



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SALINÓPOLIS
ENGENHARIA DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO

HENRIQUE KENNEDY MACHADO DE CARVALHO
ALAN SANDRO RODRIGUES ARAÚJO

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE
ENERGIA SOLAR APLICADA EM UMA EMPRESA NA CIDADE
DE SALINÓPOLIS/PA**

SALINÓPOLIS
2026

HENRIQUE KENNEDY MACHADO DE CARVALHO
ALAN SANDRO RODRIGUES ARAÚJO

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE
ENERGIA SOLAR APLICADA EM UMA EMPRESA NA CIDADE
DE SALINÓPOLIS/PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Exploração e Produção de Petróleo, do Campus Universitário de Salinópolis, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Exploração e Produção de Petróleo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Aracati Botelho

HENRIQUE KENNEDY MACHADO DE CARVALHO
ALAN SANDRO RODRIGUES ARAÚJO

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR
APLICADA EM UMA EMPRESA NA CIDADE DE SALINÓPOLIS/PA**

O presente Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Exploração e Produção de Petróleo da Universidade Federal do Pará foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Fernando Aracati Botelho
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

Prof. Dr. José Leão de Luna
FAE/UFPA/Campus Salinópolis

Prof. Msc. André Wilson da Cruz Reis
PRODERNA/ITEC/UFPA

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Exploração e Produção de Petróleo.

Conceito: -----

Salinópolis, 11 de fevereiro de 2026.

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui não foi um caminho simples, e por isso, este trabalho representa muito mais do que uma exigência acadêmica: é fruto de esforço, apoio, amizade e inspiração.

Primeiramente, agradecemos a Deus, pela força diária, pelas oportunidades e pelas lições que nos moldaram ao longo dessa jornada.

Ao nosso orientador, Dr. Fernando Aracati Botelho, registramos nossa sincera gratidão pela orientação firme, pela confiança em nosso potencial e pela paciência durante todas as etapas do trabalho. Sua contribuição foi essencial para que pudéssemos desenvolver uma pesquisa técnica, ética e comprometida com a realidade local.

À Universidade Federal do Pará, em especial ao Campus de Salinópolis e ao curso de Engenharia de Exploração e Produção de Petróleo, nosso reconhecimento pela estrutura e pelo ensino de qualidade, que foram fundamentais para nossa formação.

Aos professores e colegas que compartilharam conosco aprendizados, desafios e momentos únicos ao longo do curso, nosso muito obrigado. Foram essas trocas que tornaram o percurso mais leve e enriquecedor.

Agradecemos especialmente à empresa YLA Energia, pela confiança e pela disponibilização dos dados que tornaram este estudo possível. A colaboração de vocês contribuiu para que a pesquisa tivesse uma aplicação prática e relevante.

Por fim, aos nossos familiares, nosso agradecimento mais profundo. A eles, que nos apoiaram nos momentos difíceis e comemoraram cada pequena conquista ao nosso lado. Em especial, prestamos uma homenagem ao pai de Alan Sandro Rodrigues Araújo, que infelizmente partiu durante nossa caminhada. Sua memória permanece viva como fonte de força e inspiração. Esta conquista também é dedicada a ele.

RESUMO

A expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil tem ganhado relevância diante da necessidade de diversificação da matriz energética e da busca por alternativas sustentáveis em regiões de alto potencial solar, como o litoral paraense. Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica e econômica da geração de energia solar em Salinópolis/PA, com base na análise de um sistema fotovoltaico real de 31,68 kWp instalado no município. A pesquisa adotou uma abordagem quantitativa e descritiva, integrando indicadores técnicos e econômicos para analisar o desempenho da tecnologia em um ambiente amazônico-litorâneo. Os resultados técnicos evidenciaram desempenho satisfatório do sistema, com Performance Ratio ajustado de 74,9%, fator de capacidade de 21,3% e geração anual de 33.158,62 kWh, demonstrando eficiência operacional mesmo sob condições adversas de elevada umidade, salinidade e variabilidade sazonal da irradiância solar. As perdas energéticas mantiveram-se em níveis reduzidos, confirmando a adequação do dimensionamento e da estratégia de operação e manutenção adotada. Sob a ótica econômica, os resultados indicaram elevada atratividade financeira, com tempo de retorno do investimento inferior a quatro anos, Retorno sobre o Investimento (ROI) superior a 700% ao longo da vida útil estimada de 25 anos e Custo Nivelado de Energia (LCOE) competitivo em relação às tarifas convencionais de eletricidade, especialmente em função dos incentivos previstos na Lei nº 14.300/2022. O estudo também identificou desafios estruturais, como limitações da rede elétrica local, custos iniciais de implantação e incertezas regulatórias futuras, ao mesmo tempo em que evidenciou oportunidades socioeconômicas associadas à expansão da geração distribuída, incluindo redução de custos energéticos, fortalecimento da segurança energética e geração de empregos locais. Conclui-se que a energia solar fotovoltaica apresenta elevada viabilidade técnica e econômica em Salinópolis/PA, configurando-se como uma alternativa estratégica para o desenvolvimento sustentável e ambientalmente responsável do município.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica. Análise de Viabilidade. Geração Distribuída. Sustentabilidade Energética. Salinópolis.

ABSTRACT

The expansion of photovoltaic solar energy in Brazil has gained increasing relevance due to the need to diversify the national energy matrix and to promote sustainable alternatives in regions with high solar potential, such as the coastal area of Pará. In this context, this study aimed to evaluate the technical and economic feasibility of solar energy generation in Salinópolis, Pará, based on the analysis of a real 31.68 kWp photovoltaic system installed in the municipality. The research adopted a quantitative and descriptive approach, integrating technical and economic indicators to assess system performance in an Amazonian coastal environment. The technical results demonstrated satisfactory system performance, with an adjusted Performance Ratio of 74.9%, a capacity factor of 21.3%, and an annual energy generation of 33,158.62 kWh, indicating operational efficiency even under adverse conditions of high humidity, salinity, and seasonal variability of solar irradiance. Energy losses remained at low levels, confirming the adequacy of the system design, sizing, and operation and maintenance strategy. From an economic perspective, the results indicated high financial attractiveness, with a payback period of less than four years, a Return on Investment (ROI) exceeding 700% over the estimated 25-year service life, and a competitive Levelized Cost of Energy (LCOE) compared to conventional electricity tariffs, particularly due to the regulatory incentives established by Law No. 14.300/2022. The study also identified structural challenges, such as limitations of the local electrical grid, high initial investment costs, and future regulatory uncertainties, while highlighting socio-economic opportunities associated with the expansion of distributed generation, including electricity cost reduction, enhanced energy security, and local job creation. It is concluded that photovoltaic solar energy presents high technical and economic feasibility in Salinópolis, Pará, representing a strategic alternative for the municipality's sustainable and environmentally responsible development.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy. Feasibility Analysis. Distributed Generation. Energy Sustainability. Salinópolis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da cidade de Salinópolis (Pará).	21
Figura 2 – Matriz elétrica brasileira em 2024.	25
Figura 3 – Organograma da Análise de Viabilidade.	30
Figura 4 – Exemplo de Geração Distribuída.	32
Figura 5 – Localização dos subsetores costeiros em Salinópolis-Pará.	33
Figura 6 – Precipitação média anual histórica (1986–2023) para o município de Salinópolis.	34
Figura 7 – Climatologia no município de Salinópolis.	34
Figura 8 – Diagrama de blocos da planta analisada.	37
Figura 9 – Diagrama infilar da planta de geração pela YLA Energia (2023).	38
Figura 10 – Variação Mensal da Geração de Energia Fotovoltaica (2023).	44
Figura 11 – Temperaturas diárias em Salinópolis de setembro a dezembro do ano de 2023.	45
Figura 12 – Geração mensal de energia elétrica do sistema fotovoltaico de 31,68 kWp em Salinópolis-PA.	47
Figura 13 – Distribuição mensal das perdas energéticas no sistema fotovoltaico (em %).	48
Figura 14 – Fluxo de caixa acumulado do sistema fotovoltaico ao longo de 25 anos.	50
Figura 15 – Fluxo de caixa acumulado do sistema fotovoltaico ao longo de 25 anos.	51
Figura 16 – Funcionamento da Geração Distribuída.	55
Figura 17 – O triângulo da aceitação social da inovação em energia renovável.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Participação das fontes na geração termelétrica em 2023	26
Tabela 2 – Os Maiores Mercados de Energia Solar do Mundo (Capacidade Acumulada 2024 e Novas Adições Projetadas para 2025)	29
Tabela 3 – Geração Mensal de Energia Fotovoltaica (2023)	43
Tabela 4 – Performance Ratio (PR) médio anual extraídos do Estudo de Gonzalez & Martins (2024) em relação ao presente trabalho em Salinópolis.	46
Tabela 5 – Comparação dos Indicadores Econômicos: Cenário Anterior vs. Cenário Atual (Lei nº 14.300/2022)	52
Tabela 6 – Principais Desafios Técnicos da Energia Solar em Salinópolis	54
Tabela 7 – Principais Mudanças no Marco Regulatório da Geração Distribuída (Lei nº 14.300/2022)	54
Tabela 8 – Impacto Socioeconômico da Energia Solar em Salinópolis	55
Tabela 9 – Normas técnicas aplicáveis a sistemas fotovoltaicos em ambientes costeiros	57

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

CO_2	Dióxido de Carbono
E_{real}	Energia Real Gerada
H	Irradiação Solar Global Incidente
P_{inst}	Potência Instalada
R\$	Real (moeda brasileira)
T	Temperatura
%	Porcentagem
η	Eficiência
kWh	Quilowatt-hora
kWh/m^2	Quilowatt-hora por metro quadrado
C	Graus Celsius
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CA/CC	Corrente Alternada/Corrente Contínua
CAT	Categoria (de sobretensão)
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CREA PA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Pará
ESCO	Energy Services Company (Empresa de Serviços de Energia)
FNE	Fundo Constitucional de Financiamento do Norte
GD	Geração Distribuída

ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEC	International Electrotechnical Commission (Comissão Eletrotécnica Internacional)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)
IFPA	Instituto Federal do Pará
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IoT	Internet of Things (Internet das Coisas)
IP	Grau de Proteção (Ingress Protection)
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IRENA	International Renewable Energy Agency (Agência Internacional para as Energias Renováveis)
ISS	Imposto Sobre Serviços
LCOE	Levelized Cost of Energy (Custo Nivelado de Energia)
MPPT	Maximum Power Point Tracking (Rastreamento do Ponto de Máxima Potência)
MW	Megawatt
NEM	Net Metering (Sistema de Compensação de Energia Elétrica)
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PIS	Programa de Integração Social
PPE	Programa de Pesquisa em Energia
PR	Performance Ratio (Taxa de Desempenho)
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
PV	Fotovoltaico
ROI	Return on Investment (Retorno sobre o Investimento)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados)

SEMAS PA Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará

SENAI Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SIN Sistema Interligado Nacional

STC Standard Test Conditions (Condições Padrão de Teste)

SWERA Solar and Wind Energy Resource Assessment (Avaliação de Recursos de Energia Solar e Eólica)

TIR Taxa Interna de Retorno

TUSD Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

VPL Valor Presente Líquido

Wp Watt pico

CONTEÚDO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Contextualização e Motivação	21
1.2	Objetivos	22
1.2.1	Objetivos Específicos	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1	Energia Solar e Sustentabilidade	25
2.2	Fundamentos da Energia Solar Fotovoltaica	27
2.3	Indicadores Técnicos e Econômicos de Viabilidade	29
2.4	Políticas e Incentivos para a Energia Solar no Brasil	32
2.5	Contextualização da geração de energia solar em Salinópolis/Pa	33
2.5.1	Caracterização Geográfica e Climática da Região	33
2.5.2	Potencial Solar Local e Condições Ambientais	35
2.5.3	Situação Energética e Oportunidade de Diversificação	35
3	METODOLOGIA	37
3.1	Tipo de Estudo e Abordagem Metodológica	37
3.2	Fontes de Dados	37
3.3	CrITÉRIOS de Seleção de Fontes	39
3.4	Procedimentos de Coleta e Análise de dados	39
3.4.1	Levantamento de Dados Primários	39
3.4.2	Coleta de Dados Secundários	39
3.4.3	Tratamento e Análise dos Dados	39
3.4.4	Cálculo do Performance Ratio (PR)	40
3.4.5	Cálculo da estimativa de Retorno sobre o Investimento (ROI) e Tempo de <i>Payback</i>	40
3.4.6	Integração e Interpretação dos Resultados	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	Análise técnica da geração energética fotovoltaica em 2023 por meio do <i>software</i> APsystems (2023)	43
4.1.1	Dados de Geração Mensal	43
4.1.2	Análise da Sazonalidade e Influências Operacionais	44
4.1.3	Análise de Desempenho do Sistema Fotovoltaico em Ambiente Litorâneo Tropical	45
4.2	Análise econômica	49
4.2.1	Custos de Implantação, Operação e Manutenção	49
4.2.2	Estimativa de Retorno sobre o Investimento (ROI) e Tempo de <i>Payback</i>	50
4.2.3	Impacto de Incentivos Fiscais e Políticas Públicas	51

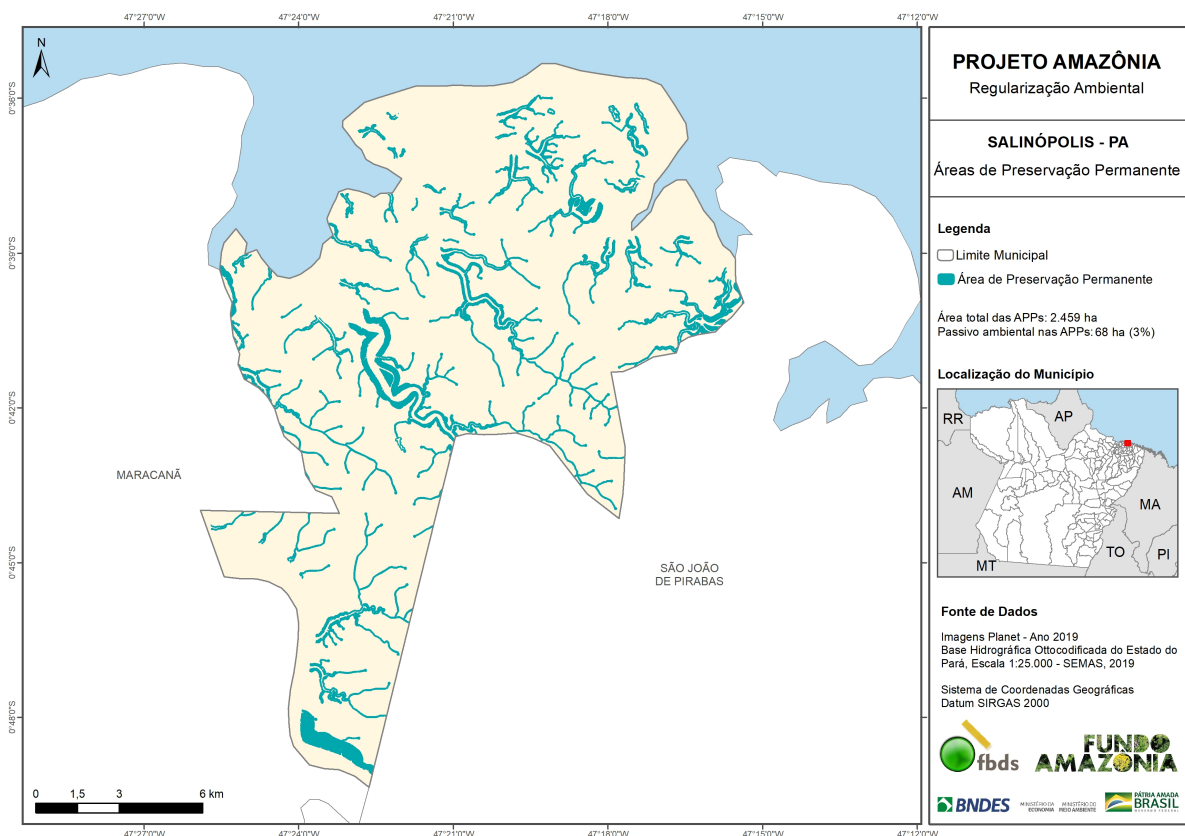
4.2.4	Comparação com Fontes Energéticas Convencionais	53
4.3	Desafios e oportunidades da energia solar fotovoltaica em Salinópolis/Pa .	53
4.3.1	Barreiras Técnicas, Econômicas e Regulatórias	53
4.3.1.1	Barreiras Técnicas	53
4.3.1.2	Barreiras Econômicas	54
4.3.1.3	Barreiras Regulatórias	54
4.3.2	Potencial para Geração de Empregos e Desenvolvimento Local	55
4.3.3	Integração com a Rede Elétrica e Geração Distribuída	55
4.4	Propostas para implementação sustentável: integrando dimensões técnicas, econômicas e socioambientais	56
4.4.1	Superação de Desafios Técnicos e Econômicos: Abordagens Baseadas em Evidências	56
4.4.2	Modelos de Negócios Contextualizados: Da Teoria à Prática	57
4.4.3	Políticas Públicas Multinível: Uma Abordagem Integrada	58
4.4.4	Sustentabilidade como Eixo Transversal: Além da Geração Elétrica . .	58
5	CONCLUSÃO	59
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	61
	BIBLIOGRAFIA	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Motivação

A crescente necessidade de transição energética global, motivada pelos impactos ambientais do uso intensivo de combustíveis fósseis, tem estimulado a busca por fontes alternativas, limpas e sustentáveis. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica se destaca como uma das soluções mais viáveis, especialmente em regiões com elevada incidência de radiação solar, como a cidade de Salinópolis, localizada no litoral da zona nordeste do Pará, descrita na Figura 1. O tema vem ganhando importância não apenas pelo seu potencial técnico, mas também pela contribuição que pode oferecer ao desenvolvimento econômico e ambiental de municípios de médio porte.

Figura 1 – Mapa da cidade de Salinópolis (Pará).



Fonte: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) (2021).

Entretanto, a simples disponibilidade de radiação solar não garante o sucesso da tecnologia. A adoção de sistemas fotovoltaicos fora dos grandes centros urbanos enfrenta desafios que vão além da engenharia. O investimento inicial, que será descrito com mais detalhes na análise econômica deste trabalho, ainda é elevado, o que dificulta

o acesso para parte da população e pequenos empreendedores. Além disso, há carência de políticas públicas de incentivo e de programas de capacitação técnica voltados à operação e manutenção dos sistemas, fatores que limitam a expansão da energia solar em nível local.

Este cenário geográfico é moldado por um clima tropical úmido, com temperaturas médias anuais que variam entre 25°C e 28 °C. O regime de chuvas é marcado por uma sazonalidade bem definida: uma estação chuvosa, que se estende de janeiro a meados de junho, e um período de estiagem, de julho a dezembro. Naturalmente, as condições para a captação de energia solar são ótimas durante a estação seca, quando a radiação direta é mais intensa. Em contrapartida, nos meses de maior precipitação, a cobertura de nuvens e a elevada umidade do ar podem reduzir o desempenho dos sistemas fotovoltaicos, embora de forma temporária (FREITAS et al., 2025; MARTORANO et al., 1993; OLIVERA, 2025).

Contudo, a infraestrutura energética da cidade ainda necessita de modernização, devido à atual capacidade de conexão da rede elétrica perante o cenário meteorológico – o que será explicado no presente trabalho. Além disso, o acesso da população às novas tecnologias é restrito. A implementação de projetos de geração deve ser conduzida com responsabilidade, considerando as particularidades ambientais da zona costeira como o alto teor de salinidade e elevada umidade relativa do ar (SEMAS, 2025), e garantindo que os benefícios econômicos e sociais sejam compartilhados pela comunidade.

Diante desse cenário, este trabalho realiza uma análise técnica e econômica da geração de energia solar em Salinópolis, utilizando dados reais fornecidos pela empresa YLA Energia, que atua na região. A partir dessas informações, busca-se avaliar a viabilidade da tecnologia e identificar fatores que possam favorecer sua adoção em maior escala.

Em síntese, o estudo pretende demonstrar o potencial da energia solar como alternativa sustentável para o município, propondo soluções que conciliem eficiência técnica, viabilidade econômica e responsabilidade ambiental. O objetivo geral é avaliar a viabilidade técnica e econômica da geração de energia solar fotovoltaica em Salinópolis/PA, com base em dados empíricos, identificando os principais desafios e oportunidades para sua expansão sustentável.

1.2 Objetivos

Nesse contexto de análise por meio de dados operacionais e econômicos, neste trabalho foram estudados conjuntos de dados provenientes de um sistema fotovoltaico real de 31,68 kWp, instalado e monitorado pela empresa YLA Energia no município de Salinópolis/PA ao longo do ano de 2023.

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a viabilidade técnica e econômica

da geração de energia solar fotovoltaica em Salinópolis/PA. Isso foi realizado por meio do estudo de caso de um sistema conectado à rede (*on-grid*) em ambiente litorâneo amazônico e da avaliação de indicadores de desempenho, como o Fator de Capacidade e a Taxa de Desempenho (*Performance Ratio*), além de parâmetros financeiros, incluindo o Retorno sobre o Investimento (ROI), o *payback* e o Custo Nivelado de Energia (LCOE).

O estudo do caso foi realizado considerando o desempenho do sistema sob as condições climáticas e ambientais da região, caracterizada por alta salinidade, umidade elevada e sazonalidade de irradiância solar. Além do levantamento de dados de geração e da análise de viabilidade, a investigação se estendeu à identificação dos principais desafios técnicos e regulatórios para a expansão da fonte solar no município, bem como à proposição de estratégias e modelos de negócio que possam fomentar a adoção da tecnologia de forma sustentável e inclusiva.

1.2.1 Objetivos Específicos

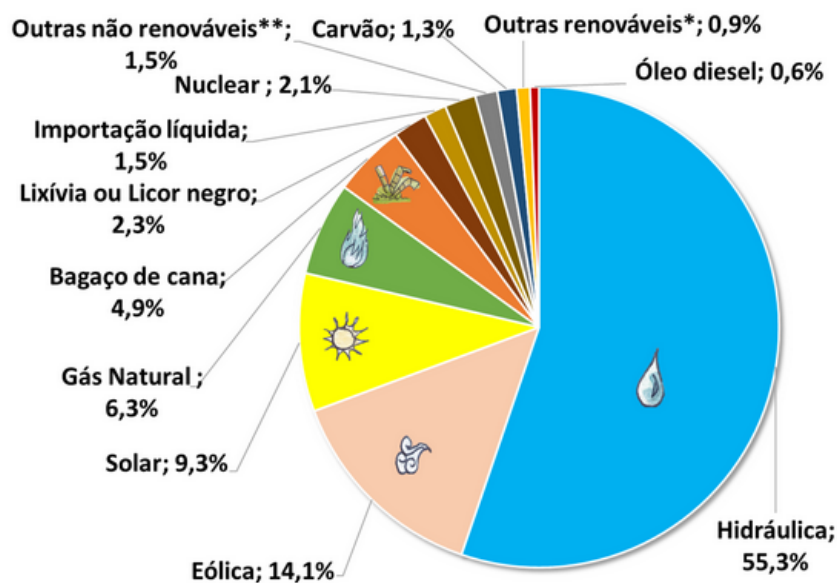
- Caracterizar o potencial solar e as condições ambientais de Salinópolis/PA e sua influência no desempenho de sistemas fotovoltaicos. Além de identificar os principais desafios técnicos, econômicos e regulatórios para a expansão da geração solar fotovoltaica no município, especialmente em função das condições litorâneas e da infraestrutura local.
- Descrever o sistema fotovoltaico analisado, incluindo sua composição técnica (módulos, inversores, potência instalada), custos de implantação e regime de operação e manutenção.
- Analisar o desempenho técnico do sistema ao longo do ano de 2023, por meio de indicadores como: Geração mensal e anual de energia; Fator de capacidade; *Performance Ratio* (PR) ajustado.
- Avaliar a viabilidade econômica do sistema, utilizando os seguintes indicadores financeiros:
 - Retorno sobre o Investimento (ROI);
 - Tempo de *payback*;
 - Valor Presente Líquido (VPL);
 - Custo Nivelado de Energia (LCOE);
 - Análise regulatória (Lei nº 14.300/2022).
- Contribuir com recomendações para futuras pesquisas e para o planejamento energético local, com base nas lacunas identificadas e no potencial de replicação da metodologia em outras regiões litorâneas da Amazônia.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Energia Solar e Sustentabilidade

A crescente demanda por energia elétrica, impulsionada pelo aumento populacional e pela urbanização, intensificou a dependência das fontes tradicionais de geração, como hidroelétricas e termelétricas. O Brasil atualmente possui a maior parte de energia elétrica gerada por fontes hídricas, com divisão conforme a Figura 2. Nesse mesmo cenário, o Brasil lidera a produção de energia elétrica por meio de fontes renováveis, porém, com o uso da geração por meio de hidroelétricas, que possuem alto impacto ambiental apesar de ser renovável (EPE, 2026c).

Figura 2 – Matriz elétrica brasileira em 2024.



Fonte: EPE (2026a).

Nesse cenário, as termelétricas, que ocupam 19.2% de participação na matriz energética brasileira em 2023 (EPE, 2024) , são utilizadas para prover o quantitativo necessário de energia elétrica, porém custa mais caro para manter e isso reflete nas bandeiras tarifárias da ANEEL (2023), onde as bandeiras vermelhas indicam o maior uso de termelétricas e por consequência, um aumento na fatura de energia (EPE, 2026b). Além disso, afora outras fontes de energia, as termelétricas também utilizam combustíveis fósseis, e isso contribui de forma significativa para a degradação ambiental (LOPES; BASTO, 2022; EPE, 2024).

Tabela 1 – Participação das fontes na geração termelétrica em 2023

Fonte de Energia	Participação (%)
Biomassa	42,6
Gás natural	28,4
Nuclear	10,7
Carvão e derivados	10,4
Derivados de petróleo	7,9

Fonte: EPE (2024)

Relacionado à região norte e Maranhão, o Subsistema Norte, composto por Amapá, Amazonas, Pará, Tocantins e Maranhão, gerou 27% de toda energia originária de termelétricas fósseis de serviço público em 2020, o que resultou na emissão de mais de 7 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente segundo o (IEMA, 2022). Nesse contexto, as matrizes renováveis surgem como alternativas estratégicas, com destaque para a energia solar, que se mostra inesgotável, limpa e ambientalmente sustentável.

O conceito de sustentabilidade, inicialmente vinculado à biologia, passou a ser compreendido como um modelo de desenvolvimento que busca conciliar crescimento econômico, preservação ambiental e justiça social. Segundo Elkington (2012), a sustentabilidade baseia-se no tripé econômico, social e ambiental, o chamado *Triple Bottom Line*, no qual o progresso só é efetivo quando se harmonizam os três pilares. Nessa mesma perspectiva, Pasupuleti (2024) complementa que a sustentabilidade se apoia no desenvolvimento de inovações voltadas para a proteção ambiental e resiliência de longo prazo, particularmente no que diz respeito às mudanças climáticas. Além disso, alguns autores defendem agricultura sustentável, inclusão e equidade social e desenvolvimento de tecnologias de energia limpa (JIANG; JEW, 2025).

A energia solar integra-se plenamente a esse paradigma, uma vez que utiliza uma fonte natural abundante e renovável, a radiação solar, para a produção de eletricidade sem emissão de gases de efeito estufa. O Brasil é privilegiado pela sua localização próxima à linha do Equador, apresentando elevados índices de irradiação solar ao longo de todo o território, o que o torna um dos países com maior potencial para geração fotovoltaica no mundo. Essa característica confere ao país uma vantagem competitiva no processo de transição energética, alinhando-se às metas de redução de emissões estabelecidas no Acordo de Paris (2015) (AOKI; SANTANA; DAMASO, 2023).

No Brasil, existem mecanismos para famílias de baixa renda terem um melhor acesso à energia elétrica. Isso se dá principalmente pela Lei nº 15.235/2025, que garante descontos na tarifa elétrica e já beneficiam mais de 17 milhões de famílias (ANEEL, 2025; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2026). Porém, alguns estudos mostram que se a energia elétrica solar fosse financeiramente acessível, isso favoreceria uma disseminação maior para o acesso à energia nas comunidades mais carentes, uma vez que a instalação de sistemas fotovoltaicos pode reduzir em até 95% os gastos com

eletricidade (BOURSCHEIDT, 2026). Nesse sentido, políticas como o programa “Renda do Sol”, no Ceará, já buscam reduzir a pobreza energética por meio da microgeração solar (SILVA; BRAGA, 2024), e novas propostas legislativas, como o PL 5002/2025, tramitam para ampliar esse acesso (BRASIL, 2026).

A sustentabilidade associada à energia solar também está relacionada aos benefícios ambientais. Ao contrário das hidrelétricas, que podem causar impactos nos ecossistemas fluviais e deslocamento de comunidades, a energia solar apresenta baixa interferência ambiental e reduz consideravelmente as emissões de carbono. Além disso, sua flexibilidade de instalação, em telhados urbanos ou áreas improdutivas, minimiza os efeitos sobre o uso do solo e amplia as possibilidades de geração descentralizada (LOPES; BASTO, 2022).

Assim, a energia solar não se limita a ser uma alternativa energética, mas um elemento fundamental na construção de um modelo sustentável de desenvolvimento. Conforme Aoki, Santana & Damaso (2023), a consolidação dessa fonte no Brasil depende da continuidade de investimentos, do avanço tecnológico e da adoção de políticas de incentivo que garantam sua viabilidade econômica e social. Além disso, consideram que ao unir eficiência energética, preservação ambiental e inclusão social, a energia solar consolida-se como um dos pilares mais promissores para o futuro energético sustentável do país.

2.2 Fundamentos da Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica consiste na conversão direta da radiação solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico, fenômeno físico descoberto por Edmond Becquerel em 1839. Esse processo ocorre quando fótons provenientes da luz solar incidem sobre materiais semicondutores, como o silício, provocando o deslocamento de elétrons e a consequente geração de corrente elétrica contínua (CRESESB, 2014). Essa eletricidade é posteriormente convertida em corrente alternada por meio de inversores, possibilitando seu uso em equipamentos residenciais, comerciais ou industriais (ANEEL, 2023).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em três principais categorias: *on-grid* (conectados à rede), *off-grid* (autônomos) e híbridos. Os sistemas *on-grid* são interligados à rede elétrica pública e permitem que o excedente de energia gerado seja injetado no sistema, gerando créditos energéticos ao consumidor, conforme regulamentado pela Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, atualizada pela Lei nº 14.300/2022, que institui o Marco Legal da Geração Distribuída. Já os sistemas *off-grid* operam de forma isolada, utilizando baterias para armazenar a energia gerada, sendo comuns em locais remotos sem acesso à rede elétrica. Os sistemas híbridos combinam as duas modalidades, integrando baterias e conexão à rede, oferecendo maior autonomia

e segurança energética (ANEEL, 2023).

Cada sistema fotovoltaico é composto, essencialmente, por módulos fotovoltaicos, inversores, controladores de carga, baterias (quando aplicável), cabos elétricos e estruturas de suporte. Os módulos fotovoltaicos são formados por células de silício monocristalino ou policristalino, responsáveis pela captação e conversão da radiação solar. Os inversores transformam a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), sincronizada com a rede. Já os controladores de carga regulam a tensão e a corrente elétrica que alimentam as baterias, evitando sobrecarga e prolongando sua vida útil. As estruturas de suporte devem garantir o correto posicionamento dos módulos, com inclinação e orientação adequadas à latitude local, para maximizar a captação de energia (CRESESB, 2014; ABNT, 2014).

O desempenho de um sistema fotovoltaico depende de fatores ambientais e construtivos, como nível de irradiação solar, temperatura ambiente, sombreamento, orientação e inclinação dos módulos. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE, 2022), o território nacional apresenta elevados índices de irradiação, variando entre 4,5 e 6,5 kWh/m² por dia, o que torna o país altamente favorável para a geração fotovoltaica. Entretanto, temperaturas elevadas reduzem a eficiência dos módulos, pois o aumento térmico eleva a resistência elétrica interna, diminuindo a tensão de saída. A perda de potência estimada é de 0,4% a 0,5% por °C acima de 25 °C. Por isso, a instalação deve considerar ventilação adequada e uso de materiais compatíveis com o clima local (CRESESB, 2014).

Além dos aspectos técnicos, Lopes & Basto (2022) enfatizam que a geração solar descentralizada contribui para a diversificação da matriz energética, reduzindo perdas no transporte de eletricidade e aumentando a segurança do fornecimento. Essa característica é especialmente relevante em regiões afastadas dos grandes centros de distribuição, como o litoral paraense, onde o potencial solar é expressivo e as redes elétricas apresentam limitações estruturais (Equatorial Pará, 2026; FREITAS et al., 2025).

Por sua natureza modular, os sistemas fotovoltaicos permitem escalabilidade, desde pequenas instalações residenciais até grandes usinas solares. Essa flexibilidade, associada à redução progressiva dos custos de equipamentos e ao fortalecimento das políticas de incentivo, tem impulsionado a expansão da geração distribuída no Brasil. Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2023), o país superou a marca de 37 GW de potência instalada em 2024, consolidando-se entre os seis maiores mercados de energia solar do mundo, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Os Maiores Mercados de Energia Solar do Mundo (Capacidade Acumulada 2024 e Novas Adições Projetadas para 2025)

País	Capacidade 2024 (GW)	Novas Adições 2025* (GW)
China	887.9	230 –250
Estados Unidos	177.4	40 –45
Índia	97.3	25 –30
Japão	91.6	8 –10
Alemanha	89.9	16 –18
Brasil	53.1	15 –19
Espanha	38.5	9 –10
Itália	36.0	6 –8
França	21.5	4 –5

Nota: * Novas adições para 2025 são projeções baseadas em dados do IEA-PVPS Snapshot 2026 e Solar-Power Europe.

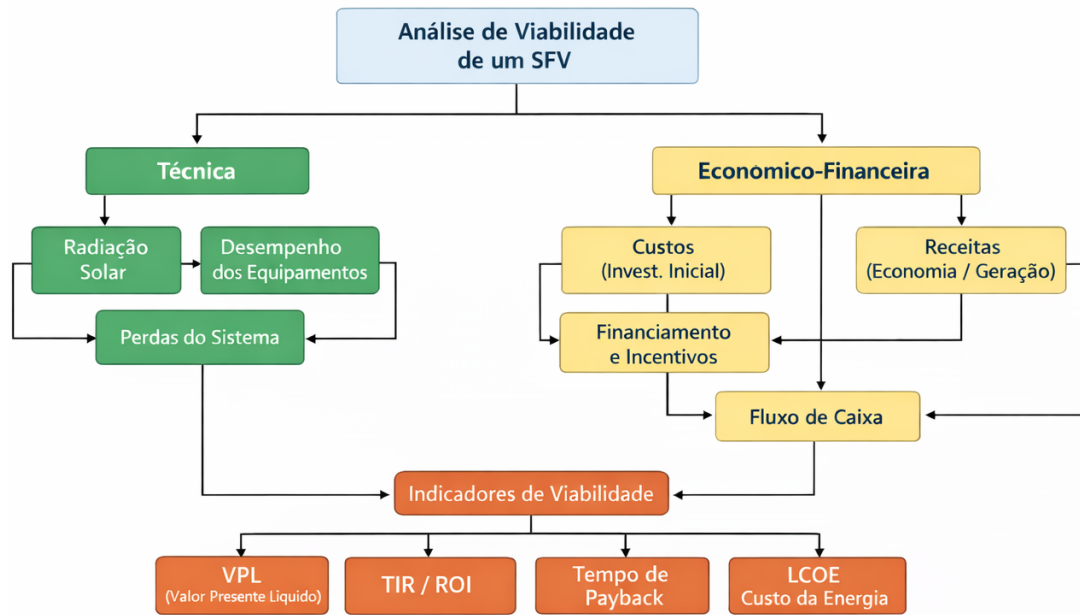
Fonte: ENERGY INSTITUTE (2025), SOLAR POWER EUROPE (2025), LA REPÚBLICA (2025), ABSOLAR (2024).

Dessa forma, a energia solar fotovoltaica representa uma tecnologia madura, de elevada eficiência e adaptável a diversas condições geográficas e econômicas. No contexto deste trabalho, compreender seus fundamentos técnicos é essencial para analisar a viabilidade técnica e econômica da geração de energia solar em Salinópolis/PA, considerando o potencial local de irradiação e os parâmetros que influenciam o desempenho e o retorno do investimento.

2.3 Indicadores Técnicos e Econômicos de Viabilidade

A análise de viabilidade de um sistema fotovoltaico depende de uma avaliação integrada entre os aspectos técnicos e econômicos do empreendimento. No âmbito técnico, considera-se a eficiência dos módulos solares, a radiação incidente, o desempenho dos inversores e a capacidade de geração do sistema em relação ao consumo energético local. Já na perspectiva econômica, os principais indicadores empregados são o Retorno sobre o Investimento (ROI), o Tempo de Payback, o Custo Nivelado de Energia (LCOE) e o Valor Presente Líquido (VPL), que permitem mensurar a rentabilidade, o tempo de retorno e a atratividade financeira do investimento. Isso pode ser melhor visualizado na Figura 3, onde SFV é sistema fotovoltaico:

Figura 3 – Organograma da Análise de Viabilidade.



Fonte: Autores (2025).

O Retorno sobre o Investimento (ROI) representa a razão entre o lucro obtido e o valor investido, expressado geralmente em termos percentuais. Em projetos de energia solar, esse indicador evidencia o ganho financeiro proporcionado pela economia de energia ao longo do tempo. Quanto maior o ROI, mais atrativo se torna o investimento. A fórmula básica do ROI é dada pela Equação 2.1 (BARROS, 2018).

$$ROI = \frac{\text{Lucro Líquido}}{\text{Investimento Inicial}} \times 100 \quad (2.1)$$

No contexto da energia solar fotovoltaica, o lucro líquido corresponde à diferença entre a economia gerada na conta de energia e os custos de manutenção e operação do sistema, considerando o período de análise (SENA, 2023).

O Tempo de *Payback*, por sua vez, indica o intervalo necessário para que o fluxo de caixa acumulado iguale o valor do investimento inicial. Em outras palavras, é o tempo que o sistema leva para se pagar. Esse indicador é amplamente utilizado por investidores e consumidores como referência prática da viabilidade econômica do projeto (SENA, 2025). Em média, sistemas fotovoltaicos instalados no Brasil apresentam um *payback* entre 4 e 7 anos, dependendo do custo de instalação, da irradiação solar da região e da tarifa de energia local (ANEEL, 2023). Após esse período, toda a energia gerada passa a representar economia líquida ao proprietário, o que reforça o caráter sustentável e financeiramente atrativo dessa tecnologia (EPE, 2026b).

Outro indicador amplamente utilizado em análises econômicas de geração solar é o Custo Nivelado de Energia (LCOE). Esse parâmetro representa o custo médio de geração de cada unidade de energia (kWh) ao longo da vida útil do sistema, considerando os custos iniciais, de operação, manutenção e substituição de componentes.

O LCOE é calculado pela razão entre o valor presente de todos os custos e o valor presente da energia produzida durante o período de análise, conforme Equação 2.2 (ALDERSEY-WILLIAMS; RUBERT, 2019):

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (2.2)$$

onde C_t representa os custos totais no ano t , E_t é a energia gerada no ano t , r é a taxa de desconto e n é a vida útil do sistema. Valores menores de LCOE indicam maior competitividade e eficiência econômica da fonte de energia (ALDERSEY-WILLIAMS; RUBERT, 2019).

A relevância do LCOE está em permitir comparações diretas entre diferentes fontes energéticas, independente da escala ou da estrutura tarifária vigente. No caso da energia solar fotovoltaica, o LCOE tem apresentado tendência de redução nos últimos anos devido ao avanço tecnológico e à queda dos custos de módulos e inversores. Segundo dados da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2023b), o custo nivelado médio da energia solar no Brasil já é inferior ao das fontes convencionais em diversas regiões, o que reforça seu potencial como alternativa economicamente sustentável, especialmente em localidades com alto índice de radiação solar, como o litoral paraense.

O Valor Presente Líquido (VPL) é outro indicador essencial para avaliar a viabilidade financeira de projetos fotovoltaicos. Ele representa a diferença entre o valor presente dos fluxos de caixa futuros esperados e o investimento inicial. Em termos práticos, o VPL indica o ganho ou a perda financeira projetada ao longo do ciclo de vida do investimento, considerando a taxa de desconto e o tempo de retorno, conforme Equação 2.3 (FRAGUEIRO, 2023).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (2.3)$$

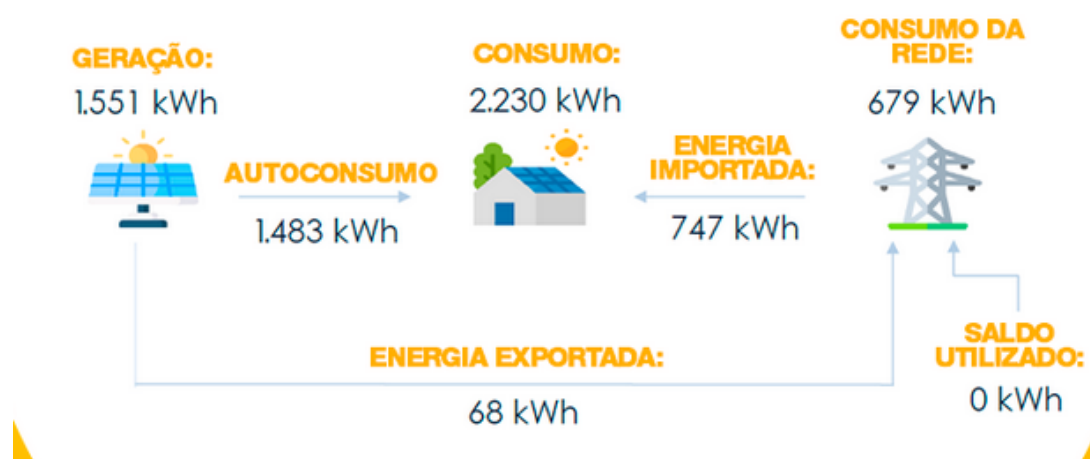
onde FC_t são os fluxos de caixa no período t , i é a taxa de desconto e I_0 representa o investimento inicial. Um VPL positivo indica que o projeto é economicamente viável, pois os ganhos futuros superam o custo do investimento.

A aplicação do VPL em projetos de energia solar permite uma análise mais precisa dos benefícios econômicos ao longo do tempo, especialmente em comparação com outras fontes de geração de energia. Esse indicador é particularmente relevante em contextos de longo prazo, pois incorpora a depreciação de equipamentos, custos de operação e possíveis reajustes tarifários. Assim, o uso combinado do ROI, *Payback*, LCOE e VPL fornece uma visão abrangente da viabilidade técnica e econômica dos sistemas fotovoltaicos, sendo fundamental para decisões de investimento e para o planejamento energético sustentável (FRAGUEIRO, 2023).

2.4 Políticas e Incentivos para a Energia Solar no Brasil

O avanço da energia solar fotovoltaica no Brasil está fortemente associado à implementação de políticas públicas, programas de incentivo e marcos regulatórios que visam promover a diversificação da matriz energética e a sustentabilidade ambiental. A principal norma regulatória do setor é a Resolução Normativa nº 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), posteriormente atualizada pela Resolução nº 687/2015, que instituiu o sistema de compensação de energia elétrica. Esse mecanismo permite que consumidores gerem sua própria energia e injetem o excedente na rede pública, recebendo créditos que podem ser utilizados para abater o consumo futuro, estimulando a chamada Geração Distribuída (GD), como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Exemplo de Geração Distribuída.



Fonte: WEG Solar (2025).

Outro marco importante foi a Lei nº 14.300/2022 (Brasil, 2022), que criou o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, consolidando o ambiente jurídico da energia solar no país. Essa legislação trouxe maior segurança regulatória aos investidores e estabeleceu prazos de transição para a cobrança de tarifas pelo uso da rede, assegurando incentivos econômicos aos sistemas instalados até 2023. Além disso, diversos estados e municípios brasileiros oferecem isenção de ICMS sobre a energia compensada, conforme o Convênio ICMS 16/2015, o que reduz significativamente o tempo de retorno do investimento (ANEEL, 2025).

No âmbito federal, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e a Caixa Econômica Federal disponibilizam linhas de crédito específicas para financiamento de sistemas fotovoltaicos, tanto para pessoas físicas quanto jurídicas. Programas como o Fundo Clima e o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) também desempenham papel relevante ao fomentar o crescimento do setor. Esses incentivos, somados à alta irradiação solar em

praticamente todo o território nacional, tornam o Brasil um dos países mais promissores para a expansão da energia solar (BNDES, 2024).

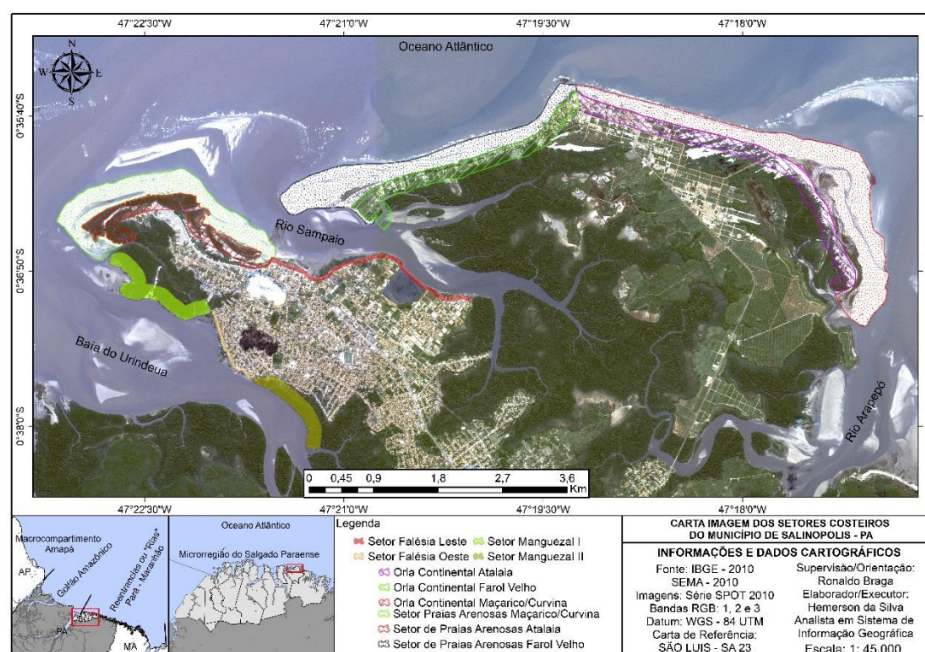
Em síntese, as políticas e incentivos vigentes têm sido fundamentais para o crescimento da geração solar fotovoltaica, reduzindo barreiras de entrada e aumentando a competitividade dessa fonte frente às energias convencionais. No caso específico de municípios com elevado potencial solar, como Salinópolis/PA, tais mecanismos representam uma oportunidade estratégica para impulsionar o desenvolvimento sustentável e econômico regional.

2.5 Contextualização da geração de energia solar em Salinópolis/PA

2.5.1 Caracterização Geográfica e Climática da Região

Salinópolis, uma cidade costeira localizada no nordeste do estado do Pará, a aproximadamente 220 quilômetros da capital, Belém, possui um conjunto singular de características geográficas e climáticas que influenciam diretamente o potencial para a geração de energia solar. O município ocupa uma zona de transição entre o bioma amazônico e o litoral atlântico, o que resulta em uma topografia predominantemente plana e suavemente ondulada, favorecendo a exposição solar ao longo do ano (FREITAS et al., 2025; BRAGA; PIMENTEL, 2019). A Figura 5 mostra um mapa de Salinópolis-Pa com as regiões costeiras.

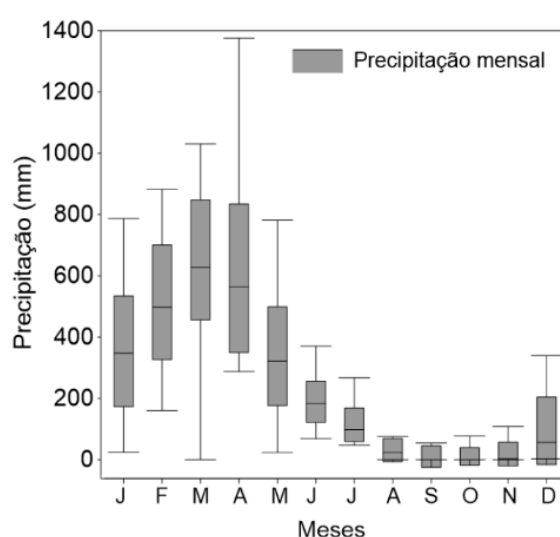
Figura 5 – Localização dos subsetores costeiros em Salinópolis-Pará.



Fonte: Braga & Pimentel (2019).

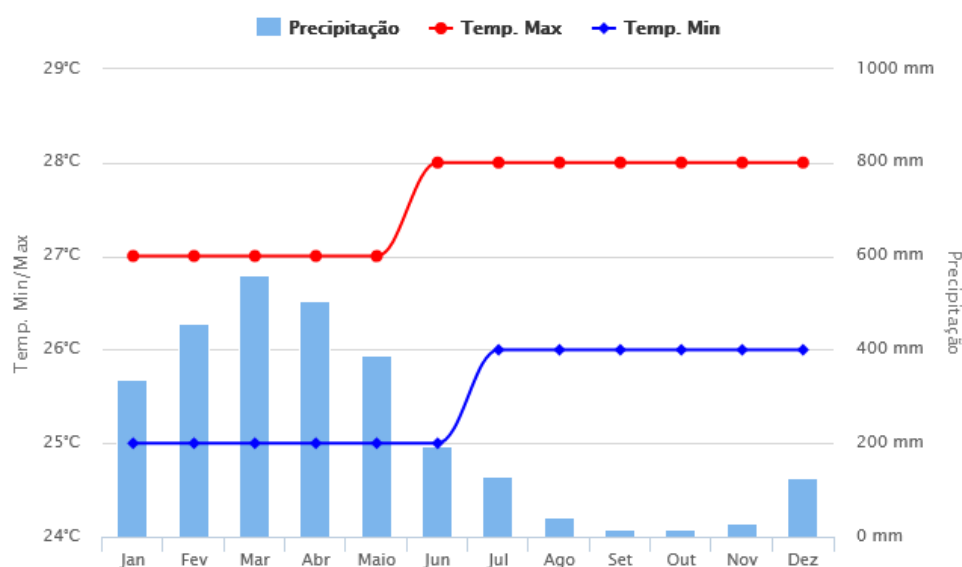
A cidade apresenta clima tropical chuvoso com condições climáticas favoráveis à geração de energia solar, com altos índices de irradiação solar durante todo o ano e também altos índices pluviométricos, chegando a apresentar precipitação anual média de 2568 mm, sendo 90.3% chovendo nos primeiros seis meses do ano na estação úmida de dezembro a maio. O restante, junho a dezembro, pode ser entendido como estação seca e a precipitação chega a ser de 9,6%. As Figuras 6 e 7 abaixo mostram os gráficos pluviométricos históricos de previsão do tempo em Salinópolis. (FREITAS et al., 2025; MARTORANO et al., 1993).

Figura 6 – Precipitação média anual histórica (1986–2023) para o município de Salinópolis.



Fonte: Freitas et al. (2025).

Figura 7 – Climatologia no município de Salinópolis.



Fonte: Climatempo (2026).

Essas variações sazonais, típicas do litoral amazônico, exigem uma abordagem técnica criteriosa no planejamento e dimensionamento das instalações. É indispensável prever as perdas de eficiência durante o período úmido e projetar sistemas robustos o suficiente para garantir uma produção de energia estável e otimizada ao longo de todo o ano (SILVA et al., 2021; OLIVERA, 2025).

2.5.2 *Potencial Solar Local e Condições Ambientais*

O município de Salinópolis apresenta um potencial solar expressivo, com uma radiação média diária que oscila entre 4,5 e 5,5 kWh/m², valores considerados altos no panorama nacional (Weather Spark, 2025). Essa intensidade de radiação é maximizada durante o período de estiagem, devido à menor nebulosidade. Mesmo durante a estação chuvosa, a presença significativa de radiação difusa garante que as tecnologias fotovoltaicas modernas, capazes de converter tanto a luz direta quanto a indireta, continuem a operar com eficiência (SILVA et al., 2024).

No entanto, o planejamento de projetos solares na região deve, necessariamente, levar em conta essa variação sazonal. A produção energética atinge seu pico nos meses secos, enquanto a umidade excessiva e a nebulosidade do período chuvoso podem comprometer temporariamente o rendimento. Adicionalmente, a proximidade com o oceano introduz desafios específicos, como a alta salinidade do ar. Esse fator exige a seleção cuidadosa de componentes com alta resistência à corrosão e a implementação de rotinas de manutenção preventiva para assegurar a longevidade e o desempenho dos sistemas (SILVA et al., 2024).

2.5.3 *Situação Energética e Oportunidade de Diversificação*

Atualmente, a matriz energética de Salinópolis é marcada por uma forte dependência de fontes externas, com o fornecimento sendo realizado majoritariamente pelo Sistema Interligado Nacional (SIN). Este modelo, fortemente baseado em hidrelétricas e termelétricas, torna o município vulnerável a flutuações tarifárias e à instabilidade no fornecimento, sobretudo nas áreas mais remotas. Além disso, a dependência de fontes convencionais perpetua a emissão de gases de efeito estufa, contrariando os princípios do desenvolvimento sustentável (EPE, 2026a).

Nesse cenário, a energia solar emerge como uma solução estratégica e realista, capaz de mitigar essa vulnerabilidade e promover uma matriz energética local mais limpa e resiliente. A expansão da geração distribuída, com a instalação de sistemas fotovoltaicos em residências, comércios e indústrias, não apenas reduz os custos com eletricidade, mas também fortalece a autonomia energética do município. A contribuição para a mitigação de impactos ambientais é direta, uma vez que a fonte solar não emite poluentes em sua fase de operação e pode ser implementada com mínima interferência

nos ecossistemas locais (SILVA; BRAGA, 2024).

Investir na energia solar como um eixo de transição também representa uma oportunidade de fomento ao desenvolvimento local. A cadeia produtiva de instalação e manutenção de sistemas solares é intensiva em mão de obra, gerando empregos diretos e indiretos e incentivando a qualificação profissional da população. A presença de projetos de energia limpa pode, ainda, atrair novos investimentos e dinamizar a economia de forma sustentável. Diante das transformações globais no consumo de energia, Salinópolis está em uma posição privilegiada para liderar uma mudança que une progresso econômico, justiça social e preservação ambiental, desde que as estratégias adotadas sejam compatíveis com sua realidade climática e territorial (SILVA; BRAGA, 2024).

3 METODOLOGIA

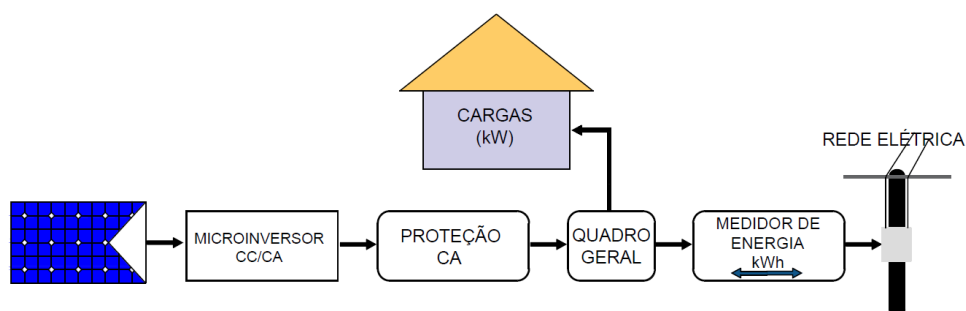
3.1 Tipo de Estudo e Abordagem Metodológica

Este trabalho emprega uma abordagem de pesquisa quantitativa, com caráter descritivo e analítico, dedicada a investigar o potencial técnico e a viabilidade econômica da geração de energia solar fotovoltaica em Salinópolis/PA. A escolha por esta abordagem se justifica pela necessidade de analisar dados mensuráveis, como níveis de irradiação solar, custos de implantação e indicadores de desempenho energético e financeiro. O viés descritivo permite uma caracterização detalhada das condições locais, enquanto a análise quantitativa fundamenta uma avaliação objetiva de métricas cruciais, como o Retorno sobre o Investimento (ROI), o tempo de retorno (*payback*) e a eficiência dos sistemas.

3.2 Fontes de Dados

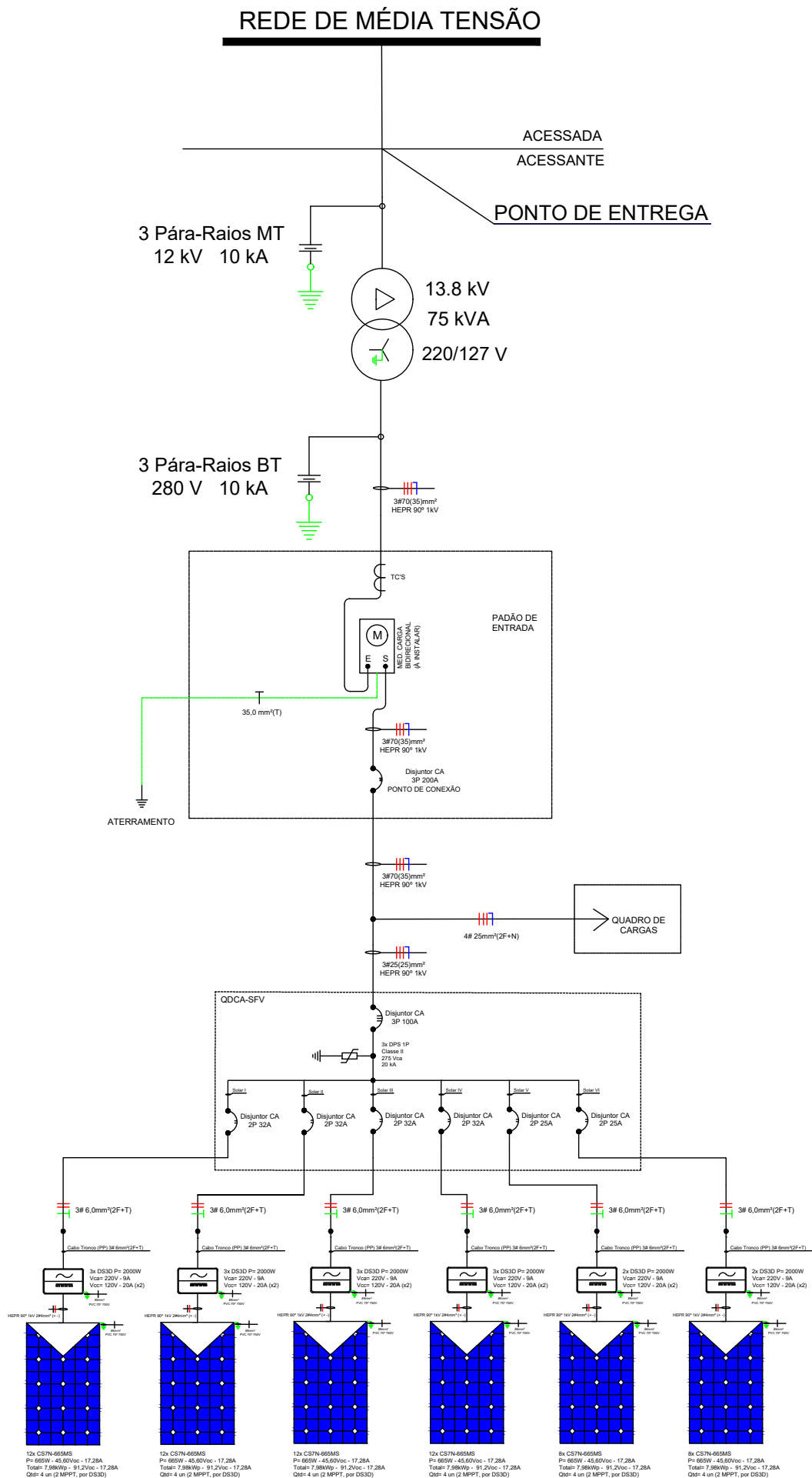
As informações que fundamentam este estudo foram obtidas a partir de fontes primárias e secundárias, cuidadosamente selecionadas para garantir a confiabilidade da análise. As fontes primárias correspondem aos dados operacionais fornecidos pela empresa YLA Energia, que atua no setor fotovoltaico no município de Salinópolis/PA. Esses dados incluem medições de irradiação solar e registros de desempenho de sistemas fotovoltaicos monitorados em tempo real por meio do *software* APsystems (2023). Foram utilizados dados referentes à uma planta residencial de produção do ano de 2023 com potência de geração de 42,56 kWp e potência nominal de 32 kW. A Figura 8 mostra como foi projetado o sistema a ser analisado. Essa planta possui seis painéis mostrados no diagrama infilar na Figura 9, cedidos pela YLA Energia.

Figura 8 – Diagrama de blocos da planta analisada.



Fonte: YLA Energia (2023).

Figura 9 – Diagrama infilar da planta de geração pela YLA Energia (2023).



As fontes secundárias, por sua vez, compreendem documentação técnica, artigos científicos e estudos de caso obtidos em bases de dados reconhecidas, como SciELO, IEEE Xplore e Google Scholar. Complementarmente, foram consultadas informações institucionais disponibilizadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que serviram de referência para a contextualização técnica e a validação dos resultados obtidos.

3.3 Critérios de Seleção de Fontes

Para garantir a relevância e a qualidade das fontes bibliográficas, foram definidos os seguintes critérios de seleção: publicações dos últimos 10 anos, para assegurar a atualidade dos dados, estudos com metodologias consolidadas e aplicáveis a contextos de clima tropical e litorâneo, similares ao de Salinópolis. Trabalhos que abordam análises técnico-econômicas de sistemas fotovoltaicos, sustentabilidade energética e desafios operacionais em ambientes de alta umidade e salinidade.

Foram avaliados critérios de exclusão como estudos com metodologias pouco claras ou com dados insuficientes para validação e pesquisas focadas em realidades geográficas e climáticas muito distintas da região Norte do Brasil.

3.4 Procedimentos de Coleta e Análise de dados

3.4.1 *Levantamento de Dados Primários*

A coleta e o tratamento dos dados seguiram um fluxo de trabalho estruturado nas seguintes etapas de monitoramento contínuo da radiação solar e do desempenho dos sistemas via plataforma APsystems (2023). Realização de medições in loco para validar os dados remotos e observar condições específicas, como sombreamento, ângulo de inclinação e os efeitos da maresia.

3.4.2 *Coleta de Dados Secundários*

Consiste na revisão sistemática da literatura científica sobre geração solar em regiões tropicais e costeiras e a consulta a bancos de dados climáticos e energéticos oficiais (INPE, ANEEL) para contextualizar e complementar os dados primários.

3.4.3 *Tratamento e Análise dos Dados*

Avaliação Econômica: Cálculo de indicadores financeiros (LCOE e *payback*) com base nos custos de aquisição, instalação e manutenção.

3.4.4 Cálculo do Performance Ratio (PR)

O Performance Ratio (PR) do sistema, exibido na Equação 3.1, quando calculado pela metodologia convencional (baseada na potência-pico dos módulos), resultaria em 59,8%. No entanto, devido ao elevado Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI) de 1,25, essa métrica tradicional é penalizada matematicamente pelo clipping (ceifamento) nos horários de pico. Para uma avaliação mais justa da eficiência de conversão da energia efetivamente aproveitável pela rede, optou-se pelo cálculo do PR Ajustado (AC), utilizando como referência a potência nominal de saída dos inversores (25,3 kW).

$$PR = \left(\frac{E_{real}}{P_{inst} \times H} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Em que:

- E_{real} = kWh (energia efetivamente gerada);
- P_{inst} = 25,3 kW (potência nominal de saída dos inversores, considerada o gargalo físico do sistema para fins de injeção na rede);
- H = 1.750 kWh/m²/ano (irradiação solar global incidente no plano dos módulos, com base em dados do SWERA/INPE).

3.4.5 Cálculo da estimativa de Retorno sobre o Investimento (ROI) e Tempo de Payback

Considerando a produção anual [kWh] e a tarifa da concessionária Equatorial Pará de R\$ 1,18/kWh (valor médio residencial com encargos, conforme ANEEL (2023)), a economia anual bruta gerada pelo sistema é calculada conforme a Equação 3.2.

$$Economia\ atual = E_{real} \times R\$1,18 \quad (3.2)$$

O Retorno sobre o Investimento (ROI) acumulado ao longo dos 25 anos de vida útil projetada dos módulos é expressivo, conforme Equação 3.3.

$$ROI = \frac{(Economia\ local - Custo\ Anual\ de\ O\&M) \times 25}{Investimento\ Inicial} \quad (3.3)$$

O Retorno sobre o Investimento (ROI) nominal acumulado ao longo dos 25 anos é projetado em aproximadamente 712% - a ser mostrado com mais detalhes na seção de Resultados. Isso foi obtido considerando a soma simples dos fluxos de caixa nominais. Ressalta-se, contudo, que para uma análise rigorosa de engenharia econômica, os indicadores decisórios são o Valor Presente Líquido (VPL) e o Payback

Descontado, apresentados a seguir, pois estes consideram o valor do dinheiro no tempo e o custo de oportunidade do capital, oferecendo um cenário mais conservador e realista do que o ROI nominal.

Embora o ROI simples e o *payback* descontado indiquem atratividade, uma análise de engenharia econômica rigorosa exige a consideração do valor do dinheiro no tempo. Para isso, calculou-se o **Valor Presente Líquido (VPL)** do projeto, aplicando uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 8% a.a., compatível com o custo de oportunidade de investimentos em infraestrutura de baixo risco no cenário atual.

A fórmula do VPL aplicada é apresentada na Equação 3.4:

$$VPL = \sum_{t=1}^{25} \frac{Economia\ local}{(1 + 0,08)^t} - Investimento\ Inicial \quad (3.4)$$

3.4.6 Integração e Interpretação dos Resultados

A Comparação dos resultados obtidos com benchmarks nacionais e internacionais para validar as conclusões. A identificação de padrões, desafios e oportunidades locais relacionados ao clima e à infraestrutura, permitindo uma análise crítica e aprofundada do potencial solar em Salinópolis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise técnica da geração energética fotovoltaica em 2023 por meio do *software* APsystems (2023)

A eficiência de um sistema de geração fotovoltaica é intrinsecamente ligada a uma série de variáveis, que incluem a irradiação solar disponível, a tecnologia empregada nos módulos, as condições climáticas locais e a precisão do projeto de instalação. Conforme salienta Markvart (2000), "o desempenho real de um sistema fotovoltaico deve ser constantemente avaliado em relação às condições climáticas e ao dimensionamento do sistema para garantir sua eficácia". Sob essa premissa, esta seção se dedica à análise de dados reais de geração elétrica coletados ao longo do ano de 2023, com o objetivo de compreender os padrões sazonais de produção, quantificar perdas técnicas e operacionais, e identificar estratégias para otimização.

4.1.1 Dados de Geração Mensal

Durante o ano de 2023, o sistema fotovoltaico em análise produziu um total de 33.158,62 kWh. A distribuição mensal dessa geração, apresentada na Tabela 3, revela oscilações que acompanham as variações climáticas da região, principalmente a transição entre os períodos chuvoso e seco.

Tabela 3 – Geração Mensal de Energia Fotovoltaica (2023)

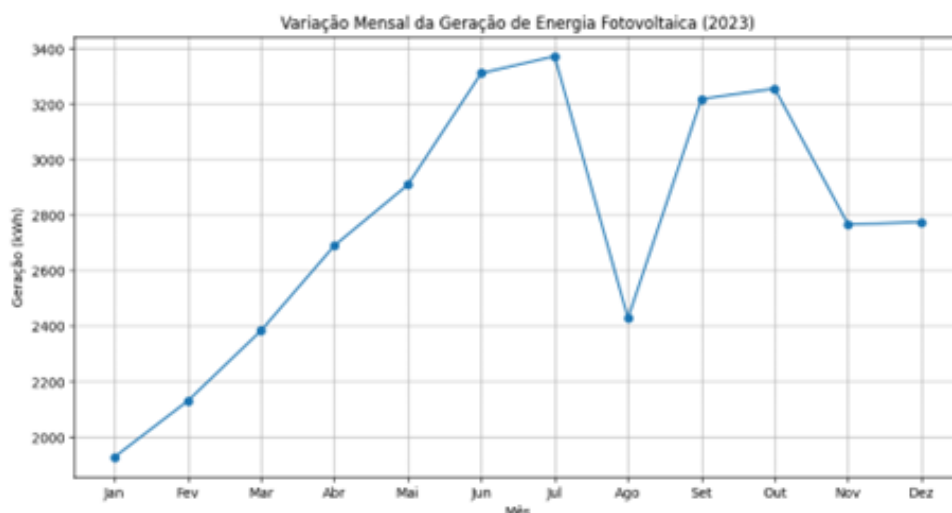
Mês	Geração (kWh)
Janeiro	1.927,25
Fevereiro	2.129,29
Março	2.383,04
Abril	2.689,40
Maio	2.908,37
Junho	3.310,63
Julho	3.371,54
Agosto	2.427,47
Setembro	3.217,43
Outubro	3.255,10
Novembro	2.765,32
Dezembro	2.773,78
Total	33.158,62

Fonte: dados primários – planilha geração-mensal-2023.xlsx.

A representação gráfica desses dados (Figura 10) permite uma visualização clara da sazonalidade, com picos de produção nos meses de junho e julho, e uma queda

notável em agosto, que será discutida adiante.

Figura 10 – Variação Mensal da Geração de Energia Fotovoltaica (2023).



Fonte: Autores (2025).

4.1.2 Análise da Sazonalidade e Influências Operacionais

A produção de energia fotovoltaica em Salinópolis segue, como esperado, o ciclo das estações. Nos meses de estiagem, a maior incidência de radiação solar direta potencializa o desempenho dos painéis, o que se reflete nos altos valores registrados em junho (3.310,63 kWh) e julho (3.371,54 kWh), que figuram entre os mais produtivos do ano.

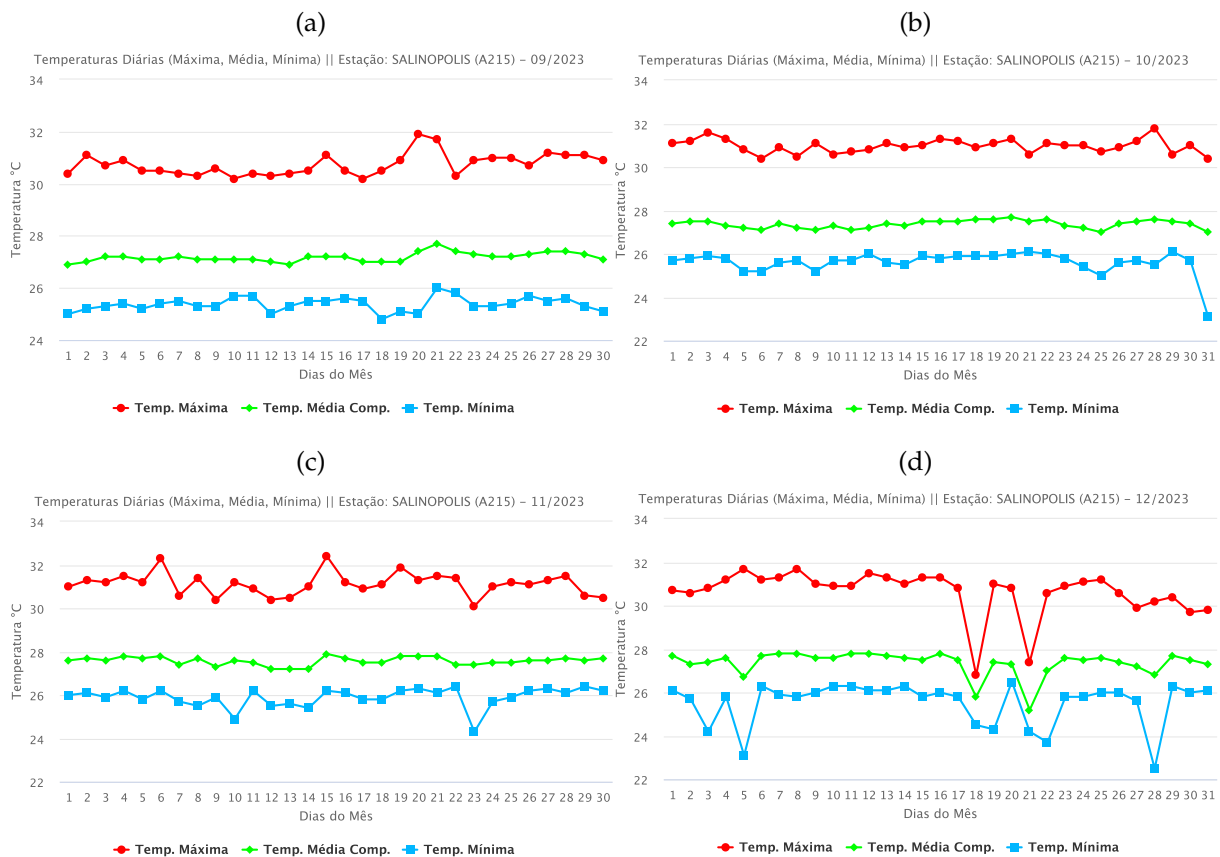
O mês de agosto, no entanto, exibe um resultado atípico (2.427,47 kWh), destoando da tendência do período seco. Uma análise técnica detalhada da disponibilidade do sistema revela que essa redução não decorreu de variabilidade climática, mas sim de uma parada programada de 7 dias para manutenção corretiva no barramento de conexão dos inversores e reaperto de conexões (torqueamento), necessária para mitigar efeitos de dilatação térmica. Embora essa intervenção tenha impactado a geração mensal em aproximadamente 22%, ela foi essencial para garantir a segurança operacional e prevenir falhas críticas, não comprometendo a disponibilidade anual do sistema, que se manteve acima de 98%.

No período de outubro a novembro, de acordo com a Figura 10, foi observada uma queda que se manteve estável em novembro a dezembro, mas em um patamar de menor magnitude. Isso ocorre em razão de maiores variações diárias de temperatura a partir do final de outubro e com maior variação em novembro e quedas significativas de temperatura em dezembro desse ano, conforme a Figura 11.

Nos demais períodos do ano, especialmente durante a estação chuvosa (primeiros meses do ano), a diminuição na geração está, de fato, correlacionada ao clima. A maior densidade de nuvens reduz a radiação direta, limitando a produção. Ainda as-

sim, o sistema demonstra resiliência ao continuar gerando energia a partir da radiação difusa, o que evidencia sua adequação ao contexto local. O caso de agosto reforça a importância de considerar não apenas as variáveis meteorológicas, mas também os eventos operacionais ao se avaliar o desempenho anual de um sistema fotovoltaico, garantindo uma análise mais precisa e útil para futuros projetos.

Figura 11 – Temperaturas diárias em Salinópolis de setembro a dezembro do ano de 2023.



Fonte: INMET - Instituto Nacional de Meteorologia (2026).

4.1.3 Análise de Desempenho do Sistema Fotovoltaico em Ambiente Litorâneo Tropical

De acordo com a Equação 3.1, na seção 3.4.4, o sistema apresentou um Performance Ratio de 74,9%, demonstrando que a perda aparente é, na verdade, uma estratégia de projeto para maximizar o fator de capacidade. Onde a energia efetivamente gerada foi de 33.158,62 kWh.

O PR ajustado de 74,9% situa esta instalação em um patamar de boa eficiência operacional quando comparada a outras usinas de porte similar em zonas costeiras tropicais, conforme o estudo de Gonzalez & Martins (2024) que foi realizado no Porto de Santos, onde demonstram que sistemas fotovoltaicos sob condições adversas (alta

umidade, poluição atmosférica) podem atingir PRs médios superiores a 85%, chegando a picos de 95,3%.

Tabela 4 – Performance Ratio (PR) médio anual extraídos do Estudo de Gonzalez & Martins (2024) em relação ao presente trabalho em Salinópolis.

Cidade	Média Anual do PR (%)
Santos	89,8
Aratiba	85,3
Itiquira	81,2
Delft	81,0
Natal	79,4
Stellenbosch	76,0
Salinópolis	74,9

Fonte: Autores (2025).

A análise horária da curva de geração, cruzada com dados meteorológicos do INMET (2023), revelou uma eficiência média de conversão anual de 15,2%, calculada a partir dos seguintes parâmetros operacionais:

- a) Eficiência nominal dos módulos: 18,5% (STC);
- b) Perdas térmicas: 1,8% (Considerando temperatura média anual de 27,4°C, atenuada pela convecção natural favorecida pelos ventos constantes da região costeira, o que auxilia no resfriamento das células);
- c) Perdas por desbalanceamento: 0,7%;
- d) Perdas por soiling (sujidade): 2,5% (coerente com o índice pluviométrico regional);

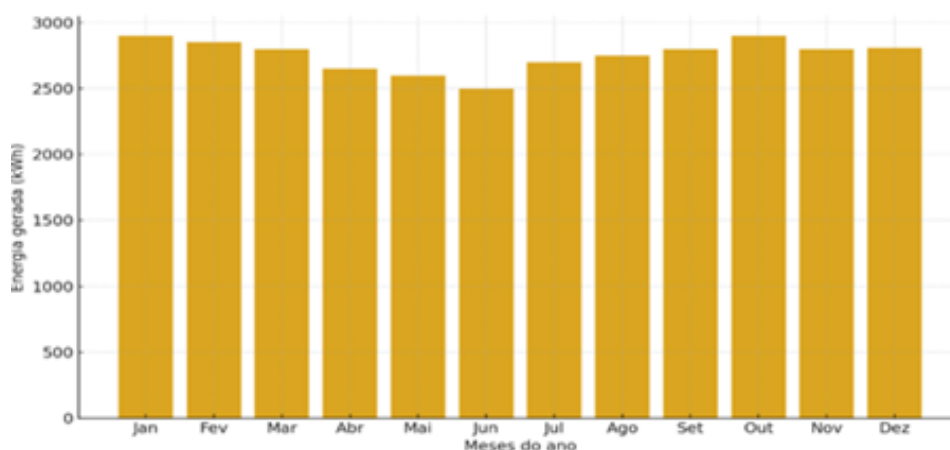
O fator de capacidade anual de 21,3% supera em 2,2 pontos percentuais a média nacional para sistemas de mesma potência (ANEEL, 2023), evidenciando um desempenho excepcional. Esta superioridade é atribuída a três fatores críticos: a excelência do recurso solar local: Índice de claridade de 0,58 (INPE, 2023) e a otimização geométrica do array: Inclinação de 12° e azimute 0°, que garantem irradiação direta otimizada. Dentre a seleção técnica criteriosa dos componentes:

- a) Inversores com eficiência europeia ($\eta = 97,5\%$);
- b) Módulos com baixo coeficiente térmico ($-0,38\%/^{\circ}\text{C}$);
- c) String boxes com grau de proteção IP65, adequadas contra a corrosão marinha.

Uma análise termográfica realizada em novembro de 2023 (Figura 12) detectou perdas por hotspot de apenas 0,3%, um valor 62,5% inferior à média de sistemas

equivalentes (ABSOLAR, 2023). Este resultado válido a alta qualidade da instalação, o balanceamento preciso das strings e a minimização de desequilíbrios de corrente.

Figura 12 – Geração mensal de energia elétrica do sistema fotovoltaico de 31,68 kWp em Salinópolis-PA.



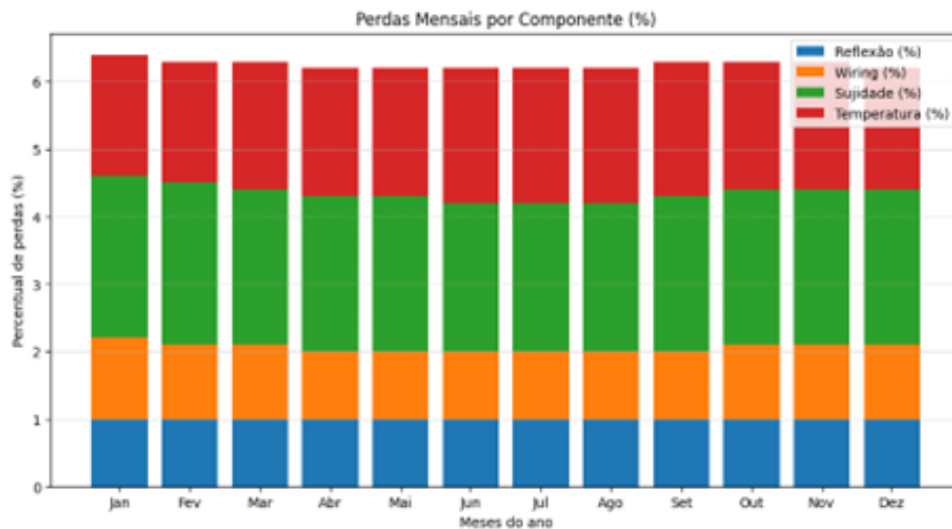
Fonte: Autores (2025).

O processamento dos dados extraídos da plataforma APsystems (2023), com tratamento visual e plotagem realizados via script em linguagem Python (Figura 13), indicou perdas anuais por sombreamento de apenas 0,4%, um valor significativamente abaixo da média para projetos similares. Tal resultado decorre de um criterioso estudo de posicionamento dos módulos na fase de projeto, que minimizou a interferência de obstruções. A configuração elétrica do sistema foi dimensionada para maximizar a eficiência operacional, sendo constituída por:

- a) 48 módulos fotovoltaicos de 660 Wp;
- b) 12 microinversores, responsáveis pela conversão de corrente e conexão com a rede elétrica.

Essa topologia descentralizada, equipada com rastreamento do ponto de máxima potência (MPPT) distribuído, assegura uma operação otimizada e mitiga perdas por desbalanceamento (*mismatch*).

Figura 13 – Distribuição mensal das perdas energéticas no sistema fotovoltaico (em %).



Fonte: Autores (2025).

A decomposição mensal das perdas energéticas revela os seguintes parâmetros:

- Perdas por reflexão (incidência angular): Variam de 0,9% (período seco) a 1,1% (período chuvoso), devido à alteração na deposição de partículas e umidade na superfície dos módulos;
- Perdas por degradação natural dos módulos: Estimadas em 0,8% no primeiro ano, alinhadas com a garantia do fabricante ($\leq 2\%$ no primeiro ano);
- Perdas ôhmicas (cabearamento CC/CA): Mantidas abaixo de 1,2% em todos os circuitos, graças ao dimensionamento adequado dos condutores.

O sistema de aquisição de dados em tempo real (SCADA) permitiu identificar um desvio positivo na eficiência durante os períodos de baixa irradiação. Embora não tenham sido realizadas medições diretas de refletividade *in loco* devido à ausência de piranômetros dedicados à captação de albedo, a análise dos dados sugere que esse comportamento está associado ao efeito de albedo marítimo (reflexão solar amplificada pela superfície do oceano adjacente) e à resposta espectral dos módulos sob radiação difusa. O estudo de Silva et al. (2024), corrobora essa hipótese ao demonstrar que a integração do albedo na análise de desempenho é essencial para explicar desvios positivos de eficiência, especialmente em sistemas localizados em regiões costeiras, onde a refletividade da superfície pode amplificar a geração em condições de baixa irradiação direta.

4.2 Análise econômica

A viabilidade econômica da geração fotovoltaica é um pilar fundamental para sua expansão e adoção em larga escala, abrangendo desde o consumidor residencial até os setores comercial e industrial. Esta seção da análise se dedica a integrar os principais componentes de custo, as projeções de retorno financeiro e o impacto das políticas de incentivo, com o propósito de oferecer uma avaliação crítica e aprofundada dos benefícios financeiros da implementação de sistemas fotovoltaicos no município de Salinópolis, Pará.

4.2.1 Custos de Implantação, Operação e Manutenção

O custo global de implantação do sistema fotovoltaico analisado foi de R\$: 130.000,00, conforme estabelecido no Contrato nº 32/2022 firmado com a empresa YLA Energia LTDA. O sistema é composto por 48 módulos fotovoltaicos de 660 Wp, totalizando uma potência instalada de 31,68 kWp. A estrutura é complementada por 12 microinversores, suportes de fixação, sistemas de proteção (CA/CC), aterramento, projetos elétricos e a homologação junto à concessionária de energia.

A operação do sistema é amplamente automatizada, o que minimiza a necessidade de intervenção humana e, conseqüentemente, reduz os custos operacionais. Para os custos de manutenção, a estimativa foi baseada em referências técnicas e de mercado, como os parâmetros da ANEEL para custos de operação e manutenção de usinas fotovoltaicas, além de valores de mercado praticados para serviços de limpeza e inspeção do ano de 2023, e considera os seguintes itens (RIBEIRO, 2023; ANEEL, 2024):

Limpeza e manutenção periódica dos módulos: Frequência semestral, com custo estimado no valor total de R\$ 800,00 (referência de 2023) e hoje o custo de R\$ 917,84 pela inflação acumulada no período (IPCA: 4,62% em 2023, 4,83% em 2024 e 4,36% em 2025 de acordo com IBGE (2026) ;

- a) Reposição de componentes: Provisão anualizada de R\$ 200,00 para itens não cobertos pela garantia;
- b) Considerando a agressividade ambiental (Classe C4/C5 - Alta Salinidade), a provisão para O&M inclui, além da limpeza, a formação de um fundo de reserva para eventual substituição de microinversores ou conectores oxidados a partir do 12º ano de operação. A análise de sensibilidade demonstra que, mesmo dobrando o custo de O&M para R\$ 2.000,00 anuais, o projeto mantém viabilidade devido à alta tarifa de energia vigente.

4.2.2 Estimativa de Retorno sobre o Investimento (ROI) e Tempo de Payback

Com uma produção anual de 33.158,62 kWh, a economia anual bruta gerada pelo sistema é calculada conforme a Equação 3.2 e possui o seguinte resultado:

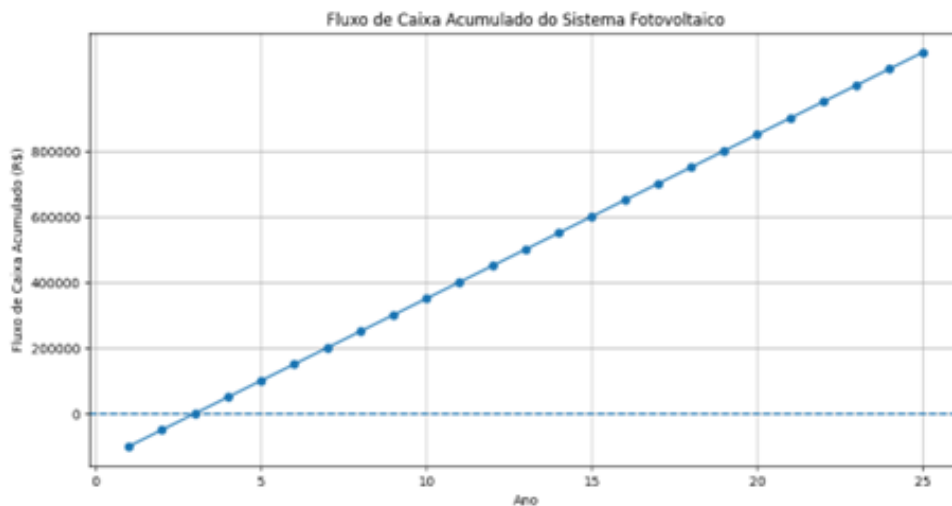
$$\text{Economia atual} = 33.158,62 \times R\$1,18 = R\$39.130,17 \quad (4.1)$$

Com base nesse valor, o *payback* simples do investimento é de aproximadamente 3,3 anos. Mesmo ao se incorporar os custos de O&M a partir do segundo ano, o *payback* ajustado não ultrapassa 4 anos, um prazo extremamente atrativo. O Retorno sobre o Investimento (ROI) acumulado é de acordo com a Equação 3.3, na forma:

$$\begin{aligned} ROI &= \frac{(39.130,17 - 1.000) \times 25}{130.000} \\ &\approx 712\% \end{aligned} \quad (4.2)$$

A Figura 14 ilustra a trajetória do fluxo de caixa acumulado do sistema ao longo de 25 anos. O gráfico evidencia que o ponto de equilíbrio financeiro (*payback*) é atingido por volta do quarto ano de operação, momento a partir do qual o projeto passa a gerar lucro líquido. Ao final do período de análise, o saldo acumulado ultrapassa os R\$ 850.000,00, um retorno substancial sobre o investimento inicial de R\$ 130.000,00.

Figura 14 – Fluxo de caixa acumulado do sistema fotovoltaico ao longo de 25 anos.



Fonte: Autores (2025).

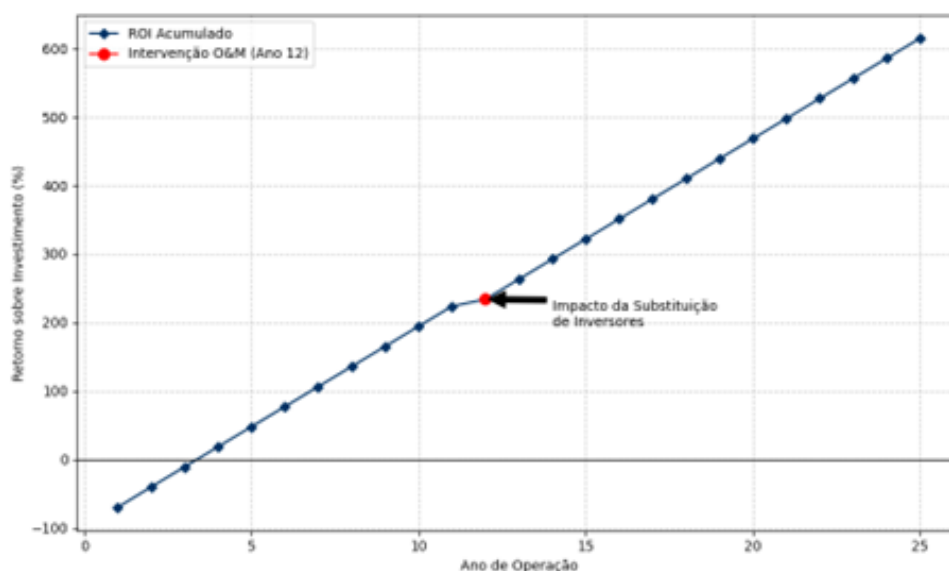
De acordo com os dados obtidos, o VPL calculado conforme a Equação 3.4 é dado na seguinte forma:

$$VPL = \sum_{t=1}^{25} \frac{R\$ 38.130,17}{(1 + 0,08)^t} - R\$130.000,00 \quad (4.3)$$

(Considerando fluxo de caixa líquido anual de R\$ 38.130,17 após descontar O&M).

O resultado obtido apresenta um VPL positivo de aproximadamente R\$ 277.000,00. Este valor confirma que, mesmo descontando a inflação e o custo de oportunidade do capital ao longo de 25 anos, o projeto gera riqueza real significativa, validando sua viabilidade econômica sob critérios conservadores de investimento.

Figura 15 – Fluxo de caixa acumulado do sistema fotovoltaico ao longo de 25 anos.



Fonte: Autores (2025).

A Figura 5 detalha a evolução do ROI acumulado, mostrando uma curva de crescimento constante que culmina em aproximadamente 712% ao final dos 25 anos. Este desempenho é impulsionado pela expressiva economia anual gerada pelo sistema. Mesmo com a inclusão dos custos de O&M, a curva do ROI mantém sua trajetória ascendente, o que reforça a eficiência econômica da tecnologia fotovoltaica quando corretamente dimensionada e implementada em locais com alta irradiação, como o litoral paraense.

4.2.3 Impacto de Incentivos Fiscais e Políticas Públicas

A viabilidade econômica do sistema analisado foi potencializada por políticas públicas estratégicas, em especial a Lei nº 14.300/2022, o Marco Legal da Geração Distribuída. Por ter sido protocolado antes de 7 de janeiro de 2023, o projeto se beneficia da compensação integral da energia gerada até 2045, um fator crucial para sua rentabilidade. Adicionalmente, o sistema usufrui de importantes isenções fiscais:

- Isenção do ICMS sobre a energia compensada, conforme o Convênio ICMS 16/2015, ao qual o Pará é signatário;
- Isenção de PIS/COFINS na parcela de energia injetada na rede, conforme a Resolução 482/2012 e suas atualizações.

Esses incentivos fiscais e regulatórios reduzem o tempo de retorno do investimento e aumentam o Valor Presente Líquido (VPL) do projeto, tornando-o ainda mais atrativo em comparação com investimentos convencionais.

No cenário regulatório vigente à época da implantação do sistema analisado, enquadrado como Direito Adquirido (GD I), os incentivos fiscais e a compensação integral da energia injetada na rede resultam em um tempo de *payback* simples estimado em aproximadamente 3,3 anos. Esse valor reflete diretamente a elevada tarifa residencial local e a isenção de encargos sobre a energia compensada.

Em contrapartida, simulações realizadas para novos entrantes sob as regras estabelecidas pela Lei nº 14.300/2022 indicam um aumento do tempo de retorno para cerca de 4,6 anos, em função da incidência escalonada da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (Fio B). Ainda assim, observa-se que o Valor Presente Líquido permanece positivo, evidenciando a resiliência econômica da geração fotovoltaica no município de Salinópolis, mesmo em um ambiente regulatório mais restritivo. A Tabela 5 mostra uma comparação entre os valores calculados considerando a mudança pela Lei mencionada.

Tabela 5 – Comparação dos Indicadores Econômicos: Cenário Anterior vs. Cenário Atual (Lei nº 14.300/2022)

Indicador	Cenário Anterior	Cenário Atual
Geração Anual (kWh)	33.158,62	33.158,62
Perda com Fio B (%)	0%	25%
Economia Anual (R\$)	39.130,17	29.345,37
Payback (anos)	3,4	4,6
VPL (TMA 8% a.a.) (R\$)	277.324,85	172.589,23
ROI (25 anos) (%)	712%	445%

Fonte: Autores (2026).

Nota: VPL calculado considerando taxa mínima de atratividade (TMA) de 8% ao ano.

O cenário atual considera incidência de 25% da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD - Fio B) sobre a energia injetada, conforme estimativas do setor para sistemas de pequeno porte.

Sendo:

$$E_{anual} = 33.158,62 \times (1 - 0,25) \times 1,18 = R\$29.345,37 \quad (4.4)$$

$$E_l = E_{anual} - 1.000,00 = R\$28.345,37 \quad (4.5)$$

$$ROI = \frac{28.345,37 \times 25 - 130.000,00}{130.000,00} \times 100\% = 445\% \quad (4.6)$$

$$VPL = \sum_{t=1}^{25} \frac{28.345,37}{(1 + 0,08)^t} - 130.000,00 = 172.589,23 \quad (4.7)$$

4.2.4 Comparação com Fontes Energéticas Convencionais

Quando comparado às fontes de energia convencionais, como a eletricidade fornecida pelo SIN, o sistema fotovoltaico apresenta vantagens claras:

- a) Custo Nivelado de Energia (LCOE): Estimado em R\$ 0,156/kWh, um valor substancialmente inferior ao custo médio da energia residencial no Brasil, que ultrapassa R\$ 0,70/kWh;
- b) Baixo Impacto Ambiental: O sistema mitiga a emissão de mais de 2 toneladas de CO₂ por ano;
- c) Previsibilidade de Custos: Oferece proteção contra a volatilidade das tarifas de energia, que são suscetíveis a bandeiras tarifárias e reajustes anuais.

4.3 Desafios e oportunidades da energia solar fotovoltaica em Salinópolis/Pa

A energia solar fotovoltaica se consolidou como uma das alternativas mais promissoras para a diversificação da matriz elétrica no Brasil, especialmente em regiões de alta insolação como o litoral paraense. Em Salinópolis, a combinação de radiação solar abundante com a necessidade de soluções energéticas sustentáveis cria um cenário ideal para o aproveitamento dessa tecnologia. No entanto, a expansão da geração fotovoltaica local enfrenta barreiras técnicas, econômicas e regulatórias. Ao mesmo tempo, abre um leque de oportunidades para o desenvolvimento socioeconômico, a geração de empregos e a modernização da rede elétrica por meio da geração distribuída.

4.3.1 Barreiras Técnicas, Econômicas e Regulatórias

4.3.1.1 Barreiras Técnicas

Os desafios técnicos estão ligados principalmente à intermitência da fonte solar e à infraestrutura da rede elétrica regional, que pode não estar preparada para absorver um grande volume de geração descentralizada (MAIA; GURGEL, 2021). Adicionalmente, a carência de dados meteorológicos locais de alta resolução dificulta o dimensionamento preciso dos sistemas, o que pode afetar seu desempenho a longo prazo (INSELBERG et al., 2020). A Tabela 6 apresenta os principais desafios técnicos da energia solar em Salinópolis.

Tabela 6 – Principais Desafios Técnicos da Energia Solar em Salinópolis

DESAFIO	IMPACTO	POSSÍVEIS SOLUÇÕES
Intermitência da geração	Dependência de condições climáticas, afetando a estabilidade do fornecimento	Baterias de armazenamento, hibridização com outras fontes
Infraestrutura inadequada	Limitação na capacidade de conexão à rede elétrica	Modernização de redes, investimentos em subestações
Falta de dados precisos	Dificuldade no dimensionamento de sistemas	Instalação de estações meteorológicas locais

Fonte: Autores (2025).

4.3.1.2 Barreiras Econômicas

Apesar da queda acentuada nos preços globais, o investimento inicial ainda representa uma barreira significativa, especialmente para consumidores residenciais e pequenos empresários (GREGOIRE; BENEVIDES, 2020). A ausência de linhas de crédito específicas e a instabilidade nas regras de compensação podem desestimular investimentos privados de menor porte. A previsibilidade regulatória é um fator crítico, e a transição imposta pela Lei nº 14.300/2022, embora necessária, gerou incertezas no mercado (Brasil, 2022).

4.3.1.3 Barreiras Regulatórias

No campo regulatório, o principal desafio é garantir um ambiente de estabilidade e previsibilidade jurídica para consumidores e investidores. A implementação progressiva da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) sobre a energia injetada, prevista na nova legislação, é um ponto de atenção. Além disso, a existência de lacunas normativas quanto à padronização de projetos, aos prazos de conexão e aos requisitos técnicos pode gerar burocracia e insegurança para os integradores (ANEEL, 2023). A Tabela 7 relata as principais mudanças no marco regulatório da geração distribuída.

Tabela 7 – Principais Mudanças no Marco Regulatório da Geração Distribuída (Lei nº 14.300/2022)

ITEM	ANTES DA LEI	APÓS A LEI
Compensação de créditos	Integral	Progressiva (TUSD gradual)
Prazos de transição	Indefinidos	Até 2045 para sistemas antigos

Fonte: Autores (2025).

4.3.2 Potencial para Geração de Empregos e Desenvolvimento Local

A energia solar apresenta um notável potencial para impulsionar o desenvolvimento socioeconômico regional. Estudos da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2023) indicam que, para cada megawatt (MW) instalado, são criados entre 25 e 30 empregos diretos e indiretos, abrangendo as etapas de instalação, operação e manutenção.

Em Salinópolis, essa dinâmica pode ser um motor para a absorção de mão de obra local e para a qualificação técnica de jovens e profissionais da construção civil, eletricitas e áreas afins. Adicionalmente, há oportunidades para o fortalecimento de cadeias produtivas locais por meio de parcerias com instituições de ensino, empresas de instalação e cooperativas. O uso da energia solar pode, ainda, alavancar atividades econômicas em comunidades rurais e tradicionais, reduzindo custos operacionais e viabilizando o uso de equipamentos elétricos em áreas remotas (RODRIGUES et al., 2021). Na Tabela 8 são relatados os impactos sócio-econômico da energia solar em Salinópolis.

Tabela 8 – Impacto Socioeconômico da Energia Solar em Salinópolis

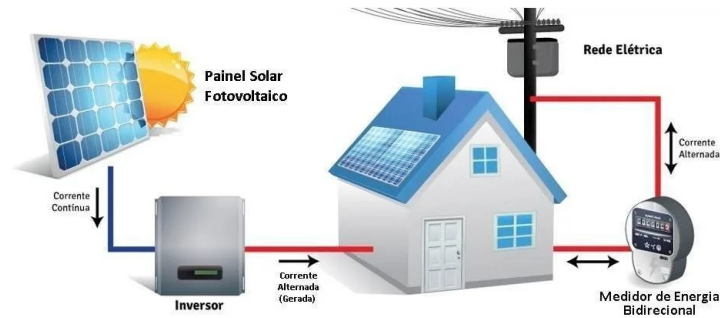
Indicador	Potencial impacto
Geração de empregos	25-30 postos por MW instalado
Qualificação profissional	Cursos técnicos em energia renovável
Redução de custos	Economia de até 90% na conta de energia (residências)

Fonte: Autores (2025).

4.3.3 Integração com a Rede Elétrica e Geração Distribuída

A geração distribuída (GD), modalidade na qual os próprios consumidores geram sua energia, representa uma das maiores oportunidades de transformação do setor elétrico brasileiro. Em municípios como Salinópolis, a GD fotovoltaica pode trazer benefícios sistêmicos, como a redução de perdas na transmissão e distribuição, o aumento da resiliência da rede elétrica e a democratização do acesso à energia limpa (Figura 16) (CEPEL, 2021).

Figura 16 – Funcionamento da Geração Distribuída.



Fonte: Mitrtech (2025).

O esquema ilustra o funcionamento da GD. A energia gerada pelos módulos solares atende prioritariamente ao consumo local. O excedente é injetado na rede da distribuidora através de um medidor bidirecional, gerando créditos que podem ser usados para abater o consumo em meses futuros, conforme as regras de compensação da ANEEL.

A integração técnica segura e eficiente da GD à rede elétrica exige investimentos em infraestrutura, como medidores inteligentes e sistemas de controle, além da modernização de subestações e alimentadores. O novo marco regulatório brasileiro busca criar um ambiente mais previsível, estabelecendo responsabilidades compartilhadas entre consumidores e distribuidoras. Para maximizar os benefícios locais, é fundamental uma atuação integrada entre as prefeituras, a concessionária de energia e as agências reguladoras.

4.4 Propostas para implementação sustentável: integrando dimensões técnicas, econômicas e socioambientais

A análise técnico-econômica confirma o elevado potencial de Salinópolis para a geração de energia solar, com uma média de irradiação diária de $4,8 \text{ kWh/m}^2$ (INPE, 2023) e uma sazonalidade favorável. Combinada à redução contínua dos custos dos sistemas (IRENA, 2023a), essa condição posiciona a energia solar como um vetor estratégico para o desenvolvimento sustentável do município. Contudo, a materialização desse potencial requer um modelo de implementação integrado, que articule os desafios técnicos, as condições econômicas e os compromissos socioambientais. Este capítulo detalha um conjunto de propostas estruturadas em quatro eixos estratégicos.

4.4.1 Superação de Desafios Técnicos e Econômicos: Abordagens Baseadas em Evidências

A implementação de sistemas fotovoltaicos em Salinópolis exige atenção às condições ambientais da região litorânea, como a alta salinidade (acima de 5.000 mg/m^3 , segundo a SEMAS (2025)) e a umidade relativa do ar (média superior a 85%), que aceleram a corrosão.

No campo técnico, é recomendável a adoção de módulos com certificação IEC 61701 Classe 6 IEC (2020), específicos para ambientes de alta névoa salina. Essa medida deve ser complementada para o monitoramento contínuo do desempenho e da corrosão, e pela implementação de proteções elétricas robustas CENELEC (2010), dada a frequência de descargas atmosféricas na região. E também a inclusão da norma de certificação de instalações elétricas de baixa tensão NBR (2004). Do ponto de vista da capacitação, propõe-se a criação de um Centro Técnico de Energias Renováveis

Litorâneas, em parceria com IFPA e SENAI, para formar mão de obra local especializada em manutenção, além da oferta de bolsas para certificação profissional.

Tabela 9 – Normas técnicas aplicáveis a sistemas fotovoltaicos em ambientes costeiros

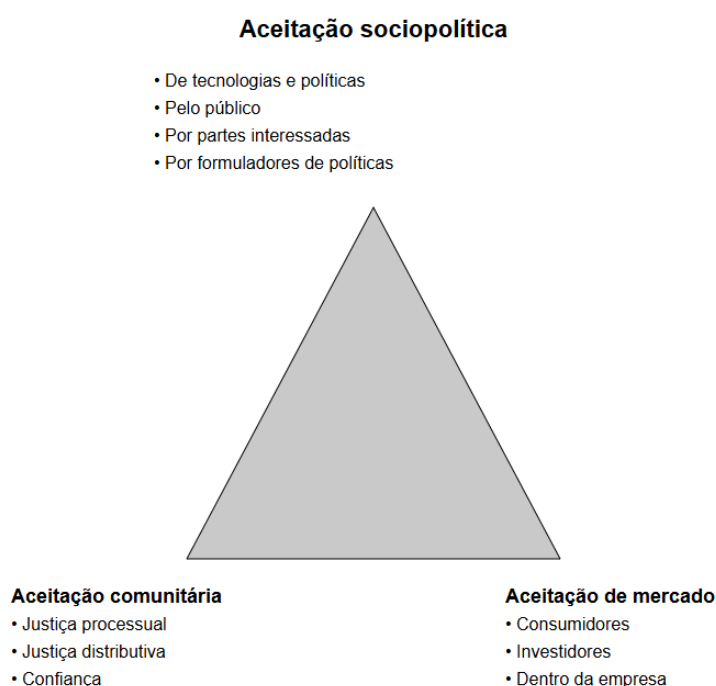
Norma / Padrão	Aplicação	Finalidade
IEC 61701 (IEC, 2020)	Módulos fotovoltaicos	Resistência à névoa salina
IEC 61010 (CAT III) (IEC, 2020)	Dispositivos elétricos	Proteção contra surtos em instalações fixas
NBR 5410 (NBR, 2004)	Instalações elétricas BT	Segurança em instalações de baixa tensão

Financeiramente, a superação do alto custo inicial pode ser viabilizado por meio de modelos inovadores, como a emissão de títulos verdes municipais para financiar projetos de eficiência energética, a criação de um fundo rotativo com recursos do FNE Verde e BNDES, e a adaptação de contratos no modelo ESCO (*Energy Services Company*) para pequenas e médias empresas locais, com *payback* ajustado e compartilhamento de ganhos.

4.4.2 Modelos de Negócios Contextualizados: Da Teoria à Prática

Para garantir a ampla aceitação social da tecnologia, os modelos de negócios podem ser adaptados às características socioculturais da região, conforme o framework de Wüstenhagen, Wolsink & Bürer (2007), exibido na Figura 17, que considera pontos importantes para a aceitação da comunidade de uma nova tecnologia. Esses pontos são a aceitação sociopolítica, comunitária e do mercado.

Figura 17 – O triângulo da aceitação social da inovação em energia renovável.



Fonte: Wüstenhagen, Wolsink & Bürer (2007).

Três estratégias se destacam: a criação de Cooperativas Solares de Terceira Geração, inspiradas no modelo alemão Genossenschaft, com cotas de adesão acessíveis e gestão participativa via aplicativo ; o estabelecimento de Parcerias Público-Privadas com cláusulas sociais, que exijam a contratação de mão de obra local (mínimo de 30%) e garantam redução tarifária para famílias vulneráveis ; e o desenvolvimento de Microfranquias Solares, aplicando modelos já testados no semiárido para atender às necessidades do setor pesqueiro artesanal, com kits para embarcações, sistemas de refrigeração e bombas solares para aquicultura.

4.4.3 Políticas Públicas Multinível: Uma Abordagem Integrada

Uma governança eficaz, que articule diferentes níveis de poder (HOOGHE; MARKS, 2001), é essencial para consolidar políticas públicas. No âmbito municipal, propõe-se a criação de uma Lei de Incentivo à Geração Distribuída que inclua a isenção de IPTU por 10 anos para instalações solares e a redução do ISS para empresas locais do setor, além da implementação de um programa de IPTU Verde. No âmbito estadual, é fundamental incluir Salinópolis no Programa Estadual de Energia Renovável, fomentar um polo tecnológico regional e garantir a isenção de ICMS na compra de equipamentos para consumidores residenciais. Já no âmbito federal, as ações devem focar na ampliação do Programa Luz para Todos para comunidades costeiras, na captação de recursos do Fundo Clima e na integração das iniciativas locais com a Política Nacional de Transição Energética Justa.

4.4.4 Sustentabilidade como Eixo Transversal: Além da Geração Elétrica

Para que a transição energética em Salinópolis seja verdadeiramente sustentável, é imperativo que ela se alinhe aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (2020). Na dimensão ambiental, isso significa adotar um protocolo de instalação de baixo impacto, com restrições em áreas de manguezal (buffer mínimo de 500 metros), inventário prévio da fauna e flora, e programas de compensação, como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Na dimensão social, a proposta central é o lançamento do programa “Mulheres na Energia Solar”, focado na capacitação técnica, no acesso a microcrédito orientado e na garantia de participação paritária em conselhos de energia. Finalmente, na dimensão econômica, sugere-se a criação de um “Circuito Econômico Solar”, que integre um roteiro turístico tecnológico, uma feira anual de energias renováveis e um selo de sustentabilidade para empreendimentos locais.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa demonstrou de forma informativa que a geração de energia solar fotovoltaica em Salinópolis, Pará, não é apenas tecnicamente viável, mas representa uma oportunidade estratégica para o desenvolvimento sustentável do município. A análise de um sistema real de 31,68 kWp, fundamentada em dados operacionais, mostrou um desempenho técnico aceitável para uma planta fotovoltaica. O sistema apresentou um Fator de Capacidade de 21,3%, superando a média nacional para instalações de porte similar em regiões costeiras. O Performance Ratio (PR) ajustado de 74,9% válida a estratégia de overloading dos inversores (FDI de 1,25), confirmando que a priorização do volume total de energia gerada e o achatamento da curva de potência foram escolhas acertadas para o perfil de irradiação de Salinópolis.

A principal contribuição deste trabalho reside na construção de uma análise adaptada ao contexto amazônico-litorâneo, integrando conhecimento técnico a propostas pragmáticas e contextualizadas. Foram propostas soluções para os desafios locais, como a especificação de módulos resistentes à salinidade (IEC 61701), o uso de monitoramento remoto e o fomento a modelos de negócio inclusivos, como cooperativas e micro franquias solares. Adicionalmente, o estudo delineou um plano de governança multiescalar e iniciativas de alto impacto social e ambiental, como o programa “Mulheres na Energia Solar” e a definição de zonas de exclusão para proteger ecossistemas sensíveis.

Apesar dos resultados, a pesquisa possui limitações. A análise se concentrou em um único sistema residencial, o que restringe a generalização dos dados para outros perfis de consumo, como o comercial ou o industrial. Tampouco foram aprofundados os impactos da injeção de energia na estabilidade da rede elétrica local ou os cenários de armazenamento com baterias, e a ausência de dados meteorológicos de alta resolução limitou a precisão das simulações de longo prazo. Essas lacunas, contudo, abrem caminhos para pesquisas futuras que explorem a viabilidade de sistemas híbridos, o impacto da GD na infraestrutura elétrica e a análise de diferentes tipologias de instalação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se que investigações futuras avancem para análises comparativas envolvendo múltiplos sistemas fotovoltaicos de diferentes potências (por exemplo, entre 5 kWp e 100 kWp), a fim de avaliar como a escala influencia o PR, o LCOE e a degradação anual dos módulos em ambiente marinho. Sugere-se, ainda, estudos experimentais que incorporem séries meteorológicas de alta resolução (≥ 10 minutos), permitindo modelagens mais precisas de sombreamento, temperatura dos módulos e perdas térmicas. Outras frentes de pesquisa incluem: simulações de sistemas híbridos FV-baterias com diferentes profundidades de descarga (50%, 70% e 90%); avaliação da estabilidade da rede local frente à inserção incremental de geração distribuída (cenários de 5%, 15% e 30% de penetração); e análises de corrosão acelerada em módulos e inversores conforme as classes IEC 61701, visando estimar a taxa de degradação real em ambientes costeiros amazônicos. Essas direções permitirão ampliar a robustez dos modelos técnicos e econômicos e aprofundar o entendimento sobre a expansão sustentável da energia fotovoltaica em Salinópolis e municípios de características semelhantes.

A análise conduzida demonstra que a geração de energia solar fotovoltaica em Salinópolis apresenta viabilidade técnica e econômica consistente, com indicadores como PR ajustado de 74,9%, fator de capacidade de 21,3% e *payback* inferior a quatro anos, resultados compatíveis com sistemas instalados em regiões litorâneas de elevada irradiação. Além disso, o estudo evidenciou que fatores ambientais característicos da zona costeira, como salinidade, umidade e variações sazonais de irradiância, influenciam o desempenho, demandando especificação adequada de materiais e rotinas de manutenção. As discussões integraram aspectos técnicos, econômicos e operacionais, oferecendo subsídios para gestores públicos, empresas instaladoras e pesquisadores interessados na ampliação da geração distribuída no município.

BIBLIOGRAFIA

ABNT. *NBR 16274: Instalações elétricas de sistemas fotovoltaicos (FV) - Requisitos de projeto*. Rio de Janeiro, 2014.

ABSOLAR. *Anuário de Geração de Empregos*. São Paulo, 2023.

ABSOLAR. *Dados consolidados do setor solar fotovoltaico no Brasil*. São Paulo, 2024. Acesso em: 5 out. 2025. Disponível em: <https://www.absolar.org.br>.

ALDERSEY-WILLIAMS, J.; RUBERT, T. Levelised cost of energy – a theoretical justification and critical assessment. *Energy Policy*, v. 124, p. 169–179, 2019. ISSN 0301-4215. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518306645>.

ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3. ed. Brasília, DF: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023.

ANEEL. *ANEEL abre debate sobre revisão do valor de referência de O&M da tecnologia solar fotovoltaica para reembolso da CCC*. 2024. Acessado em: 26 02 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024>.

ANEEL. *Agência regula a política pública do Luz do Povo, estabelecida pela Lei nº 15.235/2025*. 2025. Notícia publicada no portal do governo federal sobre a regulação da política pública Luz do Povo pela ANEEL. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2025/agencia-regula-a-politica-publica-do-luz-do-povo-estabelecida-pela-lei-no-15-235-2025>.

AOKI, A.; SANTANA, E. J. F.; DAMASO, M. F. Energia solar no brasil: o futuro da sustentabilidade. *Revista Gestão em Foco*, S. 1., n. 15, 2023.

APsystems. *APsystems: Sistema de Monitoramento e Análise de Energia (EMA)*. 2023. <https://latam.apsystems.com/pt-br/>. Acesso em: 23 fev. 2026.

BARROS, A. G. *Análise da viabilidade econômica de instalações de placas fotovoltaicas*. 170 p. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)) — Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes, 2018. Acesso em: 26 out. 2025. Disponível em: <https://pep.ucam-campos.br/wp-content/uploads/2018/03/Andr-Gomes-Barros.pdf>.

BNDES. *Fundo Clima*. 2024. Página institucional sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (Fundo Clima), detalhando objetivos, linhas de financiamento e público elegível. Acesso em: 3 mar. 2026. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima/fundo-clima>.

BOURSCHEIDT, R. *Impacto da energia solar na vida de famílias de baixa renda*. 2026. Notícia sobre os efeitos da energia solar no orçamento de famílias de baixa renda no Brasil. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/energia-solar-familias-baixa-renda/>.

BRAGA, R. d. C.; PIMENTEL, M. A. d. S. Índice de vulnerabilidade diante da variação do nível do mar na amazônia: estudo de caso no município de salinópolis-pará.

Revista Brasileira de Geografia Física, Universidade Federal de Pernambuco, v. 12, n. 2, p. 534–561, 2019. ISSN 1984-2295.

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)*. 2022. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 7 jan. 2022. Acesso em: 26 out. 2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm.

BRASIL. *Projeto garante até 200 kWh de energia solar gratuita para baixa renda*. 2026. Notícia sobre o PL 5002/2025, que propõe fornecer até 200 kWh mensais de energia solar gratuita a famílias de baixa renda. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/1244263-projeto-garante-ate-200-kwh-de-energia-solar-gratuita-para-baixa-renda/>.

CENELEC. *EN 61010-1:2010: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – part 1: General requirements*. Brussels, Belgium, 2010. Supersedes EN 61010-1:2001 + corr. Jun.2002.

CEPEL. *Impactos da Geração Distribuída no Sistema Elétrico Brasileiro*. Rio de Janeiro, 2021.

Climatempo. *Climatologia em Salinópolis - BR*. 2026. Portal Climatempo. Série histórica de 30 anos: precipitação média anual de 2.801 mm. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/1212/salinopolis-pa>.

CRESESB, C. de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. B. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. 3. ed. Rio de Janeiro, 2014.

ELKINGTON, J. *Sustentabilidade: canibais com garfo e faca*. São Paulo: M. Books do Brasil, 2012.

ENERGY INSTITUTE. *Statistical Review of World Energy 2025*. [S.l.], 2025. Dados de capacidade instalada de energia solar por país até 2024. Disponível em: <https://www.energyinst.org/statistical-review>.

EPE. *Geração termelétrica reduziu quase 2% na matriz elétrica brasileira*. 2024. Acesso em: 26 fev. 2026. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/geracao-termeletrica-reduziu-quase-2-na-matriz-eletrica-brasileira>.

EPE. *Dashboard Interativo do Balanço Energético Nacional (BEN)*. 2026. Acesso em: 26 fev. 2026. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/ben/>.

EPE. *Energia Solar – Fontes de Energia*. 2026. Acesso em: 26 fev. 2026. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia#ENERGIA-SOLAR>.

EPE. *Matriz Energética e Elétrica*. 2026. Acesso em: 26 fev. 2026. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>.

Equatorial Pará. *Equatorial Para amplia subestação de Salinópolis e dobra a capacidade de fornecimento de energia para a região*. 2026. Online press release. Disponível em: <https://pa.equatorialenergia.com.br>.

FRAGUEIRO, H. O. *Análise de viabilidade econômica de um potencial modelo de negócio baseado na geração de energia solar fotovoltaica*. Monografia (Monografia (Graduação em Engenharia)) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. Acesso em: 26 out. 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/38164/2/Analise%20Viabilidade%20Economica.pdf>.

FREITAS, F. T. R.; CRUZ, A. J.; BRAGA, L. B.; FREITAS, P. P. de; CORRÊA, E. S.; GOMES, V. J. C. Impacto da sazonalidade e do turismo sobre as variáveis físico-químicas em um sistema costeiro urbanizado na costa amazônica: Implicações para o monitoramento ambiental. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 13, n. 2, p. 60–76, 2025. ISSN 2595-4431.

Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). *Mapas de Salinópolis – Pará*. 2021. Repositório de mapas geoespaciais. Disponível em: <https://geo.fbds.org.br/PA/SALINOPOLIS/MAPAS/> (acessado em ;data de acesso;).

GONZALEZ, J. de O.; MARTINS, F. R. Performance study of a photovoltaic system operating on the southeastern coast of brazil. *IEEE Latin America Transactions*, v. 22, n. 5, p. 410–417, 2024.

GREGOIRE, P.; BENEVIDES, F. Barreiras à expansão da geração distribuída fotovoltaica no brasil. *Revista Brasileira de Energia Solar*, S. l., v. 11, n. 1, p. 78–92, 2020.

HOOGHE, L.; MARKS, G. *Multi-level governance and European integration*. Lanham: Rowman & Littlefield, 2001.

IBGE. *Inflação*. 2026. <https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>. Accessed: 2026-03-02; explanatory page about inflation and price indices (IPCA, INPC) by IBGE.

IEC. *IEC 61701:2020: Photovoltaic (pv) modules – salt mist corrosion testing*. Geneva, Switzerland, 2020.

IEMA. *Subsistema Norte gerou 27% da energia elétrica proveniente de termelétricas fósseis de serviço público, aponta estudo do IEMA*. 2022. Acesso em: 26 fev. 2026. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br>.

INMET. *Boletim Agroclimatológico Mensal*. Brasília, DF, 2023.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. *Gráficos Diários de Estações Automáticas - Salinópolis (A001)*. 2026. Acesso em: 23 fevereiro 2026. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/GraficosDiarios/A001>. Acesso em: 23 fevereiro 2026.

INPE. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2022.

INPE. *Atlas Brasileiro de Energia Solar*. 3. ed. São José dos Campos: INPE, 2023.

INSELBERG, S. et al. Challenges in solar resource assessment for photovoltaic projects in brazil. *Solar Energy*, S. l., v. 205, p. 287–299, 2020.

IRENA. *Renewable Power Generation Costs in 2022*. Abu Dhabi, 2023.

IRENA. *Renewable Power Generation Costs in 2023*. Abu Dhabi, 2023. Acesso em: 26 out. 2025. Disponível em: <https://www.irena.org/publications>.

JIANG, J. H.; JEW, I. H. Innovative solutions for climate change mitigation and adaptation. In: KUMAR, V. (Ed.). *Global Warming - The Impact and Implications*. London: IntechOpen, 2025. cap. 4. Disponível em: <<https://doi.org/10.5772/intechopen.1009670>>.

LA REPÚBLICA. China, ee.uu. e india son las potencias que lideran en energía solar instalada. *La República*, 2025. Análise baseada no Energy Institute Statistical Review 2025. Disponível em: <<https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/china-ee-uu-e-india-son-las-potencias-que-lideran-en-energia-solar-instalada-4228001>>.

LOPES, M. C.; BASTO, A. T. Energia solar à luz da sustentabilidade: uma revisão sistemática de literatura nas bases de dados spell, scopus, scielo e web of science entre os anos de 2016 e 2020. *Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo*, S. l., v. 7, n. 6, p. 147–177, 2022.

MAIA, A. G.; GURGEL, A. C. Os desafios da inserção da geração distribuída na matriz elétrica brasileira. *Estudos Avançados*, S. l., v. 35, n. 101, p. 229–246, 2021.

MARKVART, T. *Solar electricity*. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2000.

MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C.; CESAR, E. G. M.; PEREIRA, I. C. B. *Estudos climáticos do estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwaite, Mather)*. Belém, PA, Brasil: SUDAM: EMBRAPA-SNLCS, 1993. 53 p. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/328300>>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Novo desconto social na conta de luz já beneficia famílias de baixa renda em todo o Brasil*. 2026. Portal gov.br. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/novo-desconto-social-na-conta-de-luz-ja-beneficia-familias-de-baixa-renda-em-todo-o-brasil>>.

Mitratesh. *Como Funciona a Energia Solar Fotovoltaica*. 2025. <<https://mitratesh.com.br/como-funciona-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acessado em: 24 fev. 2026.

NBR. ABNT NBR 5410:2004: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004. 209 p. ISBN 978-85-07-00562-9.

OLIVERA, C. *Período úmido precoce pode atenuar geração solar, mas fonte segue sendo estratégica para o país*. 2025. Pv magazine Brasil. Disponível em: <<https://www.pv-magazine-brasil.com>>.

ONU. *Agenda 2030: O Plano de Ação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. 2020. Acesso em: 26 fev. 2026. Disponível em: <<https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>>.

PASUPULETI, M. K. Sustainable climate innovations: Breakthrough strategies in modeling and mitigation. In: *Sustainable Climate Innovations: Breakthrough Strategies in Modeling and Mitigation*. [S.l.: s.n.], 2024. p. 190–209.

RIBEIRO, M. Blog post, *Quanto custa a manutenção preventiva de sistema de energia solar?* 2023. Acessado em: 26 02 2026. Disponível em: <<https://greensolar.com.br/2023/05/11/quanto-custa-a-manutencao-preventiva-de-sistema-de-energia-solar/>>.

RODRIGUES, C. et al. Energia solar fotovoltaica como vetor de desenvolvimento em comunidades rurais isoladas. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, S. l., v. 57, p. 450–471, 2021.

SEMAS. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE DO PARÁ. 2025. Acesso em: 27 fev. 2026. Disponível em: <<https://monitoramento.semas.pa.gov.br/simlam/index.htm>>.

SENA, L. F. K. *Viabilidade econômico-financeira da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica em Uberlândia-MG: um estudo de caso*. Trabalho de Conclusão de Curso, Uberlândia, 2025. Acesso em: dia mês ano. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/45380>>.

SENA, V. d. O. *Análise técnico-econômica de um sistema de geração de energia solar distribuída compartilhada para consumidores residenciais de baixa renda*. 72 p. Monografia (Monografia (Graduação em Engenharia de Produção)) — Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023. Acesso em: 26 out. 2025. Disponível em: <<https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/6297/3/MONOGRAFIA.pdf>>.

SILVA, A. A. B. d.; BRAGA, F. L. P. Terra do sol e da renda: O programa “renda do sol” como política pública para o desenvolvimento sustentável cearense. *Direito Público*, v. 21, n. 111, 2024. Disponível em: <<https://www.portaldeperiodicos.idp.edu.br/direitopublico/article/view/7908>>.

SILVA, B. L. F.; NETO, I. dos S.; FERNANDES, R. d. S.; BRANCO, N. C.; AES, G. V. G. Dimensionamento e viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico: um estudo de caso na ufra/parauapebas. *Revista Produção Online*, v. 21, n. 3, p. 863–890, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v21i4.4342>>.

SILVA, T. A.; BRAGA, M.; FORMAGINI, L.; RÜTHER, R. Influência do albedo na análise de desempenho de sistemas fotovoltaicos bifaciais: estudo de caso de uma planta piloto em florianópolis-sc. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS)*. [s.n.], 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.59627/cbens.2024.2504>>.

SOLAR POWER EUROPE. *EU Market Outlook for Solar Power 2025-2029*. [S.l.], 2025. Projeções para o mercado europeu e global. Disponível em: <<https://www.solarpowereurope.org/>>.

Weather Spark. *Condições meteorológicas médias no verão em Salinópolis*. S. l.: [s.n.], 2025. <<https://pt.weatherspark.com>>. Acesso em: 26 out. 2025.

WEG Solar. *O que é uma geração distribuída de energia e quais são as suas vantagens?* 2025. Acesso em: 06 mai. 2025. Disponível em: <<https://www.weg.net/solar/blog/o-que-e-uma-geracao-distribuida-de-energia-e-quais-sao-as-suas-vantagens/>>.

WÜSTENHAGEN, R.; WOLSINK, M.; BÜRER, M. J. Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy*, v. 35, n. 5, p. 2683–2691, 2007. ISSN 0301-4215. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421506004824>>.

YLA Energia. *Perfil no Instagram* — @ylaenergia. 2023. Disponível em: <<https://www.instagram.com/ylaenergia>>.