre outras ações.
- Fontes de energia renovável: Avaliação da viabilidade de implementação de sistemas de geração distribuída de energia renovável, como painéis solares fotovoltaicos.

A eficiência energética em prédios públicos não apenas resulta em redução de gastos e impactos ambientais, mas também serve como exemplo para a sociedade, estimulando a adoção de práticas sustentáveis em outros setores. Além disso, o investimento em eficiência energética nessas edificações pode gerar uma significativa economia de recursos públicos a longo prazo. É importante ressaltar que o estabelecimento de políticas públicas e regulamentações adequadas são fundamentais para impulsionar a eficiência energética em prédios públicos. A definição de metas de eficiência, incentivos financeiros e a criação de programas de capacitação e certificação são alguns dos instrumentos que podem ser utilizados para promover e incentivar a adoção de medidas eficientes nesse setor.

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA, 2020), a implementação de medidas de eficiência energética em prédios públicos pode resultar em benefícios significativos, como a redução dos custos operacionais e a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos. Em suma, a busca pela eficiência energética em prédios públicos é fundamental para o alcance de metas de sustentabilidade e redução das emissões de gases de efeito estufa. Ao implementar medidas eficientes, o setor público pode desempenhar um papel crucial na transição para um modelo energético mais sustentável.

2.7 Temperaturas médias ambientais e uso de ar-condicionado: considerações para a região semiárida

A região semiárida é conhecida por suas características climáticas específicas, incluindo altas temperaturas médias e baixos índices pluviométricos. Essas condições climáticas representam um desafio para o conforto térmico das edificações e têm impacto direto no uso de sistemas de ar-condicionado nessa região. As temperaturas médias elevadas na região semiárida

exigem um maior consumo de energia para a climatização dos ambientes, principalmente durante os períodos de calor intenso. O uso excessivo de ar-condicionado pode resultar em altos custos de energia elétrica e contribuir para o aumento da demanda energética, além de ter implicações ambientais devido às emissões de gases de efeito estufa (SOUZA; SILVA, 2020).

Diante desse contexto, e tendo como premissa a INI-C, é fundamental adotar estratégias adequadas para minimizar o uso de ar-condicionado e buscar soluções mais eficientes em termos energéticos. Algumas medidas que podem ser consideradas incluem:

- Isolamento térmico: Investir em isolamento térmico eficiente nas edificações, incluindo paredes, coberturas e vidros, para reduzir a transferência de calor do ambiente externo para o interior dos edifícios. Isso contribui para manter a temperatura interna mais estável e reduz a necessidade de uso do ar-condicionado.
- Ventilação natural: Aproveitar as correntes de ar natural para resfriar os ambientes. O projeto arquitetônico pode ser planejado de forma a facilitar a circulação de ar e a entrada de brisas frescas, por meio de aberturas estratégicas, janelas, ventilação cruzada, entre outros recursos.
- Uso de elementos de sombreamento: Utilizar elementos de sombreamento, como persianas, brises, toldos e árvores, para bloquear a incidência direta do sol nos ambientes internos. Isso ajuda a reduzir o aquecimento excessivo e, conseqüentemente, a necessidade de refrigeração.
- Eficiência energética nos sistemas de ar-condicionado: Optar por equipamentos de ar-condicionado com alta eficiência energética e capacidade adequada para as demandas de resfriamento da região semiárida. Além disso, é importante realizar manutenção regular dos sistemas, garantindo seu bom funcionamento e eficiência ao longo do tempo.
- Uso consciente do ar-condicionado: Promover a conscientização dos usuários sobre o uso adequado do ar-condicionado, evitando temperaturas muito baixas, ajustando corretamente os termostatos e desligando o sistema quando não estiver em uso.

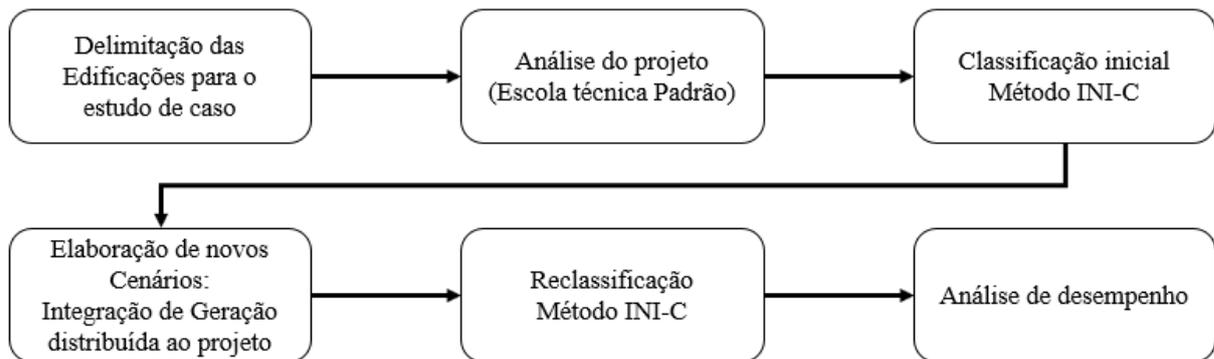
É importante destacar que todas essas medidas devem ser adaptadas às características específicas de cada região, (INMETRO, 2014).

Estratégias integradas são fundamentais para enfrentar os desafios do conforto térmico na região semiárida, marcada por altas temperaturas que intensificam o uso de ar-condicionado, gerando custos e impactos ambientais. A adaptação de medidas às condições locais, somada ao planejamento sustentável, promove equilíbrio entre conforto, economia de energia e sustentabilidade, alinhando-se às diretrizes da INI-C.

3 METODOLOGIA

A primeira etapa deste trabalho envolveu um levantamento bibliográfico, consultando bases de dados científicas, periódicos especializados, livros e documentos técnicos, com o objetivo de identificar referências sobre RED em edificações. A metodologia de modelagem INI-C foi utilizada para avaliar o desempenho energético das edificações. As etapas da metodologia incluem: análise do projeto (escola técnica padrão), classificação inicial usando o Método INI-C, elaboração de um novo cenário com a integração de geração distribuída ao projeto e análise de desempenho, que são detalhadas a seguir, com o intuito de fornecer uma visão geral e facilitar o entendimento da metodologia adotada, foi elaborado um diagrama de blocos da Figura 7.

Figura 7 – Resumo da metodologia.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

- **Análise do Projeto (Escola Técnica Padrão):** Foi realizada uma análise do projeto de uma escola técnica padrão, representada pelo CEEP - Centro Estadual de Educação Profissional Professor Francisco de Assis Pedrosa, localizado na Rua Pedro Valamira Fernandes, no bairro Alto de São Manoel, em Mossoró – RN (Figuras 8 e 9). Durante essa etapa, foram examinados aspectos relevantes do projeto, incluindo o layout arquitetônico, a estrutura física, os sistemas de iluminação e climatização, além de outros elementos essenciais que impactam o desempenho energético da edificação. Essa análise permitiu identificar características específicas do projeto que influenciam diretamente a eficiência energética, fornecendo uma base para a avaliação inicial. Aspectos como a disposição dos ambientes, o aproveitamento de iluminação natural, a escolha dos materiais de construção e os sistemas instalados foram avaliados, com o objetivo de compreender o comportamento energético da edificação em sua configuração original.

- **Elaboração de um Novo Cenário: Integração de Geração Distribuída ao Projeto:**

Com base nas informações da etapa anterior, foi desenvolvido um novo cenário de integração de sistemas de geração distribuída fotovoltaica ao projeto da edificação. Isso incluirá a análise de viabilidade técnica e o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, considerando as condições climáticas do semiárido brasileiro. Para essa análise, foi utilizado o *software* PVSOL que é um *software* de simulação avançado desenvolvido pela Valentin *software*, que permite o planejamento e a análise detalhada de sistemas fotovoltaicos. Ele oferece uma ampla gama de ferramentas para modelagem, simulação e otimização de sistemas de energia solar. Entre suas principais funcionalidades estão a análise de sombras, o cálculo de produção de energia, a análise financeira e a visualização 3D dos projetos.

- **Reclassificação usando o Método INI-C:** Após a integração dos sistemas fotovoltaicos, o projeto das edificações foi reclassificado de acordo com os critérios da INI-C, levando em consideração as melhorias implementadas para determinar a nova classificação de eficiência energética.

- **Análise de Desempenho:** Nesta etapa, foram comparados os resultados de eficiência energética entre os cenários antes e depois da implementação da geração fotovoltaica. Isso envolverá a análise de indicadores de desempenho, como consumo de energia, economia financeira, redução de emissões de carbono e confiabilidade energética.

Estes foram os principais passos da metodologia adotados nesta pesquisa para analisar e classificar a eficiência energética de edificações públicas na região do semiárido brasileiro, tanto antes como após a integração de sistemas de geração distribuída fotovoltaica.

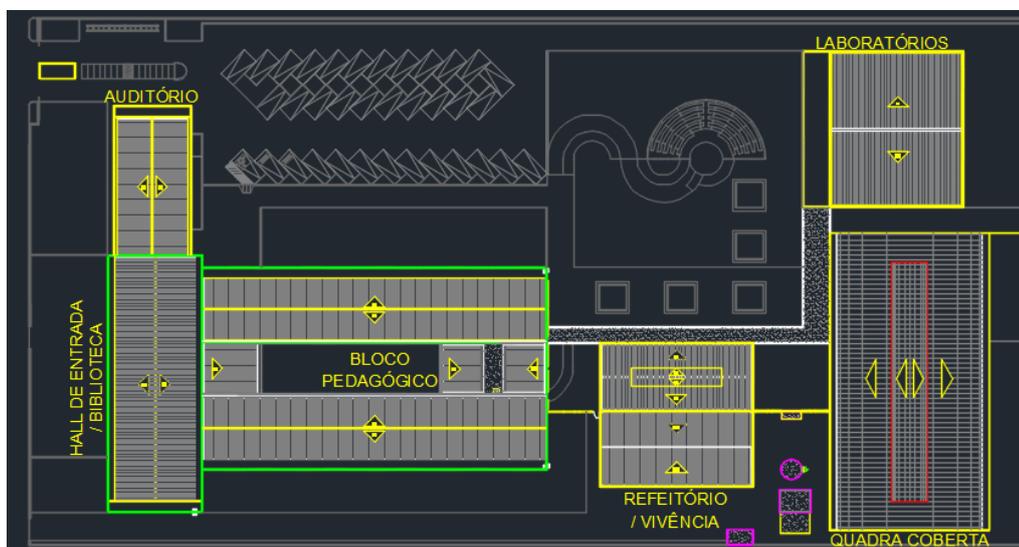
4 RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa reforçam o entendimento e a necessidade de promoção da eficiência energética em edificações públicas no semiárido brasileiro. Primeiramente, foi possível classificar a edificação pública conforme os critérios da INI-C, tanto na avaliação inicial quanto na revisada, após a integração de sistemas de geração distribuída fotovoltaica. Esta comparação direta revelou melhorias substanciais no desempenho energético das edificações. Foram identificadas economias de energia, custos de implementação, redução das emissões de gases de efeito estufa associada à geração de energia solar nas edificações e também uma análise comparativa com edificações similares localizadas nas outras quatro regiões do país. A disseminação do conhecimento foi uma parte fundamental deste projeto, com os resultados compartilhados por meio de relatórios e artigos acadêmicos, contribuindo para a promoção de práticas sustentáveis no setor de edificações públicas. Em última análise, os resultados desta pesquisa têm um impacto positivo na qualidade de vida da comunidade, promovendo a utilização eficiente de recursos energéticos e a redução dos custos operacionais das edificações públicas. Ao alinhar-se com os esforços de sustentabilidade e eficiência energética na região, esses resultados servirão como referência e guia para futuras iniciativas similares.

4.1 Sistema de iluminação

De acordo com as informações contidas no projeto arquitetônico elaborado pela equipe da Coordenação de Desenvolvimento de Projetos do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), a edificação da escola técnica padrão contempla as seguintes instalações: 12 salas de aula, 6 laboratórios básicos, um auditório, uma biblioteca, um teatro de arena, uma área de refeitório, um espaço de convivência, uma quadra poliesportiva coberta e dois laboratórios especiais de grande porte. Conforme representado pela Figura 10 e na Tabela 2, é possível observar a área construída do projeto.

Figura 10 - Representação por blocos da edificação Escola Técnica Padrão.



Fonte: Ministério da Educação – MEC (2011).

Tabela 2 - Áreas dos Blocos da Edificação.

ÁREAS DOS BLOCOS		M ²
1	BLOCO DE ACESSO E BIBLIOTECA	596,31
1.1	HALL PRINCIPAL	403,05
1.2	BIBLIOTECA	193,26
1.2.1	TÉRREO	118,72
1.2.2	SUPERIOR	74,54
2	AUDITÓRIO	297,28
3	BLOCO PEDAGÓGICO/ADMINISTRATIVO	2281,42
3.1	TÉRREO	1209,86
3.2	SUPERIOR	1071,56
4	BLOCO DE SERVIÇOS E VIVÊNCIA / PASSARELA	685,79
5	QUADRA POLIESPORTIVA	1094,23
5.1	TÉRREO	1007,59
5.2	SUPERIOR	86,67
6	ENSINO PROFISSIONALIZANTE (LABORATÓRIOS)	581,12
7	ANEXOS	41,21
7.1	GUARITA	13,75
7.2	LIXEIRA	10,00
7.3	GLP	3,60
7.4	CASA DE BOMBAS	13,86
ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA		5577,36

Fonte: Adaptado de Ministério da Educação – MEC (2011).

Os equipamentos de iluminação considerados neste trabalho são aqueles que foram especificados nos projetos de iluminação e no memorial descritivo. As informações detalhadas sobre o conjunto e suas respectivas potências estão dispostas na Tabela 3.

Tabela 3 - Equipamentos do sistema de iluminação.

Equipamento/Características	Potência (W)
Luminária Fluorescente Compacta 1 x 9W	9
Luminária Fluorescente Compacta 1 x15W	15
Luminária Fluorescente Compacta 2 x 20W	20
Luminária Fluorescente Tubular 2 x 16W	32
Luminária Fluorescente Tubular 4 x 16W	64
Luminária Fluorescente Tubular 2 x 32W	64
Luminária Multivapores Metálicos 1 x 150W	150

Fonte: Adaptado de Ministério da Educação – MEC (2011).

O sistema de iluminação é avaliado com base na densidade de potência instalada de iluminação (DPI) e seus requisitos específicos, incluindo a funcionalidade de desligamento automático do sistema de iluminação, a utilização adequada da luz natural e a subdivisão dos circuitos de controle. A avaliação da eficiência energética do sistema de iluminação se concentra exclusivamente nas áreas internas do edifício e sob a cobertura. Para este estudo, optou-se pelo método edifício completo que conforme descrito na INI-C, no item B.III.4, o método do edifício completo é empregável aos edifícios com no máximo três atividades principais (cada uma representando no mínimo 30% da área da edificação completa).

Para classificação do sistema de iluminação presente no projeto da edificação escola técnica padrão foi aplicado o Fluxo demonstrado na Figura 11.

Figura 11 - Fluxo de aplicação do método simplificado de avaliação do sistema de Iluminação.

1	Avaliar a edificação segundo um dos métodos: Método do edifício completo ou Método das atividades
2	Determinar a potência de iluminação limite para a condição de referência
3	Calcular a potência de iluminação total da edificação real
4	Determinar o consumo de iluminação na condição real e de referência
5	Determinar o percentual de redução do consumo
6	Classificar o sistema de iluminação
7	Avaliar a elegibilidade para classe A do sistema de iluminação

Fonte: Adaptado de Manual INI-C, Método Simplificado (2022).

4.1.1 Avaliação da edificação segundo um dos métodos (Passo 1)

Seguindo as etapas descritas no fluxo apresentado na Figura 11 e considerando que a edificação tem como atividade principal o uso educacional, opta-se por empregar o método de

avaliação integral da edificação. Nesse contexto, também é considerado os valores de referência específicos para edifícios de fins educacionais, conforme indicado na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de referência para edificações educacionais.

Uso Típico	Edificações educacionais			
	Condição real	Condição de referência		
		Educação Infantil	Ensino Fundamental e médio	Ensino Superior
Geometria				
Área (m ²)	Condição real			
Orientação Solar	Condição real			
Pé-direito (piso a teto) (m)	Condição real			
Aberturas				
PAF - Percentual de área de abertura da fachada(%)	Condição real	40 (0,40)		
Componentes construtivos				
Parede	Condição real	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9cm), argamassa externa (2,5 cm)		
Upar - Transmitância da parede externa (W/m ² K)	Condição real	2,39		
αPAR - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5		
CTpar - Capacidade térmica da parede externa (KJ/m ² K)	Condição real	150		
Cobertura	Condição real	Telha de fibrocimento de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10cm)		
Ucob - Transmitância da cobertura (W/m ² K)	Condição real	2,06		
αCOB - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8		
CTcob - Capacidade térmica da cobertura externa (KJ/m ² K)	Condição real	233		
Vidro	Condição real	Vidro simples incolor 6mm		
FS - Fator solar do vidro (adimensional)	Condição real	0,82		
Uvid - Transmitância do vidro (W/m ² K)	Condição real	5,7		
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0		
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0		
AOV - Ângulo de obstrução vizina (°)	Condição real			
Iluminação e ganhos				
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	Condição real	15,5		
Ocupação (m ² /pessoa)	Condição de referência	2,5	1,5	1,5
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)	Condição de referência	15		
Horas de ocupação (horas)	8			
Dias de ocupação (Nano)	200			
Situação do piso	Condição real			
Situação da cobertura	Condição real			
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento		
Condicionamento de ar (refrigeração)				
COP - Coeficiente de performance (W/W)	Condição real	2,6		

Fonte: Adaptado de Manual INI-C (2021).

4.1.2 Determinação da potência limite da condição de referência (Passo 2)

Para determinar as potências de iluminação limite, foram estabelecidas as Densidades de Potência Instalada (DPIs) limite correspondentes aos níveis de eficiência A e D para a categoria escolar. Essa definição, utilizando o método de avaliação integral do edifício, foi realizada com referência à Tabela 5 (INI-C, 2022).

Tabela 5 - Limite máximo aceitável de Densidade de Potência de Iluminação (DPIL) para a classificação de eficiência pretendida – método do edifício completo.

Função do edifício	DPIL Classif. A (W/m ²)	DPIL Classif. D (W/m ²)
Escola/universidade	8,7	15,5

Fonte: Adaptado de Manual INI-C (2022).

Inicialmente, procedeu-se ao cálculo da área total sujeita à iluminação na edificação, que consiste na soma das áreas iluminadas em todos os espaços, conforme especificado no item 11 da INI-C (2022). Com a área total iluminada do edifício avaliada em 5.577,36 metros quadrados (Tabela 1) e com base nas densidades de potência limite fornecidas pela Tabela 4, foi possível calcular a potência máxima permitida utilizando a Equação B.III.7 da INI-C (2022), representado logo abaixo pela equação 1.

$$PI_L = \sum_{i=1}^{n=3} (A_i \cdot DPI_L) \quad (1)$$

Onde:

PI_L é a potência de iluminação limite para cada classificação (A ou D) em W;

n é um número equivalente à quantidade de atividades principais da edificação, sendo no máximo três atividades;

A_i é a área iluminada para cada uma das atividades, se houver mais de uma (m²);

DPI_L é a densidade de potência limite para cada uma das atividades, se houver mais de uma, em W/m².

Aplicando em (1) os valores advindos das Tabelas 2 (Área Total) e 5 (DPIL das classificações A e D), obtém-se os dados da tabela 6.

Tabela 6 - Potência de iluminação limite para cada classificação A ou D

Potência de Iluminação Limite: PI_L (W)	
PI_{LD}	86.449,08
PI_{LA}	48.523,03

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.1.3 Determinação da potência de iluminação total da edificação real (Passo 3)

A fim de calcular a potência de iluminação em uso, é necessário somar as potências de iluminação atualmente utilizadas em cada espaço conforme definidas no projeto luminotécnico. Em relação a potência de iluminação resultante, essa não possui nenhum tipo de automação. Nesse contexto, essa potência corresponde à potência total presente no ambiente, ou seja, é a soma das potências dos equipamentos a serem instalados, sendo representado pela Tabela 7.

Tabela 7 - Potências do sistema de iluminação do projeto escola técnica padrão.

Bloco	Potência de Iluminação (W)
Auditório	3.132
Biblioteca	5.956
Administração	4.463
Banheiros	1.579
Laboratórios	7.258
Salas de Aula	12.301
Ginásio	12.030
Área de Serviços	5.231
Guarita/Área Externa	2.378
Total	54.328

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

4.1.4 Determinação do consumo de iluminação (Passo 4)

Para determinar o consumo de iluminação, é utilizado a equação 2. Além disso, são estimados os consumos de iluminação para a edificação sob as condições de referência A e D, com base na potência instalada. Para realizar esses cálculos, também é necessário obter informações sobre o número de horas de utilização da iluminação por dia e o número de dias em que a edificação está ocupada ao longo do ano. Esses dados são fornecidos em tabelas específicas de acordo com a categoria do edifício, conforme estabelecido no Anexo A da INI-C. Nesse caso especificamente tem-se uma edificação de categoria de escolar (conforme

detalhado na Tabela 3), sendo assim na Tabela 8 são apresentados os valores de potência de iluminação.

$$C_{IL,real} = (PI_{T,REAL} \cdot h \cdot N_{ano}) / 1000 \quad (2)$$

Onde:

$C_{IL,real}$ é o consumo de iluminação na condição real em kWh;

$PI_{T,REAL}$ é a potência de iluminação limite total na condição real em kWh;

h é o número de horas que a edificação é utilizada por dia;

N_{ano} é o número de dias que a edificação é utilizada por ano;

Tabela 8 – Potência de iluminação limite para cada classificação A ou D e REAL

Potência de Iluminação Limite: PI (W)	
$PI_{T,REAL}$	54.328,00
PI_{LD}	86.449,08
PI_{LA}	48.523,03

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Considerando que a edificação tem tipificação escolar sendo assim utilizada 8 horas por dia e 200 dias por ano, é possível determinar o consumo de iluminação por meio da equação 2. Portanto, Aplicando os dados da Tabela 8 em (2), tem-se a Tabela 9.

Tabela 9 – Consumo de iluminação para cada classificação A ou D e REAL

Consumo de iluminação (kWh)	
$C_{IL,real}$	86.924,00
$C_{IL,ref A}$	77.636,8
$C_{IL,ref D}$	138.318,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.1.5 Determinação do percentual de redução do consumo de iluminação (Passo 5)

A fim de determinar a porcentagem de redução no consumo de iluminação, segue-se a equação 3 conforme estabelecida na INI-C. Para realizar esse cálculo, será aplicado os valores obtidos no Passo 4, bem como nas condições de referência tipo D.

$$RedC_{IL} = \left(\frac{C_{IL,ref} - C_{IL,real}}{C_{IL,ref}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

$RedC_{IL}$ é o percentual de redução de consumo de iluminação consumo de iluminação na condição real em kWh;

$CI_{L,ref}$ é o consumo de iluminação na condição de referência em kWh;

$CI_{L,real}$ é o consumo de iluminação na condição de real em kWh;

Logo, a redução do consumo de iluminação da edificação real em relação à condição de referência D é de 37,15%

4.1.6 Determinação da classificação de eficiência energética do sistema de iluminação (Passo 6)

A seção 8.2.3 do Manual da INI-C (2022), descreve o processo de criação de uma escala de classificação para medir a eficiência energética do sistema de iluminação, essa escala é construída com base em dois valores de referência: o consumo de referência tipo D e o consumo de referência tipo A, a redução alcançada no consumo tipo A corresponde ao limite inferior da classe A, enquanto o consumo tipo D representa o limite inferior da classe D, com uma redução equivalente a 0%. Entre esses limites inferiores das classes A e D, existem três classes intermediárias: classe B, classe C e classe D. Portanto, para determinar a escala completa, é necessário compreender os limites inferiores das classes intermediárias, ou seja, os limites mínimos e máximos de cada classe. A equação 4 fornece o método de cálculo para determinar o coeficiente que representa a diferença entre esses limites mínimos e máximos de cada classe.

$$i = \frac{\left(\frac{C_{IL,ref D} - C_{IL,ref A}}{C_{IL,ref D}}\right) \cdot 100}{3} \quad (4)$$

Onde:

i é o percentual de redução entre classes;

$CI_{L,ref}$ é o consumo de iluminação na condição de referência D em kWh;

$CI_{L,ref}$ é o consumo de iluminação na condição de referência A em kWh;

$CI_{L,real}$ é o consumo de iluminação na condição de real em kWh;

Então: $i = 14,62\%$, Este percentual representa a variação na taxa de redução de uma classe para outra. Por exemplo, na classe D, as reduções estão compreendidas entre 0% e 14,62%. Enquanto na classe C, as reduções começam acima de 14,62% e vão até duas vezes esse valor, ou seja, 29,24%, conforme representado na Tabela 10.

Tabela 10 - Limites de RedCIL para a classificação do sistema de iluminação.

A	B	C	D	E
RedCIL \geq 43,86%	43,86% > RedCIL \geq 29,24%	29,24% > RedCIL \geq 14,62%	14,62% > RedCIL \geq 0%	0% > RedCIL

Fonte: Adaptado de Manual INI-C (2021).

Dado que a redução no consumo de energia da edificação nas condições reais alcançou 37,15%, e o valor mínimo estabelecido para a classe A é de 43,86%, não é possível classificá-lo como pertencente à classe A. O limite mínimo para a classe B é de 29,24%. Portanto, com base nesses valores, é possível classificar o sistema de iluminação da edificação da escola técnica padrão como pertencente à CLASSIFICAÇÃO B.

4.1.7 Determinação da classificação de eficiência energética do sistema de iluminação (Passo 7)

Se a edificação não alcança a classificação A, não é necessário analisar os requisitos de elegibilidade A. No entanto, se a classificação A é obtida no sistema de iluminação com base no Passo 6, é preciso avaliar os critérios de elegibilidade A de acordo com o item 7.2 da INI-C. Esses critérios incluem a presença de controle independente da iluminação artificial em áreas próximas às aberturas que recebem luz natural, a existência de controles manuais em todos os ambientes e o desligamento automático da iluminação em espaços maiores que 250 metros quadrados.

Como resultado preliminar dessa avaliação, identificam-se que o sistema de iluminação projetado se enquadra na classificação B, de acordo com os critérios estabelecidos. É fundamental destacar que esse resultado é preliminar e serve como um ponto de partida inicial e para uma avaliação completa da eficiência energética do projeto da edificação, ainda é necessário analisar outros aspectos, como a envoltória do edifício, o sistema de climatização e o projeto da edificação como um todo. A eficiência energética de um edifício depende de diversos fatores interconectados, e a avaliação de todos esses componentes é fundamental para obter uma visão abrangente e precisa do desempenho energético da edificação.

4.2 Envoltória

A Figura 12 mostra o fluxo para aplicação do método simplificado para avaliar a eficiência energética da envoltória de edificações com controle artificial de temperatura que se baseia na predição da carga térmica. Esta predição é realizada por meio de um metamodelo

desenvolvido a partir de resultados de milhares de simulações computacionais. O metamodelo é acessível através de uma interface¹ *web* disponibilizada pelo INMETRO e PBE EDIFICA. Para realizar a predição dessas variáveis, são necessários dados específicos da edificação. Alguns parâmetros são coletados com base em toda a edificação, enquanto outros são definidos para cada zona térmica específica.

Figura 12 - Fluxo de aplicação do método simplificado de avaliação da envoltória.

1	Conferir condições de aplicabilidade do método simplificado
2	Dividir as zonas térmicas
3	Levantar os parâmetros
4	Predizer a carga térmica e cálculo do percentual de redução
5	Classificar a envoltória

Fonte: Adaptado de Manual INI-C, Método Simplificado (2022).

4.2.1 Condições de aplicabilidade do método simplificado (Passo 1)

Conforme descrito no manual da INI-C, o método simplificado para avaliar as zonas térmicas com controle artificial de temperatura cobre a maior parte das soluções arquitetônicas comuns. Entretanto, sua aplicação é limitada a edificações cujas características construtivas se enquadram nos intervalos especificados na Tabela 11.

Tabela 11 - Limites dos parâmetros de avaliação da envoltória pelo método simplificado.

Parâmetros	Limites	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura (α_{cob})	0,2	0,8
Absortância solar da parede (α_{par})	0,2	0,8
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0°	80°
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	90°
Capacidade térmica da cobertura (CT_{cob})	0,22 (KJ/m ² K)	450 (KJ/m ² K)
Capacidade térmica da parede externa (CT_{par})	0,22 (KJ/m ² K)	450 (KJ/m ² K)
Densidade de potência de equipamentos (DPE)	4 (W/m ²)	40 (W/m ²)
Densidade de potência de iluminação (DPI)	4 (W/m ²)	40 (W/m ²)
Fator solar do vidro (FS)	0,21	0,87
Pé-direito (PD)	2,6 m	6,6 m
Percentual de área de abertura da fachada (PAF)	0%	80%
Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})	0,51 W/(m ² .K)	5,07 W/(m ² .K)
Transmitância térmica da parede externa (U_{par})	0,50 W/(m ² .K)	4,40 W/(m ² .K)
Transmitância térmica do vidro (U_{vid})	1,9 W/m ²	5,7 W/m ²

Fonte: Adaptado de Manual INI-C (2021).

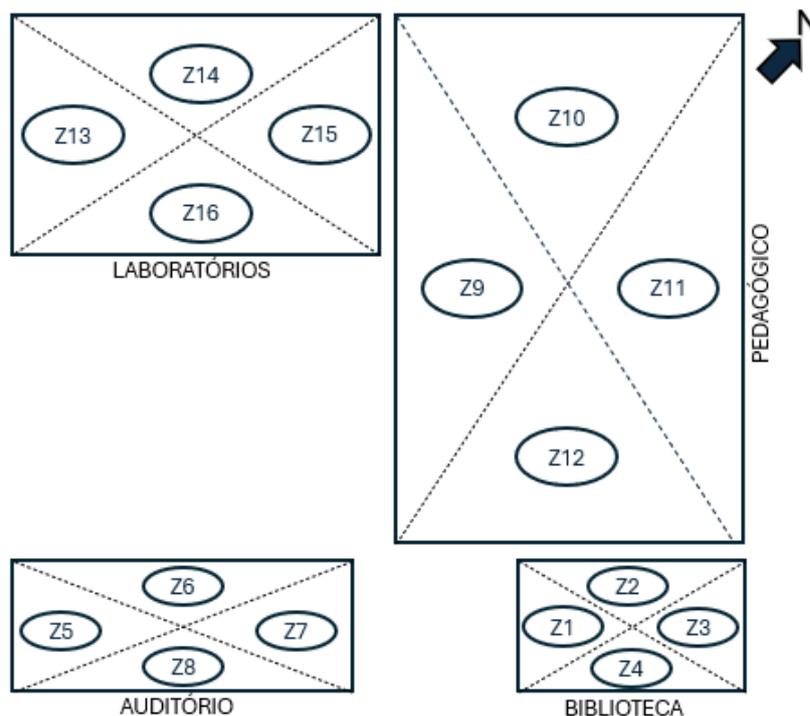
¹ <https://www.pbeedifica.com.br/ini-c/>

4.2.2 Divisão das zonas térmicas (Passo 2)

De acordo com a INI-C (2021), a definição das zonas térmicas deve considerar a tipologia da edificação, as características ou especificações técnicas do sistema de ar-condicionado, a altura do pé-direito, além de espaços com pisos e coberturas em contato com o solo ou o ambiente externo. Em edificações onde as áreas destinadas à permanência prolongada são integralmente climatizadas, as áreas de permanência transitória, que normalmente não recebem climatização, devem ser excluídas da avaliação.

Nesse sentido, pode-se representar a edificação dividida em 16 zonas de acordo com a Figura 13, ressaltando que os blocos pedagógicos e a biblioteca possuem pavimento térreo e pavimento superior.

Figura 13 – Divisão da edificação em zonas térmicas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em seguida para o levantamento da carga térmica, é necessário identificar as zonas térmicas por área e pela orientação geográfica. Assim, podemos agrupar as áreas similares, resultando em dois pavimentos subdivididos em quatro zonas térmicas, de acordo com as Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 - Áreas e orientação geográfica das zonas térmicas do pavimento térreo.

Zona Térreo 1		Zona Térreo 2		Zona Térreo 3		Zona Térreo 4	
Nordeste	Área (m ²)	Noroeste	Área (m ²)	Sudoeste	Área (m ²)	Sudeste	Área (m ²)
Z3	24,2	Z2	24,2	Z1	24,2	Z4	24,2
Z7	77,5	Z6	77,5	Z5	77,5	Z8	77,5
Z11	285,2	Z10	285,2	Z9	285,2	Z12	285,2
Z15	145,3	Z14	145,3	Z13	145,3	Z16	145,3
Total	532,1	-	532,1	-	532,1	-	532,1

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 13 - Áreas e orientação geográfica das zonas térmicas do pavimento superior.

Zona Superior 5		Zona Superior 6		Zona Superior 7		Zona Superior 8	
Nordeste	Área (m ²)	Noroeste	Área (m ²)	Sudoeste	Área (m ²)	Sudeste	Área (m ²)
Z3	24,2	Z2	24,2	Z1	24,2	Z4	24,2
Z7	-	Z6	-	Z5	-	Z8	-
Z11	285,2	Z10	285,2	Z9	285,2	Z12	285,2
Z15	-	Z14	-	Z13	-	Z16	-
Total	309,3	-	309,3	-	309,3	-	309,3

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.2.3 Levantamento de parâmetros construtivos da edificação (Passo 3)

É necessário coletar parâmetros que descrevam tanto a edificação quanto as zonas térmicas. Os parâmetros relativos às zonas térmicas podem ser divididos em geométricos e construtivos. Esses dados são inseridos na interface web do PBE EDIFICA.

As informações gerais da edificação avaliada incluem a localização, a tipologia, a forma da edificação, o tipo de sistema de condicionamento, o sistema de fornecimento de eletricidade e se há especificação da densidade de potência dos equipamentos. A edificação utilizada para análise está localizada na cidade de Mossoró-RN. A tipologia predominante é do tipo educacional, com uma área construída de 5.577,36 m², conforme especificado no projeto.

De acordo com o projeto da edificação a altura dos pavimentos é de 2,85m, sendo assim é possível chegar no valor de volume da edificação o que irá resultar em um fator de forma de 0,35m²/m³, adicionalmente, a edificação utiliza climatização artificial, está conectada ao sistema interligado nacional e não possui levantamento da densidade de potência elétrica (DPE). A partir do projeto e a subdivisão realizada no passo 2 tem-se a seguinte distribuição relacionada na Tabela 14.

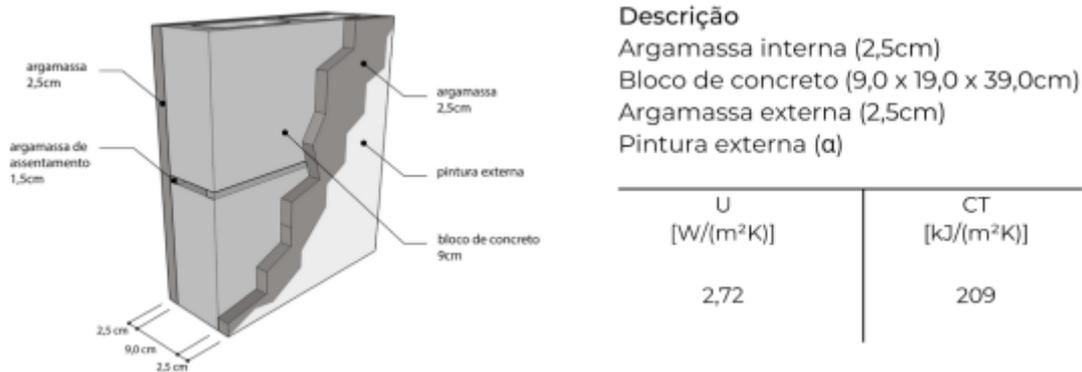
Tabela 14 - Áreas e orientação geográfica das zonas térmicas.

Condição da Zona térmica no pavimento	Zona Térmica	Área	Pé-direito [m]	Tipo de Zona Térmica	Orientação
Térreo (com + pvtos acima)	Zona Térreo 1	532,11	2,85	Perimetral	NE
Térreo (com + pvtos acima)	Zona Térreo 2	532,11	2,85	Perimetral	NO
Térreo (com + pvtos acima)	Zona Térreo 3	532,11	2,85	Perimetral	SE
Térreo (com + pvtos acima)	Zona Térreo 4	532,11	2,85	Perimetral	SO
Cobertura	Zona Superior 5	309,34	2,85	Perimetral	NE
Cobertura	Zona Superior 6	309,34	2,85	Perimetral	NO
Cobertura	Zona Superior 7	309,34	2,85	Perimetral	SE
Cobertura	Zona Superior 8	309,34	2,85	Perimetral	SO

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

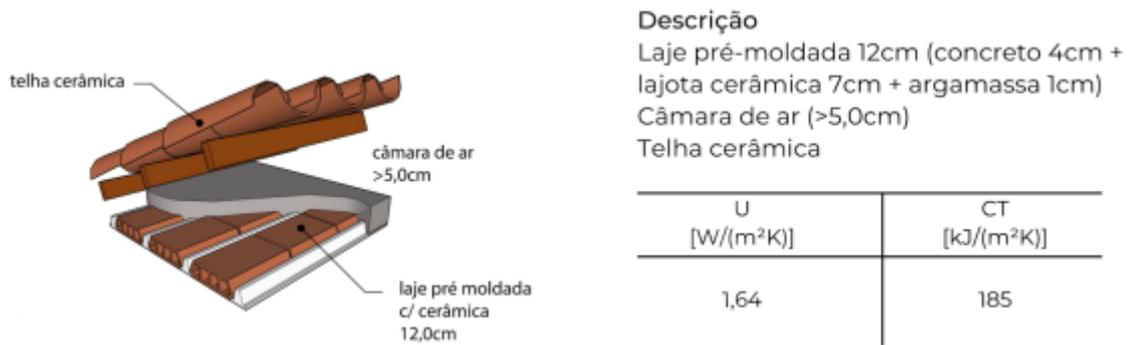
Consultado o catálogo² de propriedades térmicas do manual RAC do PBE EDIFICA , tem-se nas Figuras 14, 15 e 16 as propriedades térmicas dos elementos paredes e coberturas.

Figura 14 - Propriedades térmicas das paredes.



Fonte: Manual RAC (2022).

Figura 15 - Propriedades térmicas da cobertura.



Fonte: Manual RAC (2022).

Figura 16 - Propriedades térmicas da pintura.

ACRÍLICA FOSCA

NÚMERO	COR	NOME	α
01	Amarelo Antigo	Amarelo Antigo	51,4
02	Amarelo Terra	Amarelo Terra	64,3
03	Areia	Areia	44,9
04	Azul	Azul	73,3
05	Azul Imperial	Azul Imperial	66,9
06	Branco	Branco	15,8
07	Branco Gelo	Branco Gelo	37,2
08	Camurça	Camurça	57,4
09	Concreto	Concreto	74,5
10	Flamingo	Flamingo	49,5
11	Jade	Jade	52,3
12	Marfim	Marfim	33,6
13	Palha	Palha	36,7
14	Pérola	Pérola	33,0
15	Pêssego	Pêssego	42,8
16	Tabaco	Tabaco	78,1
17	Terracota	Terracota	64,6

LÁTEX FOSCA

NÚMERO	COR	NOME	α
34	Amarelo Canário	Amarelo Canário	29,3
35	Amarelo Terra	Amarelo Terra	61,4
36	Areia	Areia	39,0
37	Azul Angra	Azul Angra	32,3
38	Bianco Sereno	Bianco Sereno	26,6
39	Branco	Branco	11,1
40	Branco Gelo	Branco Gelo	34,0
41	Erva Doce	Erva Doce	21,9
42	Flamingo	Flamingo	46,8
43	Laranja	Laranja	39,9
44	Marfim	Marfim	29,7
45	Palha	Palha	28,5
46	Pérola	Pérola	25,7
47	Pêssego	Pêssego	39,5

Fonte: Manual RAC (2022).

4.2.4 Predição da carga térmica e cálculo do percentual de redução (Passo 4)

Com base no levantamento das características térmicas construtivas e da orientação geográfica, é possível inserir os dados da Tabela 15 na interface do PBE EDIFICA. Isso permitirá obter as informações sobre a carga térmica da edificação, o que resulta na Tabela 16.

Tabela 15 - Características térmicas, áreas e orientação geográfica das zonas térmicas.

Uso	Escolar							
Pavimento	Térreo				Superior			
Zona	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8
Área (m ²)	532,1	532,1	532,1	532,1	309,3	309,3	309,3	309,3
Contato com o Solo	sim	sim	sim	sim	não	não	não	não
Zona de Pilotis?	não	não	não	não	não	não	não	não
Cobertura exposta	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim
Piso com Isolamento	não	não	não	não	não	não	não	não
Tipo de zona*	Perimetral							
Orientação Solar	NE	NO	SE	SO	NE	NO	SE	SO
DPE (W/m ²)	15	15	15	15	15	15	15	15
DPI (W/m ²)	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74	9,74
Fator Solar (Vidro)	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Uvidro (W/(m ² .K))	5,79	5,79	5,79	5,79	5,79	5,79	5,79	5,79
Absortância cobertura	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Absortância parede	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Pé-direito(m)	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85
PAF	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
AHS	0	0	0	0	0	0	0	0
AVS	0	0	0	0	0	0	0	0
AVO	0	0	0	0	0	0	0	0
Horas de Ocupação	8	8	8	8	8	8	8	8
Ucobertura(W/(m ² .K))	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
Uparedede(W/(m ² .K))	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72
CTcob(kJ/(m ² .K))	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85
CTpar(kJ/(m ² .K))	209	209	209	209	209	209	209	209

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 16 - Carga térmica da edificação.

Zona Térmica	Carga térmica de resfriamento REAL (kWh/ano)	Carga térmica de resfriamento REFERÊNCIA (kWh/ano)
Zona Térreo 1	403.409	417.200
Zona Térreo 2	396.920	408.401
Zona Térreo 3	405.819	419.689
Zona Térreo 4	402.463	413.811
Zona Superior 5	142.262	165.894
Zona Superior 6	142.438,00	163.065,00
Zona Superior 7	143.153,00	161.742,00
Zona Superior 8	143.403,00	160.134,00
TOTAL	2.179.867	2.309.936

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.2.5 Classificação da Envoltória (Passo 5)

A classificação da envoltória é baseada no item 8.2.1 da INI-C (2022). Primeiro, deve-se determinar o coeficiente de redução de carga térmica total anual (CRCgTTD-A) utilizando as Tabelas 8.12 a 8.19 da INI-C (2022). Para um edifício de tipologia escolar, considerando que o fator de forma da edificação é de 0,35 (conforme item 3.1.1 da INI-C) e que a edificação está localizada na zona bioclimática 7 (Mossoró - RN), obtém-se: $CRCgTTD-A = 16\%$

O valor que representa o intervalo entre as classes "i" é calculado com base na Equação 8.10 da INI-C (2022). Este intervalo é obtido dividindo o CRCgTTD-A por três e, sendo assim: $i = 5,33\%$.

A Tabela 17 faz a representação dos dados necessários para classificação da envoltória, podendo evidenciar a conclusão de que a envoltória da edificação será classificada como classe C.

Tabela 17 - Carga térmica da edificação e limites de classificação da envoltória.

Carga térmica Referência (kWh/ano):	2309936,00
Carga térmica Real (kWh/ano):	2179867,00
RedCEnv:	5,63
CRCgTTD-A	16,00%
i	5,33%

	A	B	C	D	E
Limite Superior	-	16,0%	10,7%	5,3%	0,0%
Limite Inferior	16,0%	10,7%	5,3%	0,0%	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.3 Condicionamento de Ar

A avaliação do sistema de ar-condicionado é obrigatória para a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) geral da edificação e opcional para a ENCE parcial, a critério do solicitante, e sua classificação pode ser realizada seguindo o fluxo demonstrado na Figura 17 (INI-C, 2022).

Figura 17 - Fluxo de aplicação do método simplificado de avaliação do condicionamento de ar.

1	Determinar a carga térmica da envoltória
2	Calcular o coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar
3	Determinar o consumo de refrigeração na condição real e de referência
4	Classificar o sistema de condicionamento de ar
5	Avaliar a elegibilidade para classe A do sistema de condicionamento de ar

Fonte: Adaptado de Manual INI-C, Método Simplificado (2022).

4.3.1 Determinação da carga térmica da envoltória (Passo 1)

No passo 4 do item 4.2 foi determinado as cargas térmicas da envoltória, tendo os seguintes valores totais mostrados na Tabela 18.

Tabela 18 - Carga térmica da edificação.

Zona Térmica	Carga térmica de resfriamento REAL (kWh/ano)	Carga térmica de resfriamento REFERÊNCIA (kWh/ano)
TOTAL	2.179.867	2.309.936

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.3.2 Coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar (Passo 2)

De acordo com a INI-C (2022), pode-se determinar a eficiência do sistema de ar-condicionado utilizando o fator de ponderação K, nesse cálculo deve-se basear nos requisitos de eficiência dos equipamentos, conforme o tipo de equipamento em uso. Neste método, o Coeficiente de Eficiência Energética (CEER) é calculado como a eficiência do resfriador de líquido multiplicada por K, que varia de acordo com o grupo climático, conforme indicado na Tabela B.II.2 do manual da INI-C (2022), sendo representado na Tabela 19.

Tabela 19 - Valor de ponderação de acordo com o grupo climático.

Grupo climático (GC)	Fator de ponderação (K)	
	Condensação à ar	Condensação à água
15, 16, 18, 20, 22, 23 e 24	0,64	0,58

Fonte: INI-C (2022).

Nesse sentido para calcular o CEER será considerado que a edificação faz uso de aparelhos de ar-condicionado do tipo split classe A, com fabricação anterior a 31/12/2022, o

que resultará em um Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal (IDRS) de 5,5, sendo assim tem-se:

$$\begin{aligned} \text{CEER} &= K \cdot \text{IDRS} && \text{Equação (5)} \\ \text{CEER} &= 0,64 \cdot 5,5 \\ \text{CEER} &= 3,52 \end{aligned}$$

4.3.3 Consumo de refrigeração (Passo 3)

A partir da determinação do CEER e das cargas térmicas das respectivas zonas, estabelecidas no passo 4 do item 4.2 desta dissertação, determina-se o consumo de refrigeração na condição real, conforme apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 - Consumo de energia por climatização na condição real.

Zona Térmica	Área condicionada (m ²)	Carga térmica (kWh/ano)	Sistema de Ar-Condicionado	Tipo de Coeficiente	Índice	Consumo (kWh/ano)
Zona Térreo 1	532,11	403.409,00	Fator K	k	3,52	114.604,83
Zona Térreo 2	532,11	396.920,00	Fator K	k	3,52	112.761,36
Zona Térreo 3	532,11	405.819,00	Fator K	k	3,52	115.289,49
Zona Térreo 4	532,11	402.463,00	Fator K	k	3,52	114.336,08
Zona Superior 1	309,34	142.262,00	Fator K	k	3,52	40.415,34
Zona Superior 2	309,34	142.438,00	Fator K	k	3,52	40.465,34
Zona Superior 3	309,34	143.153,00	Fator K	k	3,52	40.668,47
Zona Superior 4	309,34	143.403,00	Fator K	k	3,52	40.739,49
Total						619.280,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.3.4 Classificação do sistema de condicionamento de ar (Passo 4)

Considerando que a classificação do sistema de ar será baseada na determinação do percentual de redução de consumo, comparando a carga térmica atual com a de referência da edificação, a Tabela 21 apresenta os dados necessários para essa classificação. A análise indica que o percentual de redução de consumo (RedCR) é de 13%, resultando em um sistema de condicionamento de ar classificado como Classe C. Esse resultado elimina a necessidade de avaliação para a classificação Classe A.

Tabela 21 - Carga térmica da edificação e limites de classificação do sistema de condicionamento de ar.

Consumo de energia final Referência (kWh/ano):	712.943,21
Consumo de energia final Real (kWh/ano):	619.280,40
RedCR:	13%
CRCgTTD-A	34,00%
i	11,33%
Tipo de condicionamento da edificação:	Condicionada artificialmente

	A	B	C	D	E
Limite Superior	-	34%	23%	11%	0%
Limite Inferior	34%	23%	11%	0%	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.4 Classificação Geral da Edificação

A classificação geral da edificação foi realizada conforme metodologia da INI-C, analisando os seguintes sistemas: Sistema de iluminação, envoltória e sistema de condicionamento de ar. A Tabela 22 mostra os dados gerais da edificação.

Tabela 22 - Dados Gerais da Edificação.

Nome da Edificação:	CEEP
Endereço:	Mossoró
Empresa:	SEEC
Etapa:	Projeto
UF:	RN
Cidade:	Mossoró
Tipo de sistema:	Sistema Interligado Nacional
Zona Bioclimática:	7
Área construída (m²):	5577,36
Tipologia predominante:	Educacional
Fator de Forma (m²/m³):	0,350
DPE Adotado (W/m²):	15,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Tabela 23 apresenta uma redução geral de consumo de 17,0%. Considerando a envoltória (carga térmica), o sistema de ar-condicionado e a iluminação, essa redução pode ser

comparada com os dados da Tabela 24, resultando na classificação geral da edificação como Classe C.

Tabela 23 - Consumo em Energia Primária (Classificação inicial).

Sistema	Condição de Referência (kWh/ano)	Condição Real (kWh/ano)	% de Redução	Classificação
Envoltória (carga térmica)	3.695.897,60	3.487.787,20	5,6%	C
Ar-Condicionado	1.140.709,14	990.848,64	13,1%	C
Iluminação	221.309,64	139.079,68	37,2%	B
Geração de Energia	0,00	0,00	-	-
Classificação Geral da Edificação (sem Geração)	1.362.018,78	1.129.928,32	17,0%	C

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 24 – Classes e limites para classificação.

	A	B	C	D	E
Limite Superior	-	36,0%	24,0%	12,0%	0,0%
Limite Inferior	36,0%	24,0%	12,0%	0,0%	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Tabela 25 mostra que, em suas condições iniciais e com a classificação C, a edificação emite aproximadamente 102 toneladas de CO₂. Isso representa uma redução de 17,0% em comparação com a edificação de referência.

Tabela 25 - Emissão de CO₂.

Sistema	Condição de Referência (kgCO ₂ eq)	Condição Real (kgCO ₂ eq)	% de Redução
Envoltória	-	-	-
Ar-Condicionado	102.663,82	89.176,38	13,1%
Iluminação	19.917,87	12.517,17	37,2%
Geração de Energia	-	0,00	-
Total (sem geração)	122.581,69	101.693,55	17,0%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.5 Novos cenários com a implementação de geração solar fotovoltaica na edificação

Para avaliar a influência da geração solar fotovoltaica como recurso energético distribuído na classificação energética da edificação, foi realizada uma análise detalhada do Centro Estadual de Educação Profissional Professor Francisco de Assis Pedrosa, conforme ilustrado na Figura 18.

Figura 18 - Vista do Centro Estadual de Educação Profissional Prof. Francisco de Assis Pedrosa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Esta análise teve como objetivo explorar a viabilidade da implementação da geração solar fotovoltaica e determinar a dimensão adequada desse sistema para aprimorar o desempenho energético da edificação, aproveitando o potencial solar da região. Após a realização da visita técnica foram elaborados dois cenários com a utilização do *software* PVSOL. Para estabelecer um ponto de partida na elaboração dos cenários futuros com classificações B e A, é necessário considerar o consumo anual da edificação na condição real de 1.129.928,32 kWh e os dados da Tabela 24. Para alcançar essas classificações, seria necessário reduzir o consumo em 8% para a classe B e em 17% para a classe A. Considerando também as condições de mercado e as características físicas da edificação para a disposição dos módulos fotovoltaicos, foram definidas duas configurações de cenários, descritas a seguir.

- Na Figura 19 mostra-se o cenário 1:
 - 160 módulos fotovoltaicos 550W (Modelo: LR5-72 HPH 550M, Fabricante: LONGI Solar);
 - 1 Inversor 60 kW (Modelo: SUN2000-60KTL-M0, Fabricante: Huawei Technologies);

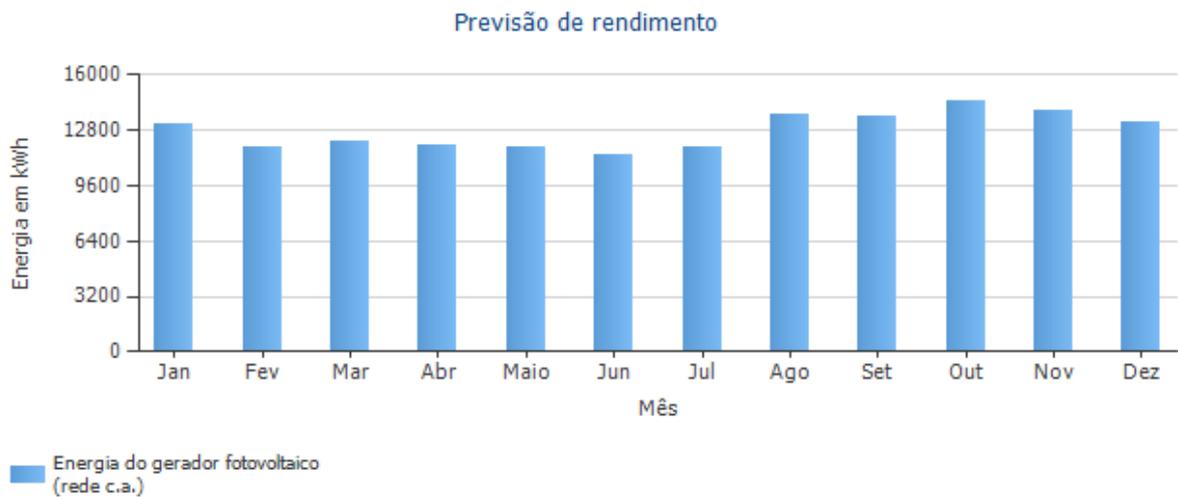
Figura 19 - Modelagem do projeto no *PVSOL* (Cenário 1).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para o Cenário 1, a estimativa de geração mensal está representada na Figura 20, totalizando uma geração anual de aproximadamente 152.806,40 kWh/ano. Ressalta-se que a vegetação presente no local é composta majoritariamente por plantas rasteiras, o que favorece a instalação do sistema fotovoltaico, reduzindo possíveis sombreamentos e contribuindo para o aproveitamento eficiente da radiação solar disponível na região.

Figura 20 - Energia gerada por mês, simulação no *PVSOL* (Cenário 1).



Fonte: Elabora pelo autor (2024).

As Tabelas 26 e 27 apresentam os resultados relativos ao Cenário 1. Com essa configuração, a classificação da edificação melhoraria de Classe C para Classe B, proporcionando maior eficiência e redução na emissão de CO₂ após a implementação do sistema.

Tabela 26 - Consumo em Energia Primária (Cenário 1).

Sistema	Condição de Referência (kWh/ano)	Condição Real (kWh/ano)	% de Redução	Classificação
Envoltória (carga térmica)	3.695.897,60	3.487.787,20	5,6%	C
Ar-Condicionado	1.140.709,14	990.848,64	13,1%	C
Iluminação	221.309,64	139.079,68	37,2%	B
Geração de Energia	0,00	-152.806,40	-	-
Classificação Geral da Edificação (com Geração)	1.362.018,78	977.121,92	28,3%	B
Classificação Geral da Edificação (sem Geração)	1.362.018,78	1.129.928,32	17,0%	C

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 27 - Emissão de CO₂ (Cenário 1).

Sistema	Condição de Referência (kgCO ₂ eq)	Condição Real (kgCO ₂ eq)	% de Redução
Envoltória	-	-	-
Ar-Condicionado	102.663,82	89.176,38	13,1%
Iluminação	19.917,87	12.517,17	37,2%
Geração de Energia	-	-115.063,22	-
Total (com geração)	122.581,69	-13.369,67	110,9%
Total (sem geração)	122.581,69	101.693,55	17,0%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

- Na Figura 21 mostra-se o cenário cenário 2:
 - 266 módulos fotovoltaicos 550W (Modelo: LR5-72 HPH 550M, Fabricante: LONGI Solar);
 - 1 Inversor 100 kW (Modelo: SUN2000-100KTL-M2, Fabricante: Huawei Technologies);

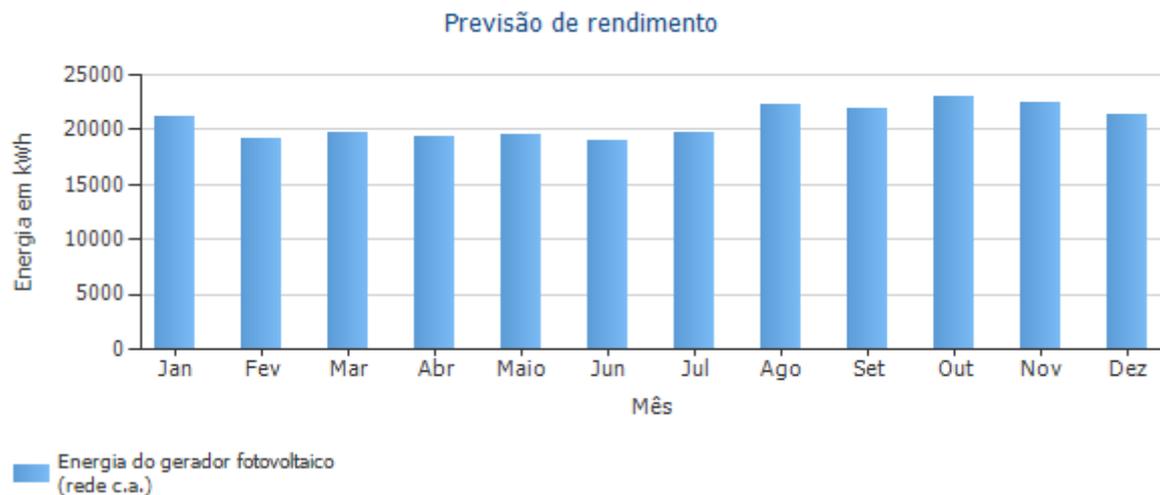
Figura 21 - Modelagem do projeto no PVSOL (Cenário 2).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para o Cenário 2, a estimativa de geração mensal está representada na Figura 22, totalizando uma geração anual de aproximadamente 258.353,60 kWh/ano. Com relação a vegetação, também será considerada a mesma informação do Cenário 1, assumindo que trata-se de vegetação rasteira que não causa sombreamento significativo sobre os módulos.

Figura 22 - Energia gerada por mês, simulação no PVSOL (Cenário 2).



Fonte: Gerado pelo PVSOL (2024).

As Tabelas 28 e 29 apresentam os resultados relativos ao Cenário 2. Com essa configuração, a classificação da edificação melhoraria de Classe C para Classe A, chegando a um percentual de redução de consumo de 36,0%, proporcionando assim uma maior eficiência e redução na emissão de CO₂ após a implementação do sistema.

Tabela 28 - Consumo em Energia Primária (Cenário 2).

Sistema	Condição de Referência (kWh/ano)	Condição Real (kWh/ano)	% de Redução	Classificação
Envoltória (carga térmica)	3.695.897,60	3.487.787,20	5,6%	C
Ar-Condicionado	1.140.709,14	990.848,64	13,1%	C
Iluminação	221.309,64	139.079,68	37,2%	B
Geração de Energia	0,00	-258.353,60	-	-
Classificação Geral da Edificação (com Geração)	1.362.018,78	871.574,72	36,0%	A
Classificação Geral da Edificação (sem Geração)	1.362.018,78	1.129.928,32	17,0%	C

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Tabela 29 - Emissão de CO₂ (Cenário 2)

Sistema	Condição de Referência (kgCO ₂ eq)	Condição Real (kgCO ₂ eq)	% de Redução
Envoltória	-	-	-
Ar-Condicionado	102.663,82	89.176,38	13,1%
Iluminação	19.917,87	12.517,17	37,2%
Geração de Energia	-	-194.540,26	-
Total (com geração)	122.581,69	-92.846,71	175,7%
Total (sem geração)	122.581,69	101.693,55	17,0%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

As melhorias nos índices de classificação energética proporcionadas nos cenários 1 e 2 estão associadas a um custo adicional para a implementação de projetos de geração distribuída fotovoltaica. Além disso, é fundamental considerar as limitações da capacidade da edificação em suportar a geração fotovoltaica.

De acordo com a Secretaria de Estado da Educação do RN (SEEC), no Rio Grande do Norte o programa Brasil Profissionalizado teve os 10 projetos de escolas técnicas padrão resultando em um custo médio unitário de R\$ 8,0 milhões por escola (SEEC, 2017). Considerando os equipamentos descritos nos cenários 1 e 2, bem como os valores de mercado para aquisição e instalação vigentes em julho de 2024, o custo associado à geração fotovoltaica foi estimado em R\$ 1,58 por kWh/ano. Dessa forma, é possível calcular a porcentagem do investimento em Geração Distribuída Fotovoltaica (% \$ GDFV) em relação ao custo total da edificação, sendo representada na Tabela 30.

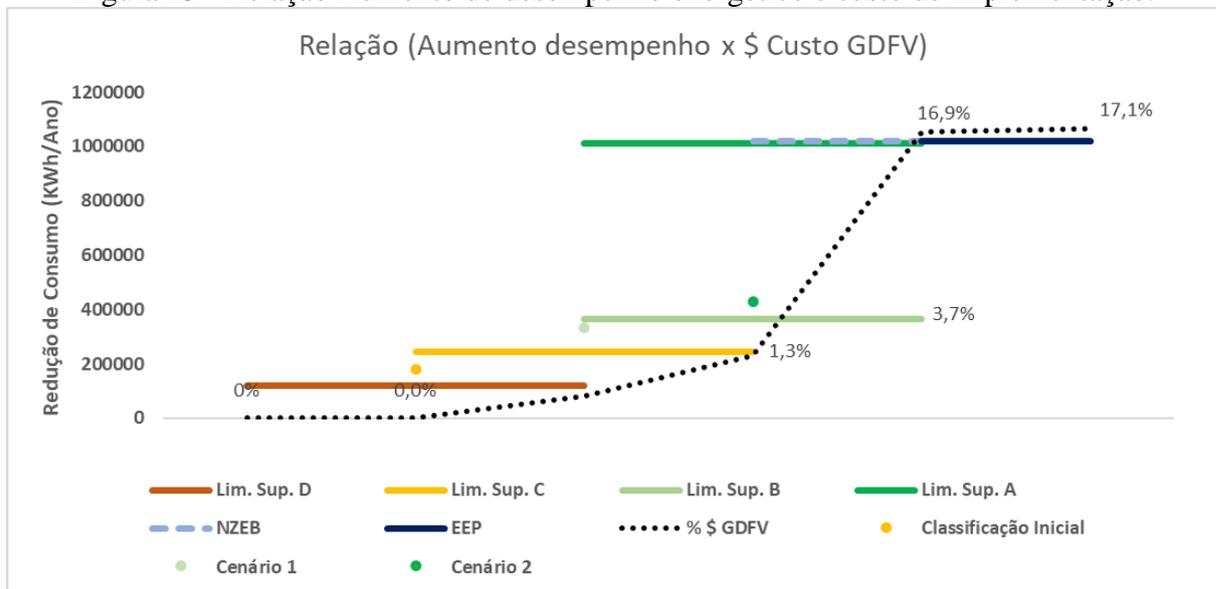
Tabela 30 - Geração anual e custo de implementação (Cenários 1 e 2).

Custo unitário da Edificação		R\$	8.000.000,00
	Geração Anual Projetada (KWh)	Custo Implementação	% \$ GDFV
Cenário 1	152.806,40	R\$ 241.130,9	3,01%
Cenário 2	258.353,60	R\$ 408.198,7	5,10%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Nesse contexto, é possível expandir essa relação incluindo mais duas possíveis classificações, considerando os limites inferiores para essas as classificações: NZEB (Edificação de Energia Quase Zero) e EEP (Edificação de Energia Positiva). Na Figura 23, pode-se observar a relação entre a curva de custo de implantação de projetos fotovoltaicos e o custo total da edificação. Conforme ilustrado no gráfico da Figura 23, para alcançar a classificação B, é necessário implementar um projeto fotovoltaico cujo custo represente 1,3% do valor total da edificação. Para obter a classificação A, esse percentual aumenta para 3,7%. Para atingir a classificação NZEB, o custo do projeto fotovoltaico precisa ser de 16,9% do valor total da edificação, enquanto para a classificação EEP, esse percentual sobe para 17,1%.

Figura 23 - Relação Aumento de desempenho energético e custo de implementação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4.6 Análise comparativa por região

Para realizar uma análise comparativa do desempenho energético desse tipo de edificação nas cinco regiões do Brasil, foi selecionado quatro outras localidades onde foram construídas escolas técnicas dentro do mesmo programa, o Brasil Profissionalizado, de acordo com a figuras 24, 25, 26, 27 e 28 totalizando cinco edificações.

Figura 24 - Localização de Escolas técnicas nas cinco regiões do Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 25 - Escola de Ensino Técnico do Estado do Pará Francisco Coimbra Lobato, Santarém - PA.



Fonte: Google Maps (2024).

Figura 27 - Escola Estadual Escritora Carolina Maria de Jesus, Sacramento - MG.



Fonte: Google Maps (2024).

Figura 26 - Centro de Educação Profissional de Santa Maria, Santa Maria, Brasília - DF.



Fonte: Google Maps (2024).

Figura 28 - Centro Estadual de Educação Profissional Ozório Gonçalves Nogueira, Bandeirantes - PR.



Fonte: Google Maps (2024).

Com base nos dados obtidos nas simulações realizadas no software PVSOL e utilizando a metodologia INI-C, foi possível conduzir uma análise comparativa do desempenho energético de edificações localizadas nas novas regiões abordadas no item 4.6 desta dissertação: Mossoró, Santarém, Bandeirantes, Sacramento e Brasília. Essas localidades foram selecionadas, uma vez que as edificações analisadas integram o programa Brasil Profissionalizado e compartilham o mesmo projeto padrão de escolas técnicas, permitindo uma análise padronizada e representativa.

As diferenças entre as edificações foram atribuídas exclusivamente às características específicas de cada localidade, incluindo dados relativos à localização geográfica, condições climáticas e envoltória. A Tabela 31 apresenta os limites de consumo estabelecidos para a classificação energética de cada edificação, considerando as particularidades regionais.

Tabela 31 – Classes e limites para classificação por localidade.

		A	B	C	D	E
1 - Mossoró - RN (Nordeste)	Limite Superior	-	36,0%	24,0%	12,0%	0,0%
	Limite Inferior	36,0%	24,0%	12,0%	0,0%	-
		A	B	C	D	E
2 - Santarém - PA (Norte)	Limite Superior	-	43,0%	28,7%	14,3%	0,0%
	Limite Inferior	43,0%	28,7%	14,3%	0,0%	-
		A	B	C	D	E
3 - Brasília - DF (Centro-Oeste)	Limite Superior	-	54,0%	36,0%	18,0%	0,0%
	Limite Inferior	54,0%	36,0%	18,0%	0,0%	-
		A	B	C	D	E
4 - Sacramento - MG (Sudeste)	Limite Superior	-	51,0%	34,0%	17,0%	0,0%
	Limite Inferior	51,0%	34,0%	17,0%	0,0%	-
		A	B	C	D	E
5 -Bandeirantes – PR (Sul)	Limite Superior	-	48,0%	32,0%	16,0%	0,0%
	Limite Inferior	48,0%	32,0%	16,0%	0,0%	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Já a Tabela 32 exibe a classificação energética alcançada por essas edificações, destacando o percentual de redução de consumo em relação aos limites definidos. Esses resultados reforçam a importância de adaptar soluções de eficiência energética às condições regionais para alcançar desempenhos mais sustentáveis.

Tabela 32 - Classificação energética das edificações por região.

Edificação	Sistema	Geração Anual (KWh)	Condição de Referência (kWh/ano)	Condição Real (kWh/ano)	% de Redução	Classificação Geral
1 - Mossoró - RN (Nordeste)	Real	-	1.362.018,8	1.129.928,3	17,0%	C
	Cenário 1	152.806,0	1.362.018,8	977.121,9	28,3%	B
	Cenário 2	258.354,0	1.362.018,8	871.574,7	36,0%	A
2 - Santarém - PA (Norte)	Real	-	1.472.639,0	1.216.501,5	17,4%	C
	Cenário 1	143.384,0	1.472.639,0	1.073.117,5	27,1%	C
	Cenário 2	234.172,0	1.472.639,0	982.329,5	33,3%	B
3 - Brasília - DF (Centro-Oeste)	Real	-	684.566,4	569.567,9	16,8%	D
	Cenário 1	144.312,0	684.566,4	425.255,9	37,9%	B
	Cenário 2	235.620,0	684.566,4	333.947,9	51,2%	B
4 - Sacramento - MG (Sudeste)	Real	-	810.131,9	644.152,9	20,5%	C
	Cenário 1	146.010,0	810.131,9	498.142,9	38,5%	B
	Cenário 2	239.020,0	810.131,9	405.132,9	50,0%	B
5 - Bandeirantes - PR (Sul)	Real	-	861.332,9	686.285,6	20,3%	C
	Cenário 1	143.234,0	861.332,9	543.051,6	37,0%	B
	Cenário 2	235.698,0	861.332,9	450.587,6	47,7%	B

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Ao aplicar a metodologia da INI-C, verifica-se que, inicialmente, as edificações possuem classificação energética de classe C, com exceção da edificação do Centro-Oeste, que se enquadra na classe D. Após a implementação da GDFV nos cenários 1 e 2, todas as edificações apresentaram uma melhoria considerável em seu desempenho energético; contudo, apenas a edificação do Nordeste alcançou a classificação A.

A edificação da região Nordeste (Mossoró-RN) alcançou a classificação A no cenário 2 devido a uma combinação de fatores que influenciaram positivamente o desempenho energético. Um dos principais fatores é o clima local, caracterizado por altos índices de insolação. Essa característica permitiu uma maximização da eficiência da geração de energia fotovoltaica, essencial para reduzir o consumo de energia e melhorar a classificação energética. Outro aspecto importante foi a adaptação do projeto padrão às condições regionais.

No Nordeste, o impacto das medidas de eficiência energética foi mais expressivo em termos de porcentagem de redução do consumo, contribuindo para alcançar a classificação A. Esses fatores, combinados, explicam por que a edificação de Mossoró se destacou em relação às demais regiões do Brasil no desempenho energético após a aplicação das metodologias e ajustes analisados.

5 CONCLUSÕES

A norma INI-C, utilizada para realizar a classificação energética das edificações, desempenha um papel fundamental ao fornecer uma base consistente para avaliar e melhorar o desempenho energético das construções. Esse instrumento foi essencial para o levantamento e a classificação da edificação em estudo, que considerou a envoltória da edificação, os sistemas de ar-condicionado e a iluminação, resultando em uma classificação inicial de Classe C. Com base nessa avaliação, foram desenvolvidos dois cenários de implementação de geração distribuída fotovoltaica (GDFV):

Cenário 1: Com um custo de implementação de R\$ 241.130,90 e uma geração anual projetada de 152.806 kWh, elevando a classificação da edificação para Classe B. Este cenário demonstra uma melhoria significativa na eficiência energética, com um percentual de investimento de 3,01% do custo total da edificação.

Cenário 2: Com um custo de implementação de R\$ 408.198,70 e uma geração anual projetada de 258.354 kWh, elevando a classificação para Classe A. Este cenário, apesar do custo mais alto, resulta em uma eficiência energética ainda maior e uma significativa redução nas emissões de CO₂, representando 5,10% do custo total da edificação.

E ainda a expansão dos cenários de GDFV para inclusão das classificações de Edificação de Energia Quase Zero (NZEB) e Edificação de Energia Positiva (EEP), os quais resultariam em um custo de implementação menor que 16,9% e 17,1% do custo da edificação, respectivamente para cada classificação.

A análise comparativa entre as edificações nas cinco distintas regiões brasileiras permite concluir que o Brasil possui grandes diferenças climáticas entre suas regiões geográficas que refletem diretamente no desempenho energético das edificações e a implementação de sistemas fotovoltaicos (GDFV) nas edificações avaliadas teve um impacto significativo na eficiência energética, resultando em melhorias consideráveis em suas classificações. Inicialmente, todas as edificações apresentavam classificações energéticas inferiores, variando entre C e D. Entretanto, após a adoção dos sistemas fotovoltaicos, houve uma melhoria substancial, especialmente no cenário 2, onde a edificação de Mossoró-RN alcançou a classificação A, e as demais edificações, em geral, atingiram a classificação B. Essa melhoria está diretamente ligada com a redução percentual do consumo energético, que variou entre 16,8% e 20,5% na condição real, sem GDFV, e aumentou consideravelmente após a implementação dos sistemas, chegando a uma redução de até 51,2% na edificação de Brasília-DF no cenário 2.

A aplicação da norma INI-C possibilita uma avaliação precisa do desempenho energético das edificações, facilitando a identificação de medidas de melhoria, como a

implementação de sistemas fotovoltaicos. Essa abordagem se mostra especialmente viável e benéfica na região do semiárido brasileiro, onde pode melhorar significativamente a eficiência energética das edificações públicas. A adoção de projetos padrão para prédios públicos desempenha um papel importante na promoção da eficiência, economia e uniformidade na construção dessas edificações em todo o país. Esses projetos oferecem diretrizes consistentes que facilitam a implementação de soluções técnicas comprovadas, garantindo que as construções atendam a padrões mínimos de qualidade e desempenho. Além disso, os projetos padrão possibilitam economias significativas de tempo e recursos, ao reduzir a necessidade de desenvolver novas soluções para cada construção individualmente. No entanto, é importante destacar a necessidade de atualização dos padrões de projeto para prédios públicos com aplicação em todo o país, como os da escola técnica padrão. Essa atualização deve incorporar a análise baseada na norma INI-C desde a concepção dos projetos, incentivando as esferas governamentais a optarem por composições construtivas que resultem em maior eficiência energética. Além disso, embora esses padrões sejam essenciais, é crucial considerar as variações climáticas de cada região do Brasil, pois elas têm um impacto significativo no desempenho energético das edificações. A transição para classificações energéticas mais elevadas, como B e A, por meio da GDFV, não só aprimora a sustentabilidade dessas construções, mas também contribui para a mitigação das mudanças climáticas e promove o uso responsável dos recursos naturais.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, podem ser sugeridas algumas melhorias para trabalhos futuros, incluindo:

- **Aplicação da Metodologia em outras Edificações:** Expandir o uso da metodologia para analisar diferentes tipos de edificações, permitindo verificar a aplicabilidade e a eficácia das soluções propostas em contextos variados.
- **Análise de Políticas Públicas e Desenvolvimento de Normativas:** Investigar a existência de políticas públicas relacionadas à eficiência energética e sugerir a criação de normativas que exijam que novos projetos de edificações públicas atinjam, no mínimo, a classificação energética EEP (Edificação de Energia Positiva). Isso pode promover uma maior adesão a práticas sustentáveis e garantir um padrão elevado de eficiência energética para edifícios públicos.

REFERÊNCIAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br>. Acesso em: 5 de mar. de 2023.

BRASIL. Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jan. 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 10 de mai. de 2023.

BRASIL. Instrução Normativa nº 02, de 04 de junho de 2014. Dispõe sobre critérios de eficiência energética para edificações públicas federais. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 11 Ago. 2023.

ANDRADE, H. Dissertação - Henrique Andrade - INI-C. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15717>. Acesso em: 03 de ago. de 2024.

PACHECO, T. P. A. Avaliação da eficiência energética de envoltória e classificação de acordo com o método simplificado da INI-C: Estudo de caso de uma EAS em Cacoal/RO, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br>. Acesso em: 20 de ago. de 2024.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – CB3E – UFSC. Manual de Aplicação da INI-C: Instrução Normativa do Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, 2022.

NYISO. Distributed Energy Resources Roadmap for New York's Wholesale Electricity Markets: A Report by the New York Independent System Operator. Janeiro, 2017.

DA SILVA, Pedro Carlos Gama *et al.* Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE), 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Recursos Energéticos Distribuídos (RED): Relatório Final. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/GT%20PNE%20-%20RED%20-%20Relat%C3%B3rio%20Final.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.

EPE. Relatório Final do Plano Nacional de Energia 2050, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: 20 de mar. de 2023.

FGV Energia. Distributed Energy Resources. Maio, 2016.

FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação). Ministério da Educação. Sistema de consultas à liberação de recursos dos programas do FNDE/RN, 2017. Disponível em: http://www.fnde.gov.br/pls/simad/internet_fnde.liberacoes_result_pc. Acesso em: 30 de Jul de 2023

GURLIT, *et al.* Hidrogênio verde: uma oportunidade de geração de riqueza com sustentabilidade, para o Brasil e o mundo. McKinsey & Company, 2021. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/br/our-insights/hidrogenio-verde-uma-oportunidade-de-geracao-de-riqueza-com-sustentabilidade-para-o-brasil-e-o-mundo>. Acesso em: 11 Jun. 2023.

INMETRO. Instrução Normativa para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br>. Acesso em: 11 Ago. 2023.

INSA (Instituto Nacional do Semiárido). O Semiárido Brasileiro, [s.d]. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiario-brasileiro>, 2023. Acesso em: 18 de mai. de 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Energy Efficiency 2020: The Covid-19 Impact. Paris: IEA, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>. Acesso em: 11 Jul. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Manual INI-C simplificado. Brasília, 2022. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/manuais/Manual-INI-C_Simplificado-AGO-23.pdf. Acesso em: 15 de set. de 2023.

IRENA. Elevando ambições climáticas por meio de renováveis, 2019. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2019/Jul/Pessoas-Planeta-Prosperidade>. Acesso em: 07 mai. 2023.

KAMIMURA, Artur; GNECCO, Veronica; FOSSATI, Michele; de VECCHI, Renata; LAMBERTS, Roberto. Da Eficiência Energética à NZEB: Avaliação de uma Edificação Educacional pelo Método Simplificado da INI-C, 2021. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4552/3471>. Acesso em: 02 ago. 2024.

MANUAL RAC. Catálogo de propriedades térmicas, 2022. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmninnkcbpajpcgclcfndmkaj/https://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual%20RAC_Cat%C3%A1logo%20de%20propriedades_DEZ-22.pdf. Acesso em: 15 de set. de 2023.

MARENGO, José A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas, v. 1, p. 385-422, 2011.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Instrução Normativa nº 2, de 04 de junho de 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/compras/pt-br/acao-a-informacao/legislacao/instrucoes-normativas/instrucao-normativa-no-2-de-04-de-junho-de-2014>. Acesso em: 10 de mar. de 2023.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). Brasil Profissionalizado. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/brasil-profissionalizado>, 2016. Acesso em: 25 de Ago. de 2023.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC). Brasil Profissionalizado. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/plano-de-desenvolvimento-da-educacao>, 2015. Acesso em: 13 de Jul. de 2023.

NAKABAYASHI, Renny. Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras. 2014 106p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

OLIVEIRA, D., & FREITAS, R. Eficiência energética segundo o RTQ-C e a INI-C: Estudo comparativo em edificação do Exército Brasileiro, 2022. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4568/3486>. Acesso em: 10 de ago. de 2024.

PAOLETTI, G.; PASCUAL PASCUAS, R.; PERNETTI, R.; LOLLINI, R. Nearly Zero Energy Buildings: An Overview of the Main Construction Features across Europe. *Buildings* 2017, 7, 43. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings7020043>. Acesso em: 03 de ago. de 2024.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.15.18.20/doc/thisInformationIt emHomePage.html>. Acesso em 15 de set de 2023.

SANTOS, R. E. R. *et al.* Análise do Desempenho Energético do Programa de Eficiência Energética (PEE) da Aneel. THE XI LATIN AMERICAN CONGRESS ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION – CLAGTEE, São José dos Campos/SP, 2015. Anais [...]. José dos Campos/SP, p. 1-8, 2015.

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO E CULTURA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE (SEEC), 2017. Disponível em: <http://www.educacao.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITTRG=145051&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=Materia>. Acesso em 20 de mar. de 2023.

SILVA, P. C. Energias renováveis no Brasil: avanços e desafios, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/kRtjCTkLDzHwmCNJWbwXmrd/>. Acesso em: 11 ago. 2023.

SOUZA, A. F.; SILVA, J. P. O impacto das condições climáticas no consumo de energia no semiárido brasileiro. São Paulo: Editora Ambiental, 2020.

SUDENE. Delimitação do semiárido, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>. Acesso em: 19 de mai. de 2023.

TCE. Relatório Especial n 5/2018. 2018. Disponível em: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/renewable-energy-5-2018/pt/>. Acesso em: 07 mai. de 2023.

TENI, M.; ČULO, K.; KRSTIĆ, H. Renovation of Public Buildings towards NZEB: A Case Study of a Nursing Home. *Buildings* 2019, 9, 153. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings9070153>. Acesso em 02 de ago. de 2024.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica / Mauricio Tiomno Tolmasquim (coord.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016.