



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS IV - POLO SOUSA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E AGRÁRIAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

LEONARDO ALVES DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES ENERGÉTICAS SUSTENTÁVEIS EM PRÉDIO
PÚBLICO DE SOUSA–PB: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA**

SOUSA/PB

2025

LEONARDO ALVES DE OLIVEIRA

**AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES ENERGÉTICAS SUSTENTÁVEIS EM PRÉDIO
PÚBLICO DE SOUSA–PB: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação de Tecnologia em Energias Renováveis da Universidade Estadual da Paraíba, para obtenção do título de graduação em Tecnologia de Energias Renováveis.

Área de concentração: Geração distribuída fotovoltaica e Eficiência Energética

Orientador: Prof. Esp. Anderson Alberto Pinto Tôres

SOUSA/PB

2025

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto em versão impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que, na reprodução, figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

- O48a Oliveira, Leonardo Alves de.
Avaliação de soluções energéticas sustentáveis em prédio público de Sousa-PB [manuscrito] : eficiência energética e geração distribuída fotovoltaica / Leonardo Alves de Oliveira. - 2025.
39 f. : il. color.
- Digitado.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Energias renováveis) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Humanas e Agrárias, 2025.
- "Orientação : Prof. Esp. Anderson Alberto Pinto Torres, Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Energias Renováveis - CCHA".
1. Prédios públicos. 2. Eficiência energética. 3. Geração distribuída fotovoltaica. 4. Armazenamento de energia. I. Título
21. ed. CDD 621.3

LEONARDO ALVES DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES ENERGÉTICAS SUSTENTÁVEIS EM PRÉDIO
PÚBLICO DE SOUSA-PB: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
de Energias Renováveis da
Universidade Estadual da Paraíba,
como requisito parcial à obtenção do
título de Tecnólogo em Sistemas de
Energias Renováveis

Aprovada em: 06/06/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado eletronicamente por:

- **João Paulo Dantas de Carvalho** (***.185.134-**), em **16/06/2025 20:17:07** com chave **05ced02a4b0811f0b3f42618257239a1**.
- **Thomas Tadeu de Oliveira Pereira** (***.001.714-**), em **16/06/2025 20:30:16** com chave **dbc7c4244b0911f095221a7cc27eb1f9**.
- **Anderson Alberto Pinto Torres** (***.547.004-**), em **16/06/2025 20:14:24** com chave **a470e30e4b0711f0966f06adb0a3afce**.

Documento emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.uepb.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Folha de Aprovação do Projeto Final

Data da Emissão: 17/06/2025

Código de Autenticação: 280a56



RESUMO

De acordo Empresa de Pesquisa Energética e o Ministério de Minas e Energia (2025) a geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 762,9 TWh em 2024, resultado 5,5% acima de 2023. As centrais elétricas de serviço público, participaram com 77,8% da geração total e as fontes renováveis representaram 88,2% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável. O Relatório de Indicadores do Atlas de Eficiência Energética do Brasil de 2024 estima que, no Brasil, o consumo médio anual por aparelho de ar condicionado tenha sido reduzido em média 17,9% entre 2005 e 2023 (-1,0% a.a.), em consequência das regulamentações de índices mínimos de eficiência energética implantada pelo governo brasileiro. (EPE, 2024). Este estudo de caso aborda a eficiência energética e a geração fotovoltaica distribuída, com e sem armazenamento, em um prédio público localizado no município de Sousa, sertão da Paraíba. Segundo dados do Censo 2022 do IBGE, o município possui uma população de 67.259 habitantes, com densidade demográfica de 92,33 hab/km² e área territorial de 728,492 km². Apresenta condições climáticas favoráveis à geração solar, com índice médio de irradiação solar de 5,8 kWh/m² por dia, temperaturas médias de 33,6°C e baixa umidade relativa do ar, o que contribui para a viabilidade do aproveitamento da energia solar. A metodologia utilizada envolve a coleta e análise de dados reais de consumo energético do edifício, além de simulação computacional no software RETscreen e no Reopt, realizando do desempenho da ações de eficiência energética e do sistema fotovoltaico proposto. Os resultados permitiram avaliar os ganhos energéticos, econômicos e a redução da emissão do GEE com a implementação das medidas sugeridas, evidenciando os benefícios da geração distribuída e da gestão eficiente da energia em edificações públicas.

Palavras chaves: Prédios Públicos; Eficiência Energética; Geração Distribuída Fotovoltaica; Armazenamento de Energia.

ABSTRACT

According to the Energy Research Company and the Ministry of Mines and Energy (2025), electricity generation in Brazil in public service plants and self-producers reached 762.9 TWh in 2024, a result 5.5% above 2023. Public service power plants accounted for 77.8% of total generation and renewable sources accounted for 88.2% of the domestic supply of electricity in Brazil, which is the result of the sum of the amounts referring to national production plus imports, which are essentially of renewable origin. The 2024 Brazil Energy Efficiency Atlas Indicators Report estimates that, in Brazil, the average annual consumption per air conditioning unit was reduced by an average of 17.9% between 2005 and 2023 (-1.0% per year), as a result of the regulations of minimum energy efficiency indexes implemented by the Brazilian government. (EPE, 2024). This case study addresses energy efficiency and distributed photovoltaic generation, with and without storage, in a public building located in the municipality of Sousa, in the hinterland of Paraíba. According to data from the 2022 IBGE Census, the municipality has a population of 67,259 inhabitants, with a population density of 92.33 inhab./km² and a territorial area of 728.492 km². It presents favorable climatic conditions for solar generation, with an average solar irradiation index of 5.8 kWh/m² per day, average temperatures of 33.6°C and low relative humidity, which contributes to the viability of harnessing solar energy. The methodology used involves the collection and analysis of real data on the building's energy consumption, in addition to computational simulation in the RETScreen and Reopt software, carrying out the performance of the energy efficiency actions and the proposed photovoltaic system. The results allowed us to evaluate the energy and economic gains and the reduction of GHG emissions with the implementation of the suggested measures, highlighting the benefits of distributed generation and efficient energy management in public buildings.

Keywords: Public Buildings; Energy Efficiency; Distributed Photovoltaic Generation; Energy Storage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Geração de eletricidade no Brasil por fonte	18
Figura 2 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil	19
Figura 3 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil	19
Figura 4 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil	20
Figura 5 – Consumo de energia ativa e demanda do prédio da saúde.....	23
Figura 6 – Sumário da redução de emissões dos GEE.....	27
Figura 7 – Payback das ações de eficiência energética.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Comparação do antes e depois da GD no Prédio.....	28
Tabela 2 – Comparação do antes e depois da GD+BESS no prédio.....	29
Tabela 3 – Tabela comparativa de Geração Distribuida sem e com armazenamento.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN – Balanço Energético Nacional

BESS - Battery Energy Storage System

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CDEAM - Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico

COP - Coeficiente de Desempenho

CO₂ – Dioxido de Carbono

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

GD – Geração Distribuida

GEE – Gases do efeito Estufa

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

KW - Quilowatt

KWh - Quilowatt-hora

KWp - Quilowatt-pico

MME -Ministério de Minas e Energia

Mt – Megatonelada

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PROCEL - Programa de Conservação de Energia Elétrica

RED – Recurso Energético Distribuido

SIN - Sistema Interligado Nacional

TWh - Terawatt-hora

UFAM - Universidade Federal do Amazonas

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivo específico.....	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Contextualização.....	14
3.2 Eficiência energética em prédio públicos.....	15
3.3 Geração distribuída fotovoltaica.....	17
3.4 Armazenamento de energia.....	21
4. METODOLOGIA	24
4.1 Coleta de dados e diagnóstico energético.....	24
4.2 Ferramentas de simulação.....	24
4.3 Definição dos cenários analisados.....	25
4.4 Etapas metodológicas.....	25
5. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	26
5.1 Diagnóstico energético in loco.....	26
5.2 Identificação de intervenções.....	26
5.3 Simulação com retscreen.....	26
5.3.1 Resultados da simulação.....	27
5.3.2 Análise econômica do investimento.....	27
5.4 Análise da geração distribuída (GD).....	28
5.4.1 GD sem armazenamento.....	28
5.4.2 GD+BESS.....	30
5.4.3 Análise comparativo dos cenários de Geração Distribuída.....	31
6. CONCLUSÃO.....	34
REFERENCIAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética e o Ministério de Minas e Energia (2025), a geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 762,9 TWh em 2024, resultado 5,5% superior ao de 2023. As centrais elétricas de serviço público participaram com 77,8% da geração total, e as fontes renováveis representaram 88,2% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a soma dos montantes referentes à produção nacional com as importações — estas, essencialmente de origem renovável (EPE; MME, 2024).

O Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro, publicado em fevereiro de 2025 e com dados referentes ao mês de janeiro do corrente ano, aponta que a capacidade instalada total de geração de energia elétrica no Brasil atingiu 247,5 GW, incluindo a micro e minigeração distribuída (MMGD), que alcançou 37,3 GW de potência instalada, representando 15% da matriz de capacidade instalada. Com isso, o crescimento da MMGD nos últimos 12 meses foi de 35% (MME, 2025).

O documento também revela que a energia elétrica gerada nas hidrelétricas correspondeu a 69,7% do total gerado no país, e que todas as fontes renováveis (hidráulica, eólica, solar, biomassa e micro e minigeração distribuída) geraram cerca de 92,3% da energia elétrica brasileira (MME, 2025).

Um levantamento comparativo do primeiro quadrimestre deste ano com o mesmo período do ano passado, realizado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, sobre o percentual de energia elétrica entregue ao Sistema Interligado Nacional – SIN, apontou que as usinas hidrelétricas tiveram um recuo na produção de 1,8% e as térmicas de 0,3%. Por outro lado, no mesmo período, a produção nas usinas eólicas e solares saltou 25,7% e 31,9%, respectivamente (CCEE, 2025).

A EPE (2025), através do Balanço Energético Nacional, que tem como ano-base 2024, apontou que o consumo final de eletricidade no país foi de 650,4 TWh, um crescimento de 5,5%.

Os dados do BEN (2025) mostram que a matriz elétrica brasileira, em 2023, precisou emitir 59,9 kg de CO₂ para produzir 1 MWh de energia elétrica. Isso representa apenas 23% do valor emitido pelos países europeus da OCDE, 17% dos americanos e 9% dos chineses para produzir a mesma quantidade de eletricidade. Em 2024, foram emitidas 38,9 milhões de toneladas (Mt) de CO₂ provenientes do setor de geração de energia elétrica brasileira,

representando uma queda de 6% na emissão de gases de efeito estufa em relação a 2022 (EPE, 2024).

Conforme Evangelista (2018), as despesas com consumo de energia elétrica nos prédios da administração pública federal ultrapassaram R\$ 700 milhões em 2018:

“Dados de (MPOG, 2018) do ano de 2018 mostram que os gastos com serviço de energia elétrica já ultrapassaram R\$ 700.000.000,00 (Figura 3). Falando mais especificamente dos setores que envolvem educação, incluindo as universidades e institutos federais, os gastos são superiores a R\$ 180.000.000,00.” (Evangelista, 2018)

Em 2023, a eletricidade representou 48% da energia consumida nas residências brasileiras. Nos edifícios comerciais e públicos (neste caso, no setor público, excluindo a iluminação pública e o saneamento), majoritariamente, a eletricidade foi a mais acionada, representando 73% de toda a energia consumida pelo setor (EPE, 2024). Naquele ano, as edificações contribuíram com 51,8% do consumo total de energia elétrica, sendo que, desse percentual, as edificações residenciais foram responsáveis por 27,5%, o setor comercial por 16,9% e as edificações públicas por 7,4% do total (EPE; MME, 2024).

Segundo o MME (2025), do total de energia elétrica produzida em janeiro de 2025, o setor industrial consumiu 26%, correspondendo a 15.985 GWh, seguido pela classe de consumo residencial (25%), perdas e diferenças (24%), comercial (14%), rural (7%) e demais classes (4%), que incluem o poder público, iluminação pública, serviço público e consumo próprio das distribuidoras .

Para a Agência Nacional de Energia Elétrica (2021), a implementação de ações voltadas para a eficiência energética em prédios públicos é uma estratégia necessária e essencial para a mitigação de desperdícios. Em Fernandes *et al.* (2022, p.1) “... A busca por eficiência energética e sustentabilidade nos prédios públicos tem, assim, um papel fundamental como política pública, tanto como efeito demonstrativo quanto como indutor do mercado...” Além disso, também contribui para o melhor desempenho dos equipamentos elétricos, com prolongamento da sua vida útil e incentiva a adoção de tecnologias mais sustentáveis.

Apesar dos desafios da produção e da necessidade de políticas públicas mais eficazes que incentivem o desenvolvimento e a expansão das fontes de energia renováveis (como solar, eólica e biomassa, por exemplo), também se faz necessária a discussão sobre o consumo de energia elétrica de forma ineficiente, e como isso tem aumentado o custo financeiro no setor público e contribuído para uma maior emissão de gases poluentes, capazes de agravar a crise

climática, por exemplo (Júnior; Nunes, 2018).

As instituições públicas são fundamentais para a implementação da política de transição energética, devendo atuar não só na definição de metas de emissões de gases, criação de regulamentações e promoção de grandes projetos, mas também nas práticas de eficiência energética que possam reduzir o consumo, conscientizar sobre a necessidade do uso de fontes sustentáveis de energia e mitigar o lançamento de poluentes na atmosfera.

O nosso estudo de caso sobre eficiência energética e geração fotovoltaica distribuída, com e sem armazenamento, foi realizado em um prédio público, na cidade de Sousa, no sertão paraibano. O município, segundo o IBGE, tem 67.259 habitantes, com uma densidade demográfica de 92,33 habitantes por quilômetro quadrado e área territorial de 728,492 km², de acordo com dados do Censo de 2022. O município também possui índices de irradiação solar médio de 5,8 kWh/m² por dia, temperaturas médias de 33,6 °C e baixa umidade relativa do ar.

Diante dessas condições climáticas adversas, o município se torna um desafio significativo para a garantia de suprimento energético confiável e acessível, e propício para o estudo e aplicação de recursos energéticos distribuídos, principalmente a geração distribuída fotovoltaica com e sem armazenamento, além de ações de eficiência energética.

O presente trabalho está dividido da seguinte forma: introdução, na seção I; objetivos, seção II; referencial teórico na seção III, embasando a pesquisa; metodologia na seção IV; análise de resultados na seção V; e conclusões na seção VI.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Analisar a viabilidade técnica e econômica de ações de eficiência energética e geração distribuída fotovoltaica em prédio público municipal.

2.2 Objetivos Específicos

- Analisar fatura de energia do prédio público do Grupo B;
- Realizar ação de eficiência energética na climatização do prédio através do RETscreen;
- Realizar simulação de geração distribuída fotovoltaica em prédio através do REopt.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Contextualização

Os Recursos Energéticos Distribuídos (RED) compreendem tecnologias como a geração distribuída, o armazenamento de energia elétrica e as práticas de eficiência energética, atuando tanto no lado da oferta quanto no da demanda. Os RED oferecem aos consumidores a oportunidade de gerar sua própria energia elétrica, por meio de painéis fotovoltaicos, de armazenar a energia gerada com bancos de baterias, e de aplicar medidas de eficiência energética que reduzem o consumo de eletricidade (MME; EPE, 2021).

Segundo Torres *et al.* (2024), os RED representam uma mudança de paradigma no setor elétrico, com o potencial de democratizar a geração e a distribuição de energia, aumentar a eficiência do sistema e reduzir os custos para os consumidores. Com essas tecnologias, os usuários passam a ter maior protagonismo na geração e na gestão do consumo de sua própria energia, impactando diretamente a estrutura econômica dos operadores do sistema.

A eficiência energética é essencial para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e para a mitigação das mudanças climáticas. No setor público, torna-se fundamental a adoção de políticas sustentáveis de gestão energética que promovam o uso consciente da eletricidade, sem comprometer a qualidade dos serviços prestados. A legislação brasileira e as normas técnicas orientam a implementação de práticas que assegurem o conforto térmico e a eficiência energética. Ferramentas como o software RETScreen permitem planejar intervenções eficazes voltadas à redução de custos e à implementação de ações de sustentabilidade (Tôrres *et al.*, 2024).

A energia solar fotovoltaica, baseada na conversão da radiação solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico, tem se consolidado como uma das fontes renováveis que mais crescem no Brasil, impulsionada pelos avanços tecnológicos e pela busca por alternativas mais sustentáveis à geração centralizada tradicional (Santos, 2019).

No modelo de geração distribuída — que permite a produção de energia próxima ao local de consumo — ganha destaque, especialmente com o crescimento expressivo da energia solar desde 2012. Apesar dos avanços, a adesão do setor público ainda é incipiente, com participação inferior a 1,2% da potência instalada, o que evidencia um enorme potencial ainda inexplorado. Com a infraestrutura disponível em prédios públicos, escolas e hospitais, a adoção de políticas de incentivo e parcerias estratégicas pode transformar o setor público em protagonista da transição energética sustentável no país (ABSOLAR, 2025).

Integrados à geração distribuída, especialmente por sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, os sistemas de armazenamento com baterias contribuem para a descarbonização do setor, aumentam a segurança energética, reduzem perdas na compensação de créditos e facilitam a conexão com as distribuidoras (Tôres *et al.*, 2024).

Durante evento da Associação Nordeste Forte, realizado em Campina Grande (PB), o presidente da República em exercício, Geraldo Alckmin, afirmou que o governo brasileiro acredita que o leilão de baterias de armazenamento de energia elétrica proveniente de fontes renováveis, como solar e eólica — previsto para ocorrer em outubro do corrente ano — será fundamental para garantir uma energia mais barata e sustentável (Metrópolis, 2025).

No estudo de Torres *et al.* (2024), um exemplo prático demonstra que a implantação de um sistema fotovoltaico com banco de baterias em um prédio público de saúde na cidade de Cajazeiras-PB reduziu significativamente os custos com energia elétrica, evitou emissões de CO₂ e apresentou retorno econômico relevante ao longo de 25 anos, evidenciando a viabilidade técnica e financeira da tecnologia.

3.2. Eficiência Energética em Prédios Públicos

A eficiência energética é um dos pilares fundamentais da transição energética justa, essencial para cumprir a missão global de reduzir ao máximo as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e mitigar os impactos das mudanças climáticas no planeta (PETROBRAS, 2025). Por se tratar de uma questão ambiental, essa discussão exige, sobretudo, uma abordagem sustentável no que diz respeito à produção, uso e consumo de energia, em todas as esferas de governo — especialmente na gestão energética de prédios públicos (MME, 2015).

Atualmente, exige-se das instituições públicas a implementação de sistemas de gestão e eficiência energética em suas atividades, assegurando o uso adequado dos recursos públicos sem comprometer a qualidade dos serviços prestados. Essa preocupação abrange diversas áreas da gestão pública, inclusive a gestão energética nas escolas (Lima, 2018).

Para Trindade (2023), a gestão energética municipal consiste em um conjunto de ações coordenadas e articuladas que visam à redução dos custos com energia elétrica nas unidades consumidoras vinculadas ao poder público. Além de colaborar com a eficiência dos gastos municipais, essas ações contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Segundo Souza e Sardanha (2009), a implantação de uma política energética sustentável requer o estabelecimento de metas que incluam o uso de fontes renováveis, a conservação de

energia e o engajamento da sociedade na elaboração, implantação e monitoramento dessa política pública.

O Ministério de Minas e Energia, por meio da Instrução Normativa NBR 05/2013, orienta que instituições públicas promovam práticas de gestão eficiente de energia em edifícios públicos. Isso implica o uso responsável da eletricidade, com foco em eficiência e sustentabilidade. A normativa também destaca que a adoção de medidas de eficiência energética pode ser exigida por regulamentos governamentais (MME, 2013).

A Norma Brasileira NBR 15575 estabelece critérios para garantir o conforto térmico e a eficiência energética nas edificações habitacionais, definindo requisitos de consumo energético para sistemas de climatização, iluminação e ventilação. Embora voltada para o setor habitacional, a norma pode ser adaptada para edificações públicas, contribuindo significativamente para a redução de custos com eletricidade (CAU/BR, 2015).

Para a implementação eficaz de políticas de eficiência energética em prédios públicos, é necessário realizar o levantamento de indicadores energéticos, que auxiliem na tomada de decisões e no planejamento do uso racional de energia elétrica. Essa etapa envolve a coleta de dados sobre o monitoramento das cargas, a avaliação das instalações elétricas e o nível de eficiência dos sistemas de iluminação e climatização (Souza; Sardanha, 2009).

Segundo Bahis (2022), o retrofit é uma estratégia voltada à modernização de equipamentos e instalações existentes, com foco na melhoria da eficiência, na ampliação da vida útil dos sistemas e na adequação às exigências ambientais atuais. No caso específico dos sistemas de ar-condicionado em prédios públicos, a autora destaca que o processo envolve, principalmente, a substituição de fluidos refrigerantes nocivos por alternativas ambientalmente mais seguras, o que contribui para a redução do impacto ambiental e para uma economia significativa do consumo de energia elétrica. Ela também ressalta que, além de promover conforto térmico e sustentabilidade, o retrofit oferece um excelente custo-benefício, desde que seja orientado por profissionais capacitados, que considerem as particularidades de cada ambiente.

Além da aplicação dessa e outras técnicas é fundamental fomentar a cultura do uso eficiente de energia entre os servidores e usuários das edificações públicas. O governo brasileiro criou, em 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que passou a contar, após a crise energética de 2021, com diversas legislações, decretos e iniciativas voltadas à eficiência energética em edifícios públicos (MME, 2015).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2015), a promoção da eficiência

energética nas construções públicas exerce um papel essencial como instrumento de política pública, tanto pelo seu caráter exemplificador quanto por sua capacidade de influenciar o mercado e estimular práticas sustentáveis.

Um exemplo relevante é o conjunto de ações do Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico (CDEAM), da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), que desenvolveu projetos educacionais voltados à eficiência energética, diagnósticos energéticos em prédios públicos e indústrias, além da formação de recursos humanos qualificados na área (Sardinha *et al.*, 2009).

A coleta de indicadores energéticos, aliada ao uso de tecnologias como o software canadense RETScreen — que permite identificar, avaliar e otimizar a viabilidade técnica e financeira de projetos de energia renovável e eficiência energética — pode apontar as soluções mais eficazes para melhorar o desempenho energético em escolas públicas. Entre essas soluções destacam-se o uso de iluminação LED, sensores de presença, sistemas de climatização eficientes e a integração de fontes renováveis de energia (Tôrres *et al.*, 2024).

3.3. Geração Distribuída Fotovoltaica

O conceito de geração distribuída contrapõe-se ao modelo tradicional de geração centralizada. Na geração distribuída, a produção de energia ocorre próxima ao local de consumo, reduzindo perdas com transmissão e aumentando a eficiência do sistema. Esse modelo foi predominante até meados do século XX, sendo amplamente utilizado desde o início da industrialização (Santos, 2019).

Durante a década de 1940, no entanto, a geração centralizada, baseada em grandes usinas, mostrou-se mais econômica, o que levou à sua adoção em escala global. Como consequência, a geração distribuída perdeu espaço, e os investimentos em pesquisa e desenvolvimento nessa área foram interrompidos. Contudo, a necessidade de construir longas e complexas redes de transmissão para atender aos centros consumidores, somada aos custos elevados dos combustíveis fósseis, às restrições ambientais, à escassez de locais para novas usinas e aos longos prazos de construção, levou o setor elétrico a buscar alternativas mais sustentáveis e descentralizadas. Nesse contexto, a geração distribuída — especialmente a solar fotovoltaica — volta a ganhar destaque (Santos, 2019).

A energia solar fotovoltaica é gerada por meio da conversão direta da radiação solar em eletricidade, um processo físico-químico denominado efeito fotovoltaico, que ocorre nas

células presentes nos módulos fotovoltaicos. Essas células são dispositivos fabricados com materiais semicondutores, organizadas em arranjos, e têm como objetivo gerar tensões e correntes elétricas suficientes para aplicações práticas (Viana; Neto; Florian, 2022).

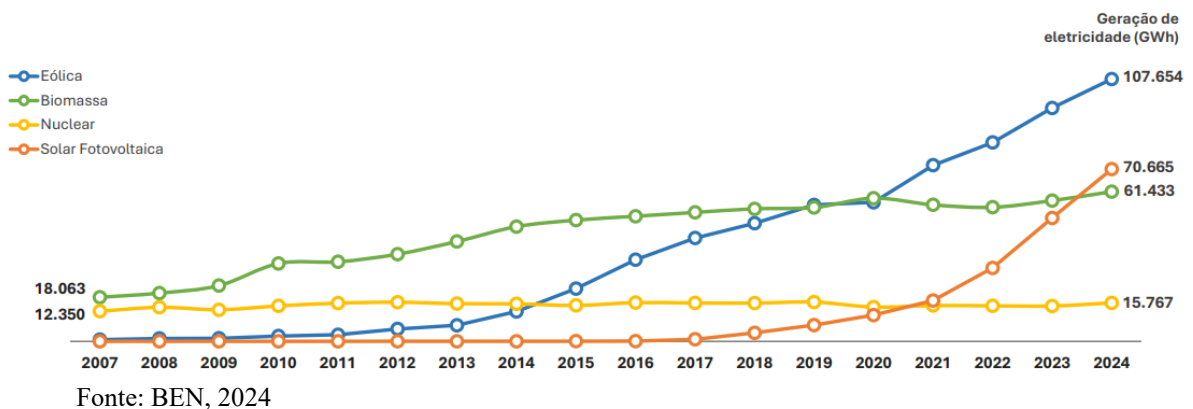
De acordo com Pereira e De Oliveira (2015), um sistema fotovoltaico é composto por três blocos principais:

- Bloco gerador: composto pelos módulos fotovoltaicos, cabeamento e estrutura de suporte;
- Bloco de condicionamento de potência: geralmente composto por inversores que adaptam a eletricidade gerada para uso na rede elétrica;
- Bloco de armazenamento: quando presente, utiliza baterias para armazenar o excedente de energia.

Em 2024, a geração de energia solar fotovoltaica no Brasil atingiu um marco histórico: foram gerados 70.665 GWh, um crescimento de 39,6% em relação ao ano anterior, com um aumento de mais de 20 TWh na produção. Pela primeira vez, essa fonte superou a biomassa na matriz elétrica brasileira. Paralelamente, a capacidade instalada da energia solar fotovoltaica cresceu 28,1% em comparação com 2023, consolidando-se como uma das fontes renováveis de maior expansão no país (BEN, 2025).

A Figura 1 ilustra que, desde 2019, a fonte solar fotovoltaica mantém-se como uma das fontes de energia renovável que mais cresce no Brasil, refletindo o impacto positivo da combinação entre avanços tecnológicos, políticas de incentivo e conscientização ambiental (BEN, 2025).

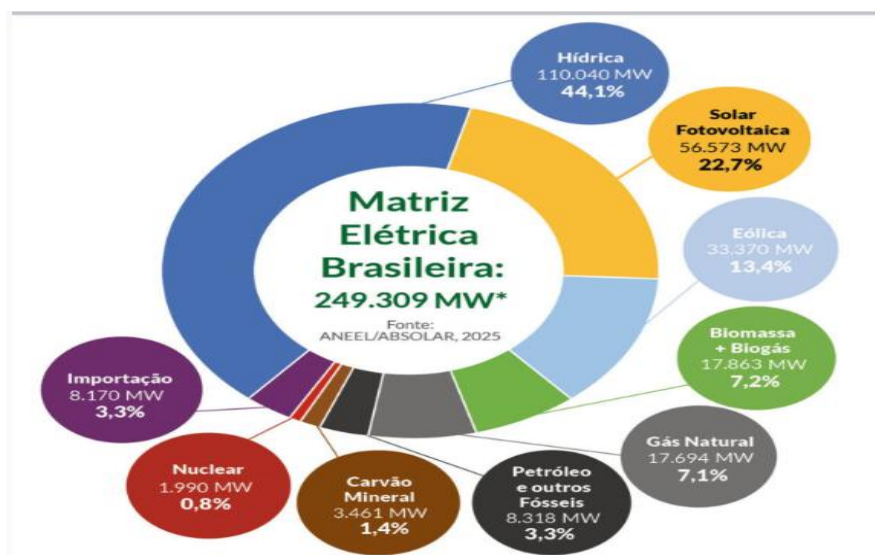
Figura 1 – Geração de eletricidade no Brasil por fonte



Dados atualizados do Infográfico da Associação Brasileira de Energia Fotovoltaica (ABSOLAR), divulgados em 12 de maio de 2025, revelam que a energia solar fotovoltaica já

representa 56.576 MW da capacidade da matriz elétrica nacional. Isso equivale a aproximadamente 22% dos 249.309 MW de potência instalada no país, conforme apresentado na Figura 2 (ABSOLAR, 2025).

Figura 2 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil

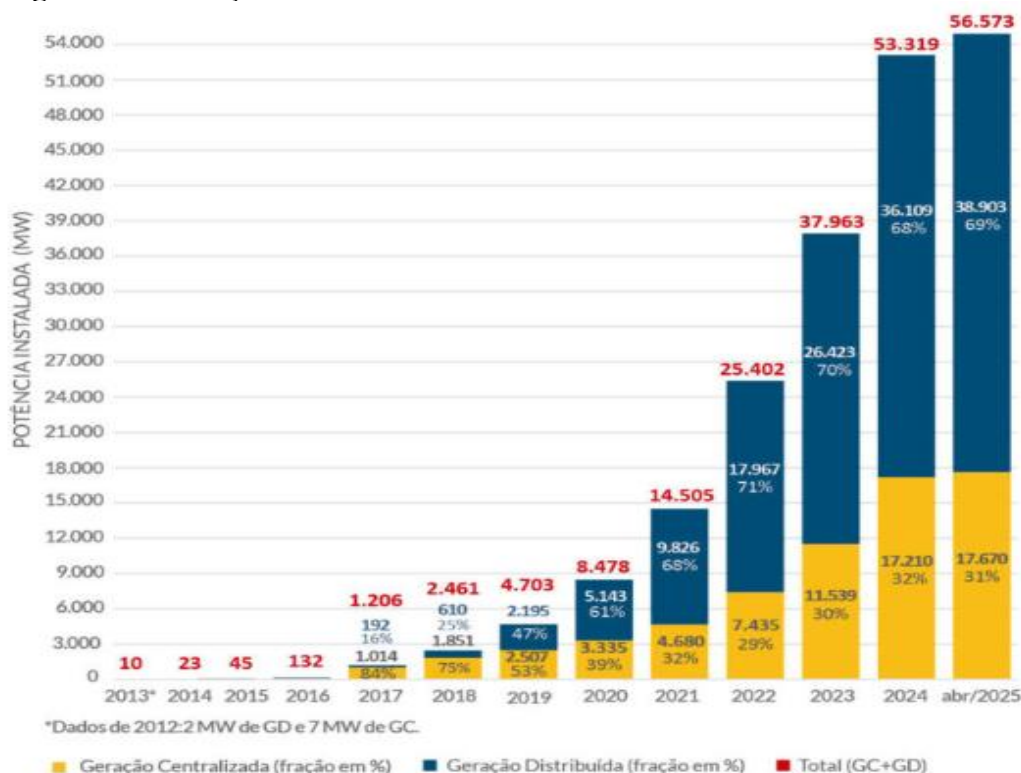


Fonte: ANEEL: ABSOLAR, 2025.

Nesse cenário de crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil, observa-se uma divisão significativa entre os modelos de geração. As usinas de geração centralizada foram responsáveis por 17.670 MW de capacidade operacional, o que corresponde a 31% da energia elétrica gerada pelo setor. Por outro lado, os pequenos e discretos sistemas de geração distribuída alcançaram a marca de 38.903 MW, representando 69% da produção nacional de energia solar fotovoltaica. (ABSOLAR, 2025).

Desde 2012, essa expansão acelerada da fonte solar já contribuiu para evitar a emissão de aproximadamente 81,4 milhões de toneladas de CO₂ na geração de eletricidade, reforçando o papel estratégico da energia limpa na mitigação das mudanças climáticas (ABSOLAR, 2025).

Na Figura 3, apresenta-se a comparação entre os dois modelos de geração (centralizada e distribuída), destacando sua participação relativa na capacidade instalada e os benefícios ambientais acumulados desde 2012.

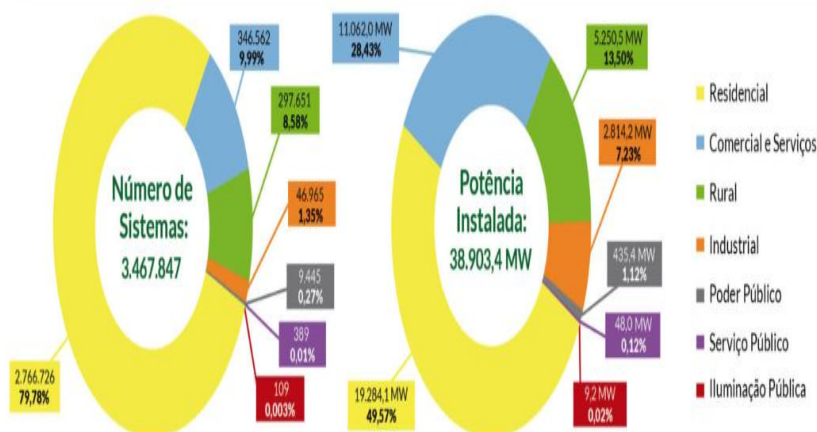
Figura 3 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil

Fonte: ANNEL/ABSOLAR, 2025

Na Figura 4, tem-se a representação gráfica da distribuição da geração distribuída de energia solar fotovoltaica no Brasil por classe de consumo, com base nos dados mais recentes da ANEEL e ABSOLAR (2025).

Ao se realizar uma análise específica dos segmentos ligados ao setor público — compreendendo Poder Público, Serviço Público e Iluminação Pública — constata-se uma participação ainda bastante modesta tanto em termos de número de sistemas instalados quanto de potência efetivamente conectada à rede.

Esse dado evidencia um potencial subaproveitado por parte da administração pública, que, apesar de dispor de ampla infraestrutura predial, ainda não tem explorado de forma estratégica os benefícios da geração distribuída fotovoltaica. Sendo assim, esse cenário sugere a necessidade de políticas públicas mais incisivas, parcerias estratégicas e financiamento adequado que viabilizem a adoção em larga escala da energia solar em prédios e equipamentos públicos.

Figura 4 – Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil

Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2025

Apesar do papel estratégico que o setor público pode exercer na liderança de transições energéticas sustentáveis, os dados evidenciam uma baixa adesão à geração distribuída solar fotovoltaica. Considerando as três categorias analisadas — Poder Público, Serviço Público e Iluminação Pública —, o setor representa menos de 0,4% do total de sistemas fotovoltaicos instalados e apenas cerca de 1,2% da potência instalada no país (ANEEL/ABSOLAR, 2025).

A Figura 4 evidencia que, embora a energia solar esteja em franca expansão no Brasil, a contribuição do setor público permanece tímida. Essa realidade indica a urgência de incentivos fiscais, parcerias público-privadas e programas de modernização energética que possam impulsionar o uso dessa fonte renovável nas esferas públicas.

Levando-se em consideração a vasta infraestrutura disponível — como prédios administrativos, escolas, hospitais e sistemas de iluminação pública —, o potencial ainda inexplorado é significativo. O aproveitamento adequado da energia solar fotovoltaica nesse segmento pode representar importante economia de recursos públicos, além de um exemplo de sustentabilidade e compromisso ambiental para toda a sociedade.

3.4 Armazenamento de Energia

Para o Instituto Acende Brasil (2024), o armazenamento de energia elétrica consiste na capacidade de reter energia em diferentes formas para utilizá-la posteriormente, funcionando como um “reservatório” que acumula energia nos períodos de excedente e a disponibiliza nos momentos de maior demanda. Com o avanço das fontes renováveis intermitentes — como solar, eólica e biomassa —, esse tipo de sistema tornou-se essencial para garantir a flexibilidade e a

estabilidade da matriz elétrica, uma vez que essas fontes não produzem energia de maneira constante como as termelétricas ou hidrelétricas.

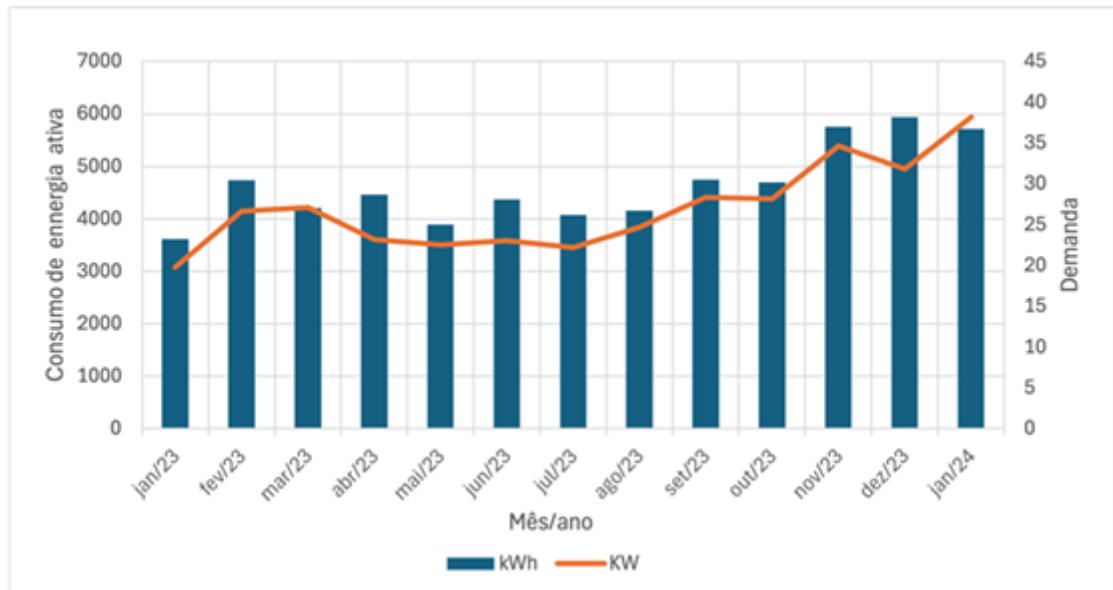
Segundo a Greener (2021), os sistemas de armazenamento de grande porte desempenham papel estratégico na modernização do setor elétrico, ao armazenar excedentes de geração renovável e liberá-los conforme a demanda. Além disso, aumentam a eficiência das redes de transmissão e distribuição, minimizando a necessidade de expansão da infraestrutura elétrica, enquanto garantem maior qualidade e segurança no fornecimento. Para o consumidor final, esses sistemas viabilizam o gerenciamento do consumo, funcionam como backup energético, maximizam os benefícios da geração distribuída e permitem a prestação de serviços auxiliares à rede elétrica, transformando o consumidor em um verdadeiro “prossumidor” (produtor + consumidor).

A ABSOLAR (2023) destaca que, quando associados à geração distribuída fotovoltaica e conectados à rede elétrica, os bancos de baterias proporcionam benefícios significativos. Além de contribuir para a descarbonização do setor elétrico, geram vantagens econômicas mesmo no atual modelo de compensação, permitindo o uso posterior do excedente gerado, sem depender unicamente da injeção imediata na rede.

Ainda segundo a Greener (2021), essa tecnologia oferece maior confiabilidade e disponibilidade ao sistema. Mesmo em momentos de indisponibilidade da rede ou do sistema fotovoltaico, as baterias garantem fornecimento contínuo, o que aumenta a segurança energética e a resiliência das edificações públicas e privadas. O armazenamento também minimiza as perdas na compensação de créditos e facilita o cumprimento das exigências técnicas das distribuidoras, sobretudo em áreas com restrições à injeção de energia na rede.

Um estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental, realizado por Tórres *et al.* (2024), ilustra bem o potencial dessa solução. Utilizando o software Reopt, desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis (NREL), foi analisada a implementação de sistemas GD + BESS (Battery Energy Storage System) em dois prédios públicos — um da área da saúde e outro da educação — classificados como unidades consumidoras do grupo A. No prédio da saúde, com consumo anual de 54.809 kWh da rede, foi proposto um sistema com 36 kWp de potência fotovoltaica e banco de baterias com 30 kWh de capacidade de energia e 5 kW de potência de descarga. Com essa configuração, obteve-se uma produção anual de 60.186 kWh, reduzindo o fornecimento da rede em 39.919 kWh. Os resultados demonstraram economia financeira significativa, redução de emissões de CO₂ e forte retorno sobre o investimento em um horizonte de 25 anos.

Figura 5 – Consumo de energia ativa e demanda do prédio da saúde



Fonte: Torres *et al.* (2024)

O sistema proposto evitou a emissão de 47 toneladas CO₂. O custo total com a fatura de energia para concessionária foi de R\$32.485,00 e com o caso proposto, o valor pago a concessionária seria R\$9.484,00, ocorrendo uma redução de R\$23.001,00. O valor total do custo do projeto GD + BESS foi de R\$181.654,00. A redução do custo com energia da concessionária foi de R\$142.199,00, considerando o período de 25 anos. (Tôrres *et al.* 2024).

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada nesta pesquisa caracteriza-se por uma abordagem comparativa e aplicada, voltada à avaliação energética de um prédio público da Prefeitura Municipal de Sousa (PB). O estudo envolve a análise de um cenário de referência (situação atual) e de cenários propostos, com a implementação de ações de eficiência energética e de geração distribuída fotovoltaica (com e sem armazenamento em baterias). O objetivo é verificar a viabilidade técnica, econômica e ambiental dessas soluções.

4.1 Coleta de Dados e Diagnóstico Energético

Foram realizadas visitas técnicas in loco para levantamento de dados da unidade consumidora, com ênfase nas informações das faturas de energia elétrica fornecidas pela concessionária local e no mapeamento das cargas elétricas do sistema de climatização do prédio. Com base nesses dados, foi desenvolvido um diagnóstico energético, em conformidade com os critérios estabelecidos pelas normas ABNT NBR ISO 50001 (Sistema de Gestão de Energia) e ABNT NBR ISO 50006 (Indicadores de Desempenho Energético).

4.2 Ferramentas de Simulação

Para avaliação das soluções propostas, foram utilizados dois softwares de modelagem energética:

- **RETScreen International:** Plataforma gratuita desenvolvida pelo Governo do Canadá, utilizada para análise de projetos de eficiência energética e energias renováveis. Permite simular cenários com e sem intervenção, estimar o desempenho energético e calcular indicadores financeiros como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e tempo de retorno do investimento (payback). Também permite estimar emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).
- **REopt:** Ferramenta desenvolvida pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL) dos EUA, voltada à otimização de sistemas de energia distribuída. Permite simular cenários com geração fotovoltaica e Battery Energy Storage System (BESS), identificar o dimensionamento ótimo do sistema, quantificar energia armazenada, estimar emissões evitadas e avaliar a viabilidade econômica das configurações propostas.

4.3 Definição dos Cenários Analisados

Com base nos dados coletados e nos diagnósticos realizados, foram definidos os seguintes três cenários de estudo:

- Caso 1 – Eficiência Energética: Substituição de aparelhos de ar-condicionado por modelos mais eficientes.
- Caso 2 – Geração Distribuída Fotovoltaica sem Armazenamento: Instalação de sistema fotovoltaico conectado à rede, sem uso de baterias.
- Caso 3 – Geração Distribuída Fotovoltaica com Armazenamento (BESS): Implementação de sistema fotovoltaico com banco de baterias integrado.

4.4 Etapas Metodológicas

As etapas metodológicas do estudo consistem em:

- Coleta de dados técnicos e históricos de consumo para formação da linha de base energética;
- Identificação dos usos significativos de energia na edificação;
- Simulação e análise de eficiência energética com o software RETScreen;
- Simulação e análise do sistema fotovoltaico sem armazenamento (Caso 2);
- Simulação e análise do sistema fotovoltaico com armazenamento (BESS) utilizando o software REopt (Caso 3);
- Análise comparativa entre os casos 2 e 3.

5. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 Diagnóstico Energético In Loco

Foi realizada uma vistoria técnica presencial na edificação administrativa pertencente à Prefeitura Municipal de Sousa (PB), com o objetivo de avaliar o desempenho energético do prédio. A inspeção concentrou-se nas cargas elétricas associadas ao sistema de climatização, além da análise das faturas de energia elétrica fornecidas pela concessionária Energisa Paraíba.

5.2 Identificação de Intervenções

A partir da coleta de dados e da observação das condições operacionais, foi possível identificar ações prioritárias de racionalização do uso de energia. A medida considerada mais significativa do ponto de vista da eficiência energética foi a substituição dos aparelhos de ar-condicionado split convencional por modelos com tecnologia inverter — mais eficientes e econômicos. O levantamento indicou a seguinte distribuição de equipamentos no prédio:

- 04 unidades de 12.000 BTUs;
- 02 unidades de 22.000 BTUs;
- 04 unidades de 36.000 BTUs.

5.3 Simulação com RETScreen

As ações de eficiência energética foram modeladas no software RETScreen International, com os seguintes parâmetros de entrada:

- Ar-condicionado split convencional: COP: 3,06 e Fator de utilização: 100%.
- Ar-condicionado split inverter: COP: 3,24 e Fator de utilização: 80%
- Temperatura de refrigeração: 22 °C
- Tarifa de energia elétrica: R\$ 0,782930/kWh (Energisa Paraíba)
- Fator de emissão de GEE: 0,078 tCO₂/MWh
- Perdas na transmissão e distribuição: 6%
- Parâmetros financeiros utilizados na análise:
 - ✓ Reajuste do custo da energia: 5% ao ano
 - ✓ Inflação: 2,5% ao ano

- ✓ Taxa de desconto: 9%
- ✓ Vida útil do projeto: 10 anos

5.3.1 Resultados da Simulação

Com base na simulação realizada no RETScreen, observou-se o seguinte:

- Emissões no cenário de referência (sem intervenção): 5,4 toneladas de CO₂/ano;
- Emissões no cenário com eficiência energética (intervenção aplicada): 4,1 toneladas de CO₂/ano;
- Mitigação anual estimada: 1,3 tonelada de CO₂/ano;
- Mitigação total ao longo da vida útil do projeto (10 anos): 13 toneladas de CO₂ evitadas.

Esses resultados demonstram o impacto ambiental positivo da substituição dos equipamentos de climatização, refletindo não apenas em economia de energia, mas também em redução significativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Figura 6 - Sumário da redução de emissões dos GEE

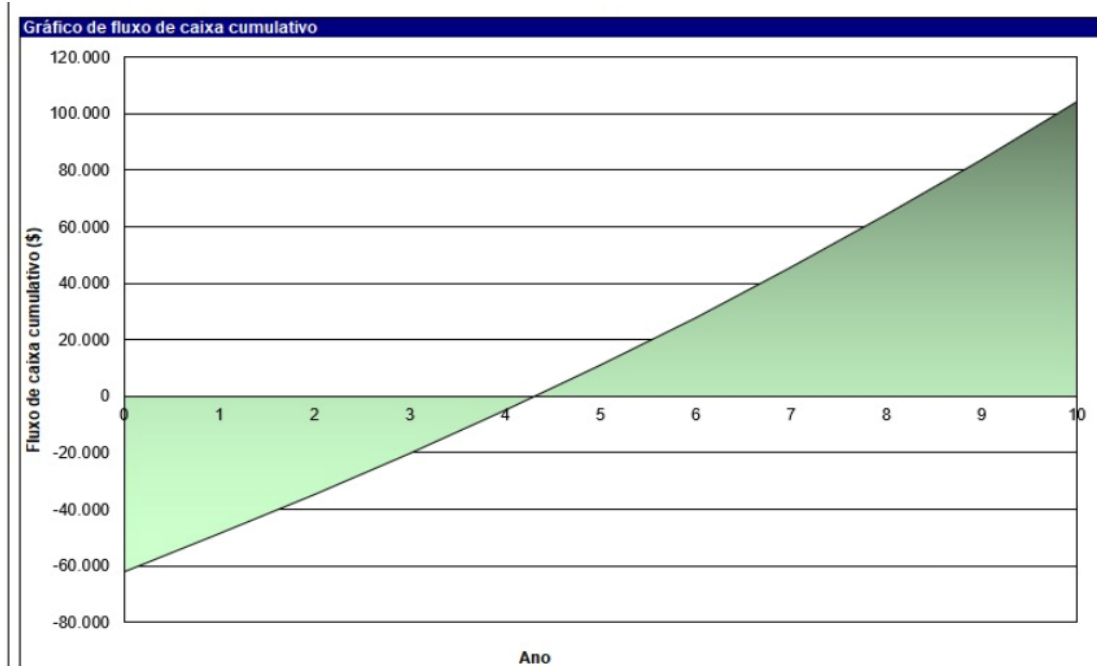
Sumário da redução de emissões dos GEE					
Projeto de ações de eficiência energética	Emissões GEE		Redução anual bruta de emissões de GEE tCO ₂	Custo de transação dos créditos de GEE %	Redução anual líquida de emissões de GEE tCO ₂
	Caso de referência tCO ₂	Emissões de GEE Caso Proposto tCO ₂			
	5,4	4,1	1,3		1,3

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025

5.3.2 Análise Econômica do Investimento

Outro aspecto de destaque refere-se ao retorno econômico das intervenções propostas. O valor do investimento necessário para a implementação das ações de eficiência energética — especificamente a substituição dos aparelhos de ar-condicionado por modelos com tecnologia inverter — foi estimado em R\$ 61.856,00. Esse montante é totalmente recuperado em um período de 4,5 anos (payback simples). A partir desse ponto, o projeto passa a apresentar retorno financeiro positivo, com um Valor Presente Líquido (VPL) estimado em R\$ 40.999,00 ao longo de 10 anos de operação, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Payback das ações de eficiência energética



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025

Esses dados evidenciam não apenas a viabilidade técnica, mas também a atratividade econômica da intervenção proposta, tornando-a uma estratégia eficiente para redução de custos operacionais e aumento da sustentabilidade energética da edificação pública.

5.4 Análise da Geração Distribuída (GD)

Foi realizada uma simulação utilizando o software REopt para avaliar a implantação de um sistema de geração distribuída com fonte solar fotovoltaica. Duas configurações foram analisadas para a mesma unidade consumidora do grupo A:

- Cenário 1: Geração solar fotovoltaica sem armazenamento.
- Cenário 2: Geração solar fotovoltaica associada a um sistema de armazenamento (BESS – Battery Energy Storage System).

5.4.1 GD sem Armazenamento

A simulação baseou-se em dados históricos de consumo da edificação de fevereiro de 2024 a janeiro de 2025, totalizando 31.741 kWh. A maior demanda registrada foi de 23 kW, e o pico de consumo mensal, de 3.698 kWh, ocorreu em abril de 2024.

- Parâmetros da simulação:

- ✓ Custo da energia: R\$ 0,78/kWh;
 - ✓ Custo da demanda: R\$ 0,00/kWh;
 - ✓ Fator de emissão de CO₂: 0,1364 lb CO₂e/kWh;
 - ✓ Custo do sistema FV: R\$ 1.790,00/kWp;
 - ✓ Taxa de câmbio: US\$ 1,00 = R\$ 5,67.
- Resultados principais:
 - ✓ Potência instalada: 23 kWp;
 - ✓ Geração anual estimada: 37.850 kWh;
 - ✓ Redução da energia da rede: 19.932 kWh (63%);
 - ✓ Redução de emissões: 18 tCO₂e (62,78%);
 - ✓ Economia anual: R\$ 15.606,00;
 - ✓ Payback: 1,89 anos;
 - ✓ Taxa de retorno do investimento: 43,4%;
 - ✓ Custo da energia solarfotovoltaica: R\$ 0,56/kWh.
 - Outros resultados obtidos com a simulação:

Tabela 1 - Comparação do antes e depois da GD no Prédio

	Componentes	Sem GD	Com GD	Diferença
1	Potência Pico do Sistema	0,0 KW	23 kW	23 kW
2	Produção anual esperada de energia CA do sistema fotovoltaico,	0,0 KWh	37.850 kWh	37.850 kWh
3	Energia média anual fornecida pela rede	31.741 kWh	11.809 kWh	- 19.932 kWh
4	Percentual de consumo total de eletricidade proveniente da geração da GD	0%	63%	63%
5	Custo total das emissões de CO ₂ eq	R\$ 1.169,00	R\$ 435,00	R\$ 737,00
6	Emissões CO ₂ eq	28t	11t	-18t
7	Redução percentual nas emissões de CO ₂ eq	0%	62,78%	62,78%
8	Custo anual de energia para Concessionária	R\$ 24.851,00	R\$ 9.245,00	-R\$ 15.606,00

9	Redução com custo de energia durante o ciclo de vida	R\$ 269.853,00	R\$ 100.393,00	-R\$ 169.450,00
10	O custo total de capital instalado para todos os elementos do novo sistema recomendado	R\$ 0,0	R\$ 43.420,00	R\$ 43.420,00
11	O custo de operação e manutenção do primeiro ano para o novo sistema	R\$ 0,0	R\$ 417,00	R\$ 417,00
12	Custo total do sistema durante o ciclo de vida do sistema	R\$ 269.853,00	R\$ 126,803,00	-R\$ 143.050,00
13	O valor da economia realizado pelo projeto	R\$ 0,0	R\$ 143.050,00	R\$ 143.050,00
14	Retorno financeiro	0	1,89 anos	1,89 anos
15	Taxa de retorno esperado do investimento	0%	43,4%	43,4%
16	Custo da energia solar	N/A	R\$ 0,56 kWh	R\$ 0,56 kWh

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025

5.4.2 GD+BESS

Na segunda simulação, adicionou-se um sistema de armazenamento à geração distribuída.

- As características do sistema foram:
 - ✓ Potência do sistema FV: 30 kWp;
 - ✓ Capacidade de armazenamento: 52 kWh;
 - ✓ Potência do sistema de baterias: 7 kW.
- Resultados principais:
 - ✓ Geração anual estimada: 48.469 kWh;
 - ✓ Redução do consumo de energia da rede: 30.404 kWh (96%);
 - ✓ Redução de emissões: 27 tCO₂e (95,75%);
 - ✓ Economia anual com consumo de energia elétrica: R\$ 23.804,00;
 - ✓ Economia total com consumo de energia elétrica: R\$ 200.344,00;
 - ✓ Payback: 2,43 anos;
 - ✓ Taxa de retorno do investimento: 34,2%;

✓ Custo da energia solarfotovoltaica: R\$ 0,56/kWh.

- Outros resultados obtidos com a simulação:

Tabela 2 – Comparação do antes e depois da GD+BESS no prédio

<i>Componentes</i>		Sem GD + BESS	Com GD + BESS	Diferença
1	Potência pico	0,0	30 kW	30 kW
2	A produção anual esperada de energia CA do sistema fotovoltaico	0,0	48.469 kWh	48.469 kWh
3	Energia esperada fornecida pela rede elétrica para atendimento de carga,	31.741 kWh	1.337 kWh	- 30.404 kWh
4	Consumo total de eletricidade proveniente da geração de recursos renováveis	0%	96%	96%
5	Custo total das emissões de CO ₂ eq	R\$ 1.169,00	R\$ 49	-R\$ 1.119,00
6	Redução das Emissões de CO ₂ eq	28t	1t	-27t
7	Redução percentual nas emissões de CO ₂ eq	0%	95,75%	95,75%
8	Custo de energia para Concessionária	R\$ 24.851,00	R\$ 1.047,00	-R\$ 23.804,00
9	Redução com custo de energia durante o ciclo de vida do sistema	R\$ 269.853,00	R\$ 11.365,00	- R\$258.488,00
10	O custo total de capital instalado para todos os elementos do novo sistema recomendado	R\$ 0,0	R\$ 83.135,00	R\$83.135,00
11	O custo de operação e manutenção do primeiro ano para o novo sistema	R\$ 0,0	R\$ 533,00	R\$ 533,00
12	Custo total do sistema durante o ciclo de vida	R\$ 269.853,00	R\$ 69.509,00	-R\$ 200.344,00

13	O valor da economia (ou custos, se negativo) realizado pelo projeto	R\$ 0,0	R\$ 200.344,00	R\$ 200.344,00
14	Período de retorno do investimento	N/A	2,43 anos	2,23 anos
15	Taxa de retorno esperado do investimento	0%	34,2%	34,4%
16	Custo da energia solar	0,0 kWh	0,56 kWh	0,56 kWh

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025

5.4. 3 Análise comparativo dos cenários de Geração Distribuída

Na Tabela 3 apresentamos o resumo dos resultados obtidos nas simulações dos dois cenários, com base num período de 10 anos, e comparamos alguns resultados.

Tabela 3 - Comparativa de Geração Distribuída sem armazenamento e com armazenamento (GD+BESS)

<i>Critério</i>	GD sem Armazenamento	GD com Armazenamento (GD+BESS)
<i>Potência FV instalada</i>	23 kWp	30 kWp
<i>Geração anual estimada</i>	37.850 kWh	48.469 kWh
<i>Redução da energia da rede</i>	19.932 kWh (63%)	30.404 kWh (96%)
<i>Redução de emissões de CO₂</i>	18 tCO _{2e} (62,78%)	27 tCO _{2e} (95,75%)
<i>Economia anual</i>	R\$ 15.606,00	R\$ 23.804,00
<i>Economia total em 10 anos</i>	R\$ 156.060,00	R\$ 200.344,00
<i>Payback</i>	1,89 anos	2,43 anos
<i>Taxa Interna de Retorno (TIR)</i>	43,4%	34,2%
<i>Custo nivelado de energia (LCOE)</i>	R\$ 0,56/kWh	R\$ 0,56/kWh

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025

De acordo com a tabela acima, no comparativo entre os cenários de Geração Distribuída (GD) com e sem armazenamento, diferentes aspectos se destacam, conforme o critério de análise.

Do ponto de vista do desempenho financeiro, o cenário sem armazenamento é o vencedor. Apesar de apresentar uma economia anual inferior, esse modelo se destaca por

oferecer um payback mais rápido, de apenas 1,89 anos, e uma Taxa Interna de Retorno (TIR) superior, de 43,4%. Esses indicadores refletem um retorno percentual mais atrativo sobre o investimento inicial, que é menor e envolve menor complexidade operacional.

No entanto, quando se avalia o desempenho econômico de longo prazo, o cenário com armazenamento se sobressai. Ao longo de 10 anos, a economia acumulada chega a R\$ 200.344, enquanto no modelo sem armazenamento esse valor é de R\$ 156.060. Essa vantagem tende a se acentuar com o aumento das tarifas de energia, reforçando os benefícios da maior independência energética proporcionada pelo uso de baterias.

Sob a ótica do desempenho ambiental, o cenário com armazenamento também se destaca. Ele possibilita uma redução mais significativa nas emissões de gases de efeito estufa, com 27 toneladas de CO₂ equivalente evitadas, em comparação com as 18 toneladas do sistema sem baterias. Esse resultado está relacionado à maior substituição da energia da rede por energia renovável, diminuindo o impacto ambiental da operação da edificação.

Já em termos de redução do consumo de energia da rede elétrica, o sistema com armazenamento demonstra clara superioridade. Ele é capaz de reduzir em até 96% a dependência da rede, praticamente alcançando a autonomia energética. Já o modelo sem armazenamento obtém uma redução de 63%. Essa diferença representa uma vantagem estratégica em regiões com instabilidade no fornecimento de energia, garantindo maior resiliência para o consumidor.

Por fim, os dois cenários simulados com o software REopt demonstraram que a geração distribuída solar fotovoltaica, tanto com quanto sem armazenamento, é tecnicamente viável, economicamente atrativa e ambientalmente eficaz. A tecnologia se apresenta como uma solução estratégica para edificações públicas, especialmente em regiões com alta incidência solar, promovendo redução de custos operacionais, maior autonomia energética e sustentabilidade.

O cenário sem armazenamento é mais indicado quando se busca retorno rápido do investimento e simplicidade operacional, com foco na relação custo-benefício imediata. Já com armazenamento é recomendado quando se prioriza a autossuficiência energética, maior economia acumulada ao longo do tempo, e uma pegada ambiental minimizada, mesmo com um investimento inicial mais alto.

A decisão pela melhor alternativa deve considerar os objetivos estratégicos da administração pública, disponibilidade de recursos e políticas de sustentabilidade e resiliência energética.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu analisar a viabilidade técnica e econômica de uma proposta de implantação de medidas de eficiência energética com a implantação de um sistema de energia solar fotovoltaico conectado à rede sem e com armazenamento no prédio do centro cultural professora Dodora da prefeitura municipal de Sousa

Diante de tudo apresentado, conclui-se que as ações de eficiência energética sugeridas e a implantação de uma geração distribuída associada com e sem sistema BESS, promovem uma contribuição significativa para a melhoria do meio ambiente, uma vez que vai evitar o envio de várias toneladas de gases do efeito estufa.

Além disso, vai ocorrer uma redução de custos com a energia elétrica, pois o sistema GD diminuirá a dependência em relação a rede da concessionária e armazenará energia para despachar em momentos de necessidade da carga ou do próprio sistema elétrico, melhorando o desempenho e evitando o fluxo reverso da geração fotovoltaico.

Com isso, os benefícios vão desde ambientais, melhoria do sistema elétrico e a redução do custo de energia, contribuindo assim para gestão municipal, na qual poderá alocar os recursos economizados em melhorias para população da cidade.

Desta forma, diante dos avanços tecnológicos e da crescente utilização de energias renováveis no cenário atual no Brasil e no mundo, a energia solar fotovoltaica tem se apresentado com uma alternativa viável de soluções de compensação energética. Além disso, contribui para uma geração de energia elétrica considerada limpa e, por outro lado, traz compensação financeira para o consumidor sem perder a qualidade da energia produzida.

Como a prefeitura de Sousa tem vários prédios públicos com diversos perfis de demanda e consumo de energia elétrica diferente, sugerimos a implantação de um programa de gestão energética para gerenciar e monitorar as ações de eficiência energética nas repartições públicas municipais.

Através de um o sistema de gerenciamento de energia elétrica podemos estabelecer rotinas referentes ao uso da eficiência energética na Instituição, desde a entrada de energia fornecida pela concessionária até os usos finais (climatização, iluminação e demais cargas). Desta forma serão necessários infra-estrutura, recursos humanos, agente gestor e principalmente o comprometimento do dirigente municipal.

REFERÊNCIAS

BAJAY, Sergio Valdir *et al.* **Políticas, planejamento energético e regulação de mercados de energia no Brasil. Energia e sustentabilidade.** Coleção ambiental. Editora Manole, Barueri – SP, 2016.

BAHIS, Katian L. Vitzel. **O retrofit de ar condicionado: modernização e sustentabilidade na climatização.** ResvitaFT– Ciências Agrárias e Ambientais, São Paulo, seção engenharia, v.26, n. 115, out. 2022. Disponível em: https://revistaft.com.br/o-retrofit-de-ar-condicionado-modernizacao-e-sustentabilidade-na-climatizacao/#_ftn8 . Acessado em: 09 jun. 2025

BELLEN, H. M. V.. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa.** Rio de Janeiro: FGV, 2005.

BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA: **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030.** Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE%202030_RevisaoPosCP_rv2.pdf. Acesso em: 10 mai. 2025

BRASIL: MINISTÉRIO DE MINAS E ENEGIA. **Boletim mensal de monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro.** Brasil. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/secretaria-nacional-energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/2025/boletim-mensal-fevereiro-2025_snee-ddos-vfinal-v2.docx/view . Acessado em 20 de mai. 2025

BRASIL: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Eficiência Energética em Prédios Públicos.** Brasília. 2015. Disponível em https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/344/2015/03/Eficiencia_energetica_em-predios_publicos.pdf .Acesso em: 02 jun. 2025

BRASIL: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA: **Balanço Energético Nacional: Relatório Síntese 2024, ano base 2023.** Brasília.. 20 mai.. 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf . Acesso em 20 mai.2025.

BRASIL: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA: **Balanço Energético Nacional: Relatório Síntese 2025, ano base 2024.** Brasília. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE. 01 jun. 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-767/BEN_S%C3%ADntese_2025_PT.pdf . Acesso em 01 jun.2025.

CCEE aponta aumento de 1,3% no consumo de energia do Brasil nos primeiros meses de 2025. In: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, Brasília, 30 de mai. 2025. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/web/guest/-/ccee-aponta-aumento-de-1-3-no-consumo-de-energia-do-brasil-nos-primeiros-meses-de-2025> . Acesso em: 31 mai. 2025.

Governo aposta em leilão de armazenagem para reduzir conta de luz. In: Metrópolis, Brasília, 06 de mai. 2025. Disponível em: <https://www.metropoles.com/brasil/governo-aposta-em-leilao-de-armazenagem-para-reduzir-conta-de-luz>. Acesso em: 06 jun. 2025.

CEPEL. **Guia para eficiência energética nas edificações públicas.** Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energias. 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/GuiaDeEficienciaEnergeticaEmEdificiosPblicos.pdf> . Acesso em 24 de maio de 2025

COLLAÇO, Flávia Mendes de Almeida; BERMANN, Célio. **A gestão energética descentralizada em âmbito municipal no Brasil.** Anais. 10º Congresso sobre geração distribuída e energia no meio rural. São Paulo: USP, 2015.

CONSELHO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO BRASIL **Guia para Arquitetos na Aplicação da Norma de Desempenho.** Brasília: CAUBR, 2015. Disponível em: https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf. Acesso em 19 nov.2024

COSTA, Juliana dos Santos; JUNIOR, Luiz Maurício de Andrade. **Eficiência energética aplicada ao consumo de eletricidade: Um estudo de revisão bibliográfica.** Research, Society and Development, v. 10, n. 4, e26210414085, 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/14085-Article-184193-1-10-20210410.pdf>. Acesso em Acesso em 18 de nov. 2024

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de Energia Elétrica 2024: Ano base 2023.** Brasil:Ministério de Minas e Energias. 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/anuario-factsheet-2024.pdf>. Acessado em 01 de jun. de 2025.

EPE- EMPRESA DE PESQUISA ENERGETICA. **Atlas da eficiência energética: relatórios de indicadores.** Brasil: Ministério de Minas e Energias. 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-857/Atlas%20da%20Efici%C3%Aancia%20Energetica%20Brasil%202024.pdf> . Acessado em 20 de maio de 2025

EVANGELISTA, Artur de Almeida. **Análise de eficiência energética do Instituto Federal do Ceará - Campus Fortaleza.** Fortaleza. IFCE. 2018. Disponível em: <http://ppger.ifce.edu.br/wp-content/uploads/2018/11/EVANGELISTA-A.A..pdf>. Acessado em 01 de junho de 2025.

FERNANDES, Pedro Paulo *et al.* **Eficiência Energética e Energia Solar Fotovoltaica em Prédios Públicos: Guia Prático para a preparação de investimentos urbanos.** 2ª edição. São Paulo-SP. Brasil. 2022. Disponível em: <https://cooperacaobrasil->

alemanha.com/FELICITY/FELICITY_Guia_Pratico_2a_edicao.pdf. Acessado em: 30. Mai. 2025

GREENER. **Estudo Estratégico Mercado de Armazenamento de Energia: Aplicações, Tecnologias e Análises Financeiras**. São Paulo: 2021. Disponível em: <https://www.greener.com.br/wp-content/uploads/2021/01/Versao-Light-Reduzida-30-slides-Estudo-Estrategico-do-Mercado-de-Armazenamento-de-Energia-no-Brasil-1.pdf>. Acesso em 25 de mai. de 2025

INSTITUTO ACENDE BRASIL. **Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro**. São Paulo. 2024. Disponível em: https://acendebrasil.com.br/wp-content/uploads/2025/03/WP31_2024_Final.pdf. Acessado em 23 de mai. de 2025

JÚNIOR, Walmeran José Trindade; NUNES, Sara Henrique Ponte. **Proposta de implantação da gestão energética no município de Aparecida-PB: um estudo de caso**. Repositório digital do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba. João Pessoa-PB, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/889/1/TCC%20EGP%20-%20Walmeran%20Trindade.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2025.

JÚNIOR, Walmeran José Trindade; SOUSA, Cidoval Moraes. **Gestão energética municipal como política pública para a promoção da transição energética de base local**. Revista Tempo do mundo, n. 32, ago, 2023. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/13417/1/Tempo_Mundo_32_artigo11_Gestao_energetica.pdf. Acesso em: 02 mai. 2025

KURAHASSI, Luiz Fernando *et al.* **Gestão da energia elétrica: bases para uma política pública municipal**. Revista Brasileira de Energia. V. 14, n. 2, 2º sem, 2008, p. 47-65.

LIMA, Celina Moraes. **Projeto de eficiência energética aplicado em escolas públicas do Estado Ceará: metodologia, aplicação e análise de cenários**. Fortaleza. UFC. 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/35053/1/2018_tcc_cmlima.pdf. Acesso 25 mai. 2025.

PEREIRA, F. A., De Oliveira, M. A. (2015). **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, Edições Técnicas.

SANTOS, Guilherme Lucas dos. **Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação de um sistema solar fotovoltaico em uma empresa mineradora de caulim em Equador/RN..** Trabalho de conclusão de curso do Centro Universitário Maurício DE Nassau. Campina Grande, 2019

SARDINHA, Márcia Drumond *et al.* **Ações de eficiência energética realizadas pelo Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico**. 3º Congresso Brasileiro de eficiência energética. Para. UFPA. 2009. Disponível em: https://cdeam.ufam.edu.br/images/Publicacoes_e_artigos/2009/2009_Art_1_CDEAM.pdf. Acessado em 17 de mai. 2025

SARDINHA, Márcia Drumond; SOUZA, Rubem Cesar Rodrigues. **Avaliação de ações de eficiência energética na Universidade Federal do Amazonas**. Para. UFPA. 2009.

Disponível em:

https://www.cdeam.ufam.edu.br/images/Publicacoes_e_artigos/2005/2005_Art_3_CDEAM.pdf. Acesso: em 17 de mai. 2025

SEVERINO, M.& OLIVEIRA, M. Fontes. **Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas**. Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados, Palmas, ano 1, p. 265-322, 2010.

Tudo sobre Transição Energética: o que é, qual a importância. In: Petrobras. Brasília. 28 jan, 2025. Disponível em: <https://nossaenergia.petrobras.com.br/w/transicao-energetica/tudo-sobre-transicao-energetica-o-que-e-qual-a-importancia-principais-beneficios-e-mais#tel>
Acesso em: 18 mai. 2025

TÔRRES, Anderson Alberto Pinto *et al.* **Análise de requisitos para programa municipal de eficiência e recursos energéticos distribuídos em edificações públicas: estudo de caso na cidade de Cajazeiras/PB**. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - CBPE. Itajubá-MG, 2024.

VIANA, Luis Otavio; NETO Antônio Pinto do Nascimento; FLORIAN, Fabiana. (2022). **Energia Renovável: Energia Solar Fotovoltaica Residencial**. Universidade de Araraquara (UNIARA). Disponível em [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2378+-+TCC+-+ENERGIA+RENOV%C3%81VEL+-+ENERGIA+SOLAR+FOTOVOLTAICA+RESIDENCIAL%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2378+-+TCC+-+ENERGIA+RENOV%C3%81VEL+-+ENERGIA+SOLAR+FOTOVOLTAICA+RESIDENCIAL%20(1).pdf). Acesso 20 mai.2025