

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
CAMPUS VALE DO RIO MADEIRA - CVRM
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO AGRICULTURA E AMBIENTE – IEAA
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

NAYEMILE LOPES VAZ

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA ENERGIA SOLAR NA ZONA
RURAL DO MUNICÍPIO DE MANICORÉ, AMAZONAS**

**HUMAITÁ/AM
2025**

NAYEMILE LOPES VAZ

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA ENERGIA SOLAR NA
ZONA RURAL DO MUNICÍPIO DE MANICORÉ, AMAZONAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Amazonas – UFAM para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino

**HUMAITÁ/AM
2025**

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

V393a Vaz, Nayemile Lopes

Avaliação do potencial energético da energia solar na zona rural do município de manicoré, amazonas / Nayemile Lopes Vaz. - 2025.

36 f. : il., color. ; 31 cm.

Orientador(a): Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade

Federal do Amazonas, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente de Humaitá, Curso de Engenharia Ambiental, Humaitá- Am, 2025.


1. Energia sustentável. 2. Colônia Valdenor Campos. 3. Mesorregião sul do amazonas. 4. Mesorregião sul do amazonas. I. Querino, Juliane Kayse Albuquerque da Silva. II. Universidade Federal do Amazonas. Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente de Humaitá. Curso de Engenharia Ambiental. III. Título

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA ENERGIA SOLAR NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO DE MANICORÉ, AMAZONAS


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Amazonas – UFAM para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em: 04/12/2025


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 JULIANE KAYSE ALBUQUERQUE DA SILVA QUER
Data: 18/12/2025 17:41:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino - UFAM
Orientadora

Documento assinado digitalmente
 ALINE LESSA DE SOUZA
Data: 18/12/2025 17:27:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr.^a Aline Lessa de Souza- UFAM
Avaliadora

Documento assinado digitalmente
 PERICLES VALE ALVES
Data: 18/12/2025 17:36:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Péricles Vale Alves - UFAM
Avaliador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, com amor e carinho, aos meus pais, pelo apoio em todos os momentos; à minha família, por sempre acreditarem em mim; ao meu esposo, por me apoiar e acreditar em mim, mesmo quando eu não acreditava.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente Deus, que me deu força para continuar buscando meus objetivos; à minha família, principalmente a minha mãe Maria José e meu pai Antônio Lisboa;

Ao meu esposo José Deyvid, por sempre me apoiar e acreditar no meu potencial;

A meus amigos por dividirem os momentos bons e o não tão bons assim durante a jornada.

Agradeço imensamente a minha orientadora Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino pela orientação, e ao professor Carlos Alexandre Santos Querino por toda ajuda;

Ao meu grupo de pesquisa GPIBA (Grupo de Pesquisa em Interação Biosfera Atmosfera na Amazônia, pela contribuição;

A Universidade Federal do Amazonas – UFAM, ao Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente – IEAA, meus sinceros agradecimentos.

*“Não te espante, nem te atemorizes;
porque o Senhor teu Deus é contigo por
onde quer que andares.”*

Josué 1:9

RESUMO

As áreas rurais da Amazônia enfrentam um acesso precário ao fornecimento de energia, neste caso a instalação de sistemas fotovoltaicos possibilitaria a geração de eletricidade local, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e geradores a diesel. Diante disso o objetivo do trabalho é avaliar a viabilidade do uso de energia solar na Colônia Valdenor Campos, Manicoré/AM para atender a demanda energética local. O estudo foi realizado para área rural Colônia Valdenor Campos que se localiza no ramal da estrada do Atininga aproximadamente a 5,5 Km da cidade de Manicoré/AM. Os dados foram obtidos utilizando dados de reanálise de radiação solar provenientes do conjunto de dados ERA5land, fornecida pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF). Os resultados obtidos indicam que o potencial de geração fotovoltaica médio mensal é de aproximadamente 160,9 kWh/mês. Tal valor demonstra a expressiva disponibilidade energética solar na localidade, ressalta-se que a implantação de sistemas fotovoltaicos em comunidades rurais amazônicas pode ser uma alternativa eficiente e ambientalmente adequada para suprir a demanda local de energia, reduzindo a dependência de geradores a diesel e o impacto ambiental decorrente do uso de combustíveis fósseis.

Palavras-chaves: Energia Sustentável; Colônia Valdenor Campos; Mesorregião sul do Amazonas.

ABSTRACT

Rural areas of the Amazon face limited access to electricity supply; in this context, the installation of photovoltaic systems would allow local electricity generation, reducing dependence on fossil fuels and diesel generators. Therefore, the objective of this study is to assess the feasibility of using solar energy in a rural area in the municipality of Manicoré/AM to meet local energy demand. The study was conducted in the rural area of Colônia Valdenor Campos, located on the Atininga road branch, approximately 5,5 km from the city of Manicoré/AM. The data were obtained from solar radiation reanalysis data provided by the ERA5-Land dataset of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). The results indicate that the average monthly photovoltaic generation potential is approximately 160.9 kWh/month. Such a value demonstrates the significant availability of solar energy in the area; it is worth noting that the implementation of photovoltaic systems in rural Amazonian communities can be an efficient and environmentally suitable alternative to meet local energy demand, reducing dependence on diesel generators and the environmental impact resulting from the use of fossil fuels.

Keywords: Sustainable Energy; Valdenor Campos Colony; Southern Mesoregion of Amazonas.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Diagrama Esquemático da Energia Solar;
- Figura 2 - Sistema Residencial;
- Figura 3 - Matriz Elétrica Brasileira;
- Figura 4 - Mapa de Localização da Área de Estudo.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comportamento Sazonal da Radiação Solar (2019 – 2023);

Gráfico 2 - Comportamento da Precipitação (2019 – 2023).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Característica do painel fotovoltaico;

Tabela 2 - Irradiação solar diária média mensal (kWh/m². dia) segundo CRESESB;

Tabela 3 - Energia fotovoltaica gerada mensal (kWh/mês) simulada.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Vantagens e Desvantagens da energia Solar

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 2. OBJETIVOS | 17 |
| 2.1. Geral | 17 |
| 2.2. Específico | 17 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 18 |
| 3.1 Radiação Solar | 18 |
| 3.1.1 Radiação Solar Direta | 18 |
| 3.1.2 Radiação Solar Difusa | 19 |
| 3.2 Uso E Aplicação De Energia Solar Fotovoltaica | 19 |
| 3.2.1 Energia Solar Fotovoltaica | 21 |
| 3.3 Energia Solar Fotovoltaica No Mundo | 23 |
| 3.4 Energia Solar Fotovoltaica No Brasil | 24 |
| 3.5 Energia Solar Fotovoltaica No Amazonas..... | 26 |
| 3.6 Energia Solar Fotovoltaica Em Area Rural | 26 |
| 3.7 O Índice de Transmissividade (Kt)..... | 26 |
| 4. MATERIAL E METODOS | 27 |
| 4.1 Área De Estudo | 27 |
| 4.2. Coleta e Processamento De Dados..... | 28 |
| 4.3. Cálculo de Energia Gerada pelo painel (E _{pf}) | 29 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 30 |
| 5.1 Radiação solar e Precipitação | 30 |
| 5.2. Energia solar simulada com os dados do SunData. | 33 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 35 |
| 7. REFERÊNCIAS | 36 |

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica desempenha um papel fundamental nos processos produtivos e no avanço da sociedade. Como resultado, sua demanda está em constante expansão, e é crucial encontrar soluções adequadas para sua produção, a fim de evitar o agravamento da crise ambiental global (Bezerra, 2023).

Conforme Alcântara (2017), as áreas rurais da Amazônia enfrentam um acesso precário ao fornecimento de energia. Nesse caso, a instalação de sistemas fotovoltaicos possibilita a geração de eletricidade localmente, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e geradores a diesel.

Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica emerge como uma alternativa principal aos combustíveis fósseis, uma vez que é renovável, não poluente e apresenta baixos custos de manutenção (Silva & Araújo, 2022).

A criação da Resolução Normativa n.º 482/2012 – ANEEL foi um marco para o Brasil, pois define os critérios gerais para a microgeração e minigeração distribuída nos sistemas de transmissão de energia elétrica. Além disso, regulamenta o sistema de compensação da energia elétrica excedente. No entanto, essa resolução sofreu algumas alterações com a Resolução Normativa n.º 687/15. Em 2019, em resposta às revisões nas resoluções, o setor solar propôs o projeto de lei PL 5829/19, visando criar um marco legal para a Geração Distribuída e assegurar segurança jurídica ao mercado. Após as devidas modificações, esse projeto resultou na Lei 14300/22, promulgada em 6 de janeiro de 2022 (Porta Solar, 2025).

A hipótese pressupõe que a instalação de infraestrutura de energia solar será capaz de fornecer uma fonte confiável de eletricidade, reduzindo a dependência de fontes de energia convencionais e contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais associados à geração de energia, bem como para o desenvolvimento socioeconômico da comunidade.

Diante disso, esse trabalho buscará avaliar a viabilidade do uso de energia solar na Colônia Valdenor Campos - Manicoré/AM para atender a demanda energética local. Para isso serão analisados o comportamento sazonal da radiação solar entre o período seco e o período chuvoso. Esta pesquisa parte da suposição de que a implementação de sistemas de energia solar, baseados em painéis fotovoltaicos, pode

representar uma solução eficaz e sustentável para suprir as necessidades de energia da Colônia Valdenor Campos.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar a viabilidade do uso de energia solar na Colônia Valdenor Campos, Manicoré/AM.

2.2. Específico

- Analisar o comportamento sazonal da radiação solar entre o período seco e o período chuvoso;
- Estimar a energia produzida pelo painel fotovoltaico para área rural Colônia Valdenor Campos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Radiação Solar

Radiação solar é o fluxo de energia proveniente do Sol, que emite uma densidade de fluxo de cerca de $6,33 \times 10^7 \text{ Wm}^{-2}$, na forma de ondas eletromagnéticas. Ao incidir no topo da atmosfera, a radiação solar se propaga até atingir a superfície terrestre, passando durante esse percurso pelos processos de reflexão, absorção e espalhamento, que não são suficientes para reter todo o espectro da radiação solar (Rebouças et al., 2014).

O estudo da radiação solar é fundamental para a utilização apropriada de tecnologias solares, para a utilização e conversão da energia solar é necessário ter precisão, exatidão e contínuos dados e séries históricas de dados Solarimétricos (Domingo, Oliveira, Boaventura, 2020).

Para estudos das intensidades e variações de radiação solar devem compreender medidas por um período mínimo de um ano. As séries temporais e espaciais das componentes da radiação incidentem à superfície, permitem conhecer a disponibilidade energética diurna, mensal e anual; entretanto, exigem medidas simultâneas de rotina em diferentes condições astronômicas, geográficas e climáticas (Souza et al., 2011).

3.1.1 Radiação Solar Direta

A radiação solar direta corresponde ao fluxo de energia proveniente do Sol que atinge a superfície terrestre sem sofrer dispersão significativa na atmosfera. De acordo com Pereira et al., (2017), trata-se do componente mais intenso do espectro solar, sendo fundamental para aplicações que utilizam a irradiação concentrada, como sistemas solares térmicos de alta temperatura e tecnologias de concentração (CSP).

A quantidade de radiação direta incidente depende de fatores como posição do Sol, transparência atmosférica, quantidade de aerossóis e cobertura de nuvens. Em regiões de baixa nebulosidade, como certas áreas do Nordeste brasileiro, a radiação direta contribui de forma predominante para o balanço energético diário (Tiba, 2014).

3.1.2 Radiação Solar Difusa

A radiação difusa corresponde à parcela da energia solar que sofre espalhamento pela atmosfera antes de atingir a superfície. Este processo ocorre principalmente devido à interação com moléculas de ar, vapor d'água, partículas sólidas e nuvens (Duffie & Beckman, 2013).

No Brasil, regiões com maior umidade atmosférica e forte presença de nebulosidade como a Amazônia, apresentam maiores índices de radiação difusa (Escobedo et al., 2011).

Ainda conforme Escobedo et al., (2011) citam que, para sistemas fotovoltaicos, a radiação difusa possui papel importante, já que contribui para a geração mesmo em condições de céu encoberto. Entretanto, sua intensidade é significativamente menor quando comparada à radiação direta.

3.2 Uso E Aplicação De Energia Solar Fotovoltaica

Utilizada no atendimento de nossas necessidades básicas como alimentação e manutenção da vida, podemos dizer que a energia é fundamental para que possamos suprir tais necessidades (Costa de Freitas, Dos Santos, Castro, 2019). A conversão da energia solar diretamente em eletricidade, em um processo limpo, silencioso e realizado no próprio local do consumo vai ao encontro de uma grande aspiração da sociedade moderna (Oliveira, Souza, Silva, 2018).

O aproveitamento da energia solar com relação a conversão direta em energia elétrica ocorre por meio dos efeitos termoelétricos e fotovoltaicos da radiação solar, na forma de calor e luz, sobre determinados materiais semicondutores. O efeito termoelétrico é caracterizado por uma diferença de potencial surgida a partir da junção de dois materiais. Enquanto o efeito fotovoltaico é caracterizado pela conversão dos fótons contidos na luz solar por meio de células solares (Calca et al., 2021).

Toda essa abordagem, além de ambientalmente benigna e ecologicamente equilibrada, combinaria com uma política energética mais eficiente (Barros et al., 2005). Para determinar a viabilidade econômica do investimento em energia solar, é essencial empregar modelos de análise que examinem tanto os custos do investimento quanto seus benefícios resultantes (Oliveira, Souza, Silva, 2018).

Os autores destacam ainda que entre os métodos econômicos amplamente utilizados leva-se em consideração o cálculo da taxa de retorno, a avaliação da relação custo/benefício, a análise do tempo de retorno e a estimativa do custo ao longo da vida útil do sistema, Silva et al., (2018) destaca que o uso da energia fotovoltaica apresenta vantagens e desvantagens, dentre eles destaca-se:

Quadro 1: Vantagens e Desvantagens da Energia Solar.

| VANTAGENS | DESVANTAGESN |
|---|---|
| Renovável: A energia solar é uma fonte renovável e abundante, disponível em todo o mundo. | Custos iniciais elevados: Os custos de instalação de sistemas fotovoltaicos podem ser altos, embora estejam diminuindo ao longo do tempo. |
| Baixos custos operacionais: Depois de instalados, os sistemas fotovoltaicos geralmente têm custos operacionais baixos. | Intermitência: A geração de energia solar depende da disponibilidade de luz solar, o que pode ser afetado por fatores como o clima e a hora do dia. |
| Redução da pegada de carbono: A geração de energia solar não emite gases de efeito estufa, contribuindo para a redução da pegada de carbono. | Armazenamento de energia: O armazenamento de energia solar para uso durante a noite ou em dias nublados ainda é um desafio e pode requerer tecnologias adicionais, como baterias. |
| Independência energética: Os sistemas fotovoltaicos podem fornecer energia independente da rede elétrica em áreas remotas ou durante falhas de energia. | Uso de espaço: Sistemas fotovoltaicos requerem uma quantidade significativa de espaço para instalação, especialmente em larga escala. |

| | |
|--|--|
| Baixa manutenção: Os sistemas fotovoltaicos requerem pouca manutenção após a instalação inicial. | |
|--|--|

Fonte: Silva et al., (2018); Adaptado: Vaz (2025)

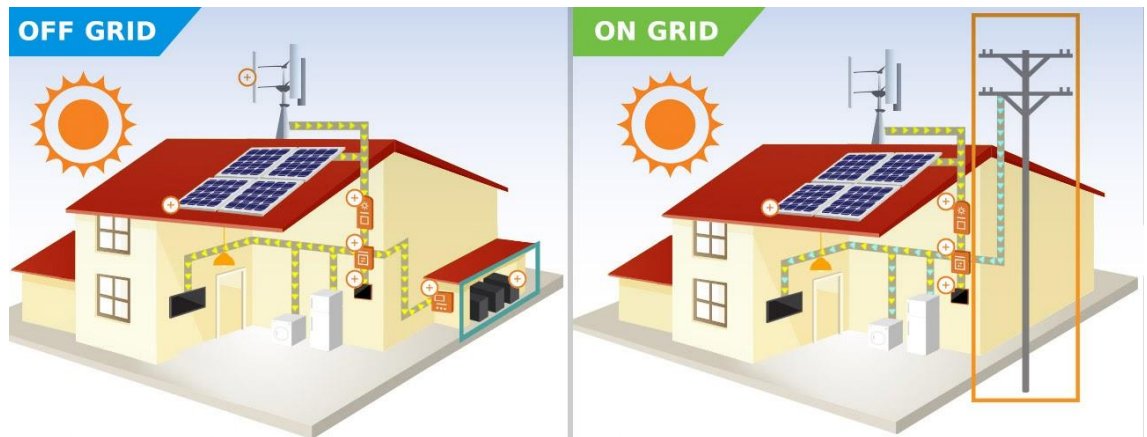
3.2.1 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é uma forma de energia renovável que converte a luz solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas. Essas células são feitas de materiais semicondutores, como o silício, que absorvem fótons de luz solar e liberam elétrons, gerando assim uma corrente elétrica (Garcês, 2023).

Ainda conforme Garcês (2023), a energia solar fotovoltaica é uma fonte limpa e sustentável de eletricidade, pois não produz emissões de gases de efeito estufa ou poluentes durante sua operação. Ela pode ser utilizada em uma ampla variedade de aplicações, desde pequenos sistemas residenciais até grandes usinas solares comerciais.

Simões et al., (2023) relata que o sistema fotovoltaico é constituído por conjuntos de painéis solares e outros dispositivos básicos como controladores de carga, baterias, inversores, cabo, os quais têm a função de transformar, converter ou armazenar a energia elétrica, possibilitando seu uso residencial da mesma forma que a energia elétrica convencional. Isso ocorre por meio de um dos dois tipos sistemas fotovoltaicos: Sistemas Isolados (Off Grid) ou Sistemas Conectados à Rede (Grid-tie ou On Grid) (Figura1).

Figura 1: Diagrama esquemático da energia solar



Fonte: Portal potência, 2025

O sistema fotovoltaico opera por meio de painéis fotossensíveis que convertem a energia solar em corrente elétrica contínua (Figura 2). Essa corrente é então direcionada para um inversor, cuja função é converter a energia para os padrões da rede elétrica da concessionária, ou seja, em corrente alternada. Assim que convertida, a energia é integrada à rede elétrica da residência, pronta para ser utilizada pelo consumidor (Simões et al.,2023).

Figura 2: Sistema residencial



Fonte: boreal solar, 2025

Conforme Silva e Araújo (2022), a indispensabilidade da preservação ambiental gera a necessidade da produção de energia limpa que cause o mínimo impacto possível e, uma das soluções para esta questão é a utilização de energia gerada através da luz solar, utilizando células fotovoltaicas compostas de silício, material abundante no planeta.

3.3 Energia Solar Fotovoltaica No Mundo

A energia fotovoltaica tem experimentado um crescimento constante em praticamente todo o mundo, e uma de suas vantagens é a sua modularidade e facilidade de instalação. Essa característica modular torna-a especialmente adequada para a produção doméstica e permite sua utilização em uma ampla gama de aplicações, desde aquelas que demandam alta potência até as de baixa potência (Calca et al., 2021).

Atualmente, a energia elétrica é fundamental para o processo produtivo, com uma demanda em constante crescimento (Bezerra, 2023). As fontes alternativas de energia, como solar, eólica e biogás, têm se destacado recentemente por sua maior disponibilidade, já que derivam de recursos naturais, e por causarem menores impactos sociais e ambientais (Calca et al., 2021).

A energia solar, embora seja a maior fonte de energia recebida pela Terra, possui uma intensidade relativamente baixa na superfície do planeta. Isso se deve à

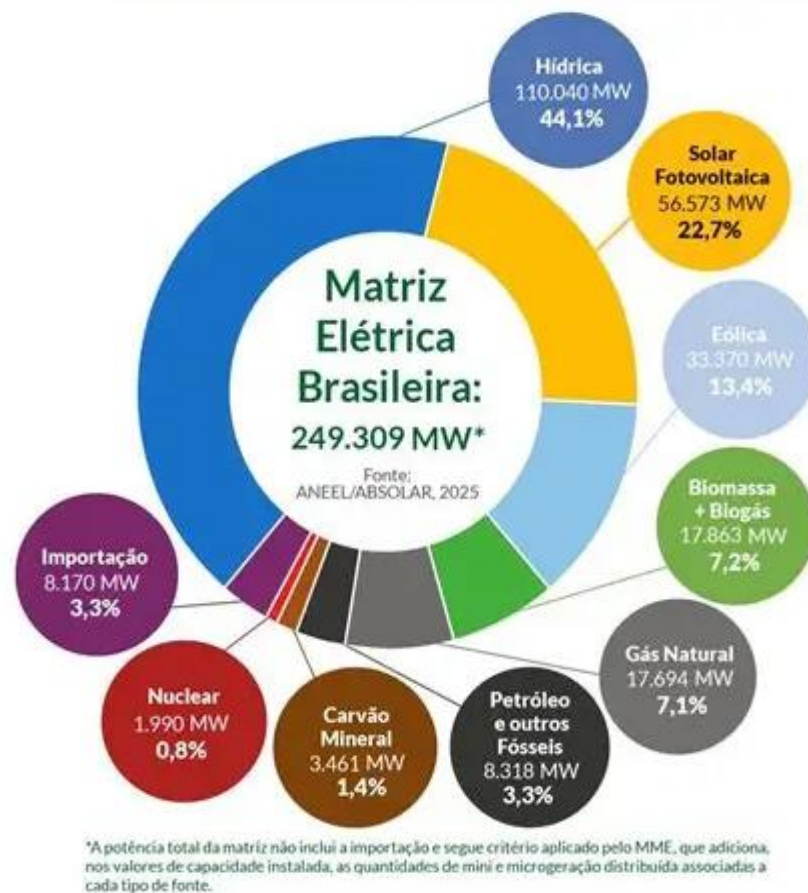
considerável distância entre a Terra e o Sol, além do fato de que a atmosfera terrestre absorve e dispersa parte significativa da radiação solar (Oliveira, Souza, Silva, 2018).

Conforme Oliveira, Souza, Silva (2018), até mesmo em um dia claro, a energia que alcança a superfície da Terra é de apenas 70% do seu valor nominal. Sua intensidade varia de acordo com a região do planeta, com a condição do tempo e com o horário do dia.

3.4 Energia Solar Fotovoltaica No Brasil

A matriz energética Brasileira, como um todo, apresenta forte participação de fontes renováveis. Levando em conta a matriz energética mundial (Nhime, 2023). O Brasil apresenta grande potencial para implementar diferentes tecnologias para o aproveitamento da energia solar (Calca et al., 2021), (Figura 3).

Figura 3: Matriz elétrica Brasileira.



Atualizado em 12/05/2025 | nº 79



Fonte: Absolar, 2025.

A busca pelo desenvolvimento sustentável tornou-se um imperativo global, ressaltado pela adoção dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) pelas Nações Unidas em 2015. Essas metas fornecem um plano abrangente para enfrentar vários desafios globais, incluindo pobreza, desigualdade, mudanças climáticas, degradação ambiental, paz e justiça (Dias, 2024).

A transição para as energias renováveis é cada vez mais reconhecida como um motor fundamental para o desenvolvimento sustentável. Oferece um caminho para mitigar as mudanças climáticas, combater a degradação ambiental e promover o crescimento econômico e o bem-estar social. O mesmo autor ainda cita que fontes de energia renováveis, como solar, eólica, hídrica e bioenergia, têm mostrado um enorme potencial na redução das emissões de gases de efeito estufa e na promoção da segurança e diversificação energética (Dias, 2024).

3.5 Energia Solar Fotovoltaica No Amazonas

No Amazonas, a limitação da matriz eólica e hidráulica, por razões distintas, deixam a energia solar fotovoltaica (ESF) como a principal alternativa de energia sustentável (Bezerra, 2023).

O desafio contínuo é garantir a produção de energia de fontes sustentáveis, buscando atender à demanda e impulsionar o desenvolvimento econômico e social, sem comprometer as próprias forças produtivas devido à exaustão dos recursos naturais (Bezerra, 2023).

São várias as fontes que podem ser utilizadas como solução para este problema, em especial no Estado do Amazonas, uma destas fontes é a energia solar, tendo em vista que a região norte do Brasil possui um dos maiores índices de incidência solar no território brasileiro (Costa de Freitas, Dos Santos, Castro, 2019).

Segundo Bezerra (2023), no caso particular do Amazonas, é fácil demonstrar que a principal fonte de energia sustentável será a energia solar fotovoltaica (ESF), tanto pela localização geográfica quanto pela limitação da energia eólica e hidráulica.

3.6 Energia Solar Fotovoltaica Em Area Rural

A eletrificação rural tem como objetivo principal suprir a demanda de energia elétrica de áreas rurais não atendidas convencionalmente, através das redes de transmissão, pelas concessionárias (Calca et al., 2021).

Os autores acima citam que o aproveitamento térmico da energia solar é feito com o uso de coletores ou concentradores solares, que são aparelhos que se beneficiam da entrada ou absorção dos raios oriundos da radiação solar. Os coletores solares são equipamentos utilizados em diferentes aplicações, desde residenciais e comerciais, até mesmo rurais. Essa iniciativa promove a sustentabilidade do desenvolvimento e a democratização do acesso à energia (Barros et al., 2005).

Calca et al., (2021) fala que na ausência de soluções adequadas, tratando-se do fornecimento de energia elétrica através da rede convencional de transmissão, os proprietários são obrigados a suprir demandas rurais básicas (abastecimento de água e eletrificação de construções) utilizando medidas alternativas (geração de energia elétrica diretamente no local de interesse). Para tanto, uma alternativa seria a aplicação de tecnologias de geração de energia que é considerada um dos vetores de

desenvolvimento econômico e social das comunidades isoladas das regiões brasileiras (Barros et al., 2005).

Ainda conforme Barros et al., (2005) citam que os aspectos positivos da intensificação do uso da energia na área rural seriam: uma elevação na produção e produtividade agrícolas com um aumento na oferta de alimentos e uma redução do êxodo rural com a fixação do homem ao campo através da elevação das oportunidades de trabalho e melhora nas condições de vida acompanhada do crescimento da industrialização rural.

3.7 O Índice de Transmissividade (Kt)

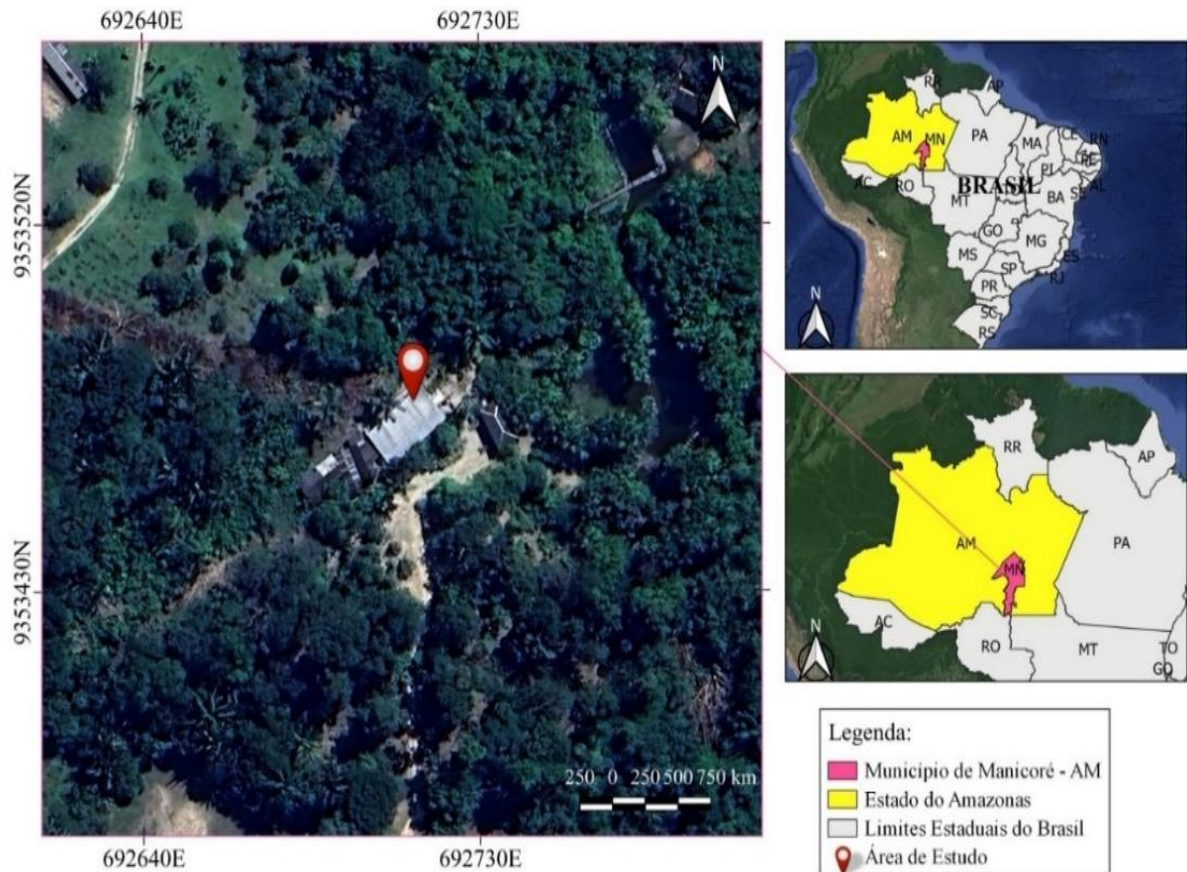
O Kt é definido como a razão entre radiação solar global (R_g) e a radiação solar que chega ao topo da atmosfera (R_o). Este índice irá variar de acordo com a quantidade de nuvens e aerossóis na atmosfera, e com isso haverá um aumento ou uma redução das componentes direta ou difusa, da radiação solar que atinge a superfície, possibilitando a classificação do céu quanto a sua nebulosidade (Querino et al., 2011).

4. MATERIAL E METODOS

4.1 Área De Estudo

O estudo foi realizado para área rural Colônia Valdenor Campos que se localiza no ramal da estrada do Atininga, aproximadamente a 5,5 Km da cidade de Manicoré/AM. O município de Manicoré - AM ($05^{\circ}48'32''$ S e $61^{\circ}18'$ O) possui uma área territorial total de 48.315,038 Km e população estimada de 53.914 pessoas, e pertence à mesorregião do Madeira e faz fronteira com os municípios de Humaitá, Novo Aripuanã e Borba (IBGE 2022) (FIGURA 4).

Figura 4: Mapa de Localização da Área de Estudo



Fonte: Autora (2025).

A região tem um período chuvoso de outubro a abril, um período seco longo que vai de junho a agosto. Os meses de maio e setembro são considerados períodos de transição úmido-seco e seco-úmido, respectivamente. A temperatura média anual do ar varia entre 27 e 25 °C, com máximas e mínimas mensais de 36 e 17 °C, respectivamente, enquanto a umidade relativa varia entre 85 e 90%, atingindo valores inferiores a 50% durante a estação seca (Martins et.al 2023).

4.2. Coleta e Processamento De Dados

Para a realização deste estudo, foram utilizados dados de reanálise de radiação solar e precipitação dos anos 2019 a 2023, provenientes do conjunto de dados ERA5land, fornecida pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF), por meio do serviço Copernicus Climate Data Store (CDS). O ERA5 oferece dados horários com alta resolução temporal e espacial, sendo amplamente

reconhecido por sua qualidade e aplicabilidade em estudos climatológicos e meteorológicos (Hersbach, H. et al., 2020).

O processamento dos dados foi realizado em ambiente Python, utilizando um conjunto de bibliotecas voltadas à análise e manipulação de dados climáticos e geoespaciais como: xarray para trabalhar com dados multidimensionais (como tempo × latitude × longitude), numpy para cálculos numéricos em Python, pandas para análise e manipulação de dados tabulares, como planilhas e bases tipo CSV e o matplotlib para geração dos gráficos.

4.3. Cálculo de Energia Gerada pelo painel (E_{pf})

A energia gerada por um painel fotovoltaico foi calculada com base em um painel específico cujas características estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Característica do Painel Fotovoltaico.

| Dimensão | 2000 x 1050 x 60 |
|------------------------|-------------------------|
| Área (m ²) | 1,98 |
| P _m (W) | 340 |
| n (%) | 18,55 |

Fonte: Autora (2025).

Para realização deste trabalho, considera-se que não houve perdas devido a sombreamento ou deposição de poeira, nem perdas relacionadas ao inversor e cabos, as estimativas tendem a superestimar a produção real de energia.

Os dados de irradiação solar (I_m) foram obtidos por meio do programa SunData fornecido pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito – CRESESB, que tem como objetivo fornece ferramentas de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos (Cresesb, 2018).

A partir desses dados foi realizado o cálculo de energia gerada por um painel fotovoltaico (E_{pf}) utilizando a da Equação 1. São consideradas três variáveis para o cálculo, sendo elas: Irradiação Solar Média (I_m), Área do Painel (A), e Eficiência do Painel (n).

$$E_{pf} = \mathfrak{S} * A * n \quad \text{Equação (1)}$$

E_{pf} = Energia produzida diariamente pelo painel (kWh);

\mathfrak{S} = Irradiação Solar Média (kWh/m²/dia);

A = Área do Painel (m^2);

n = Eficiência do Painel.

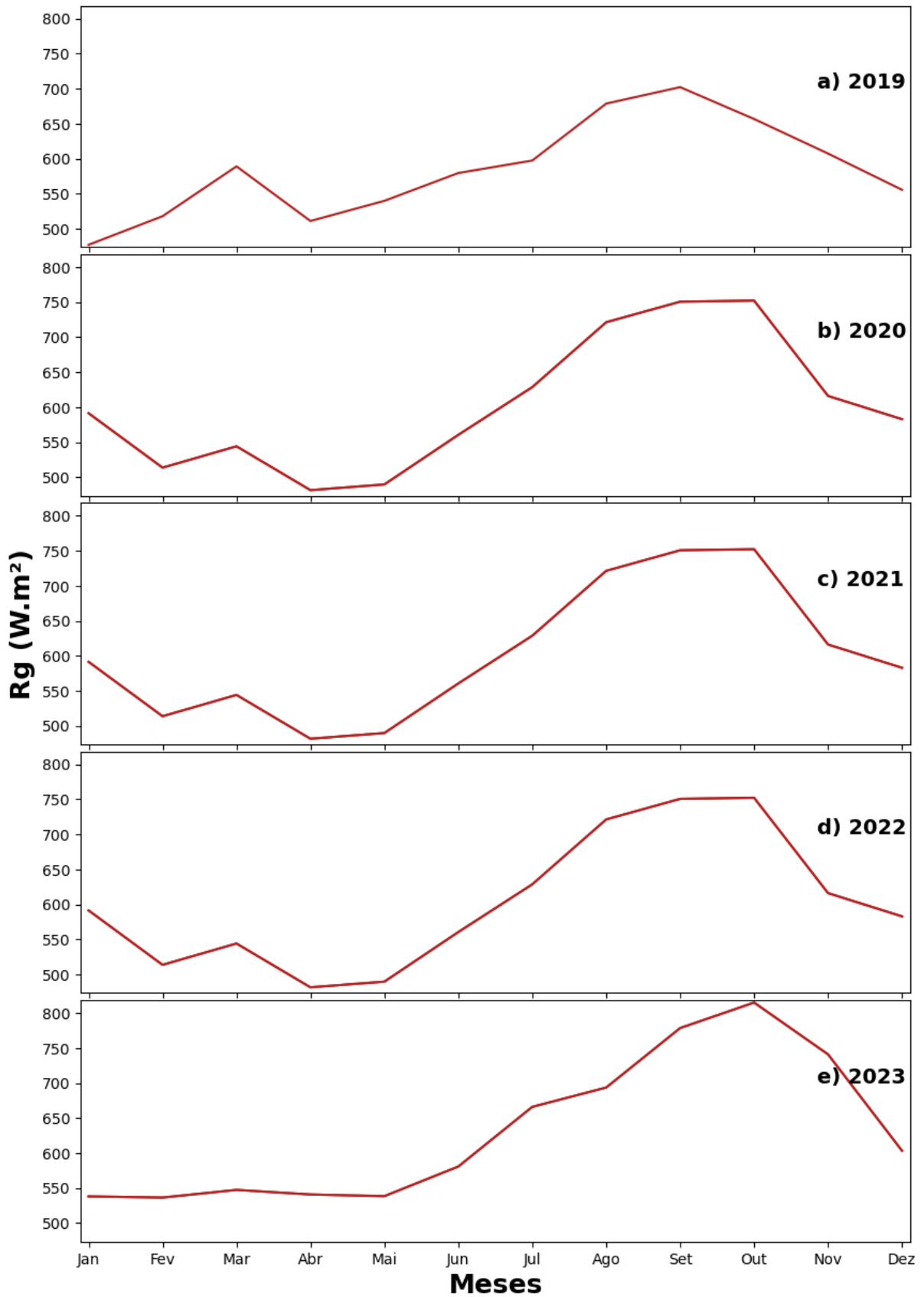
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Radiação solar e Precipitação

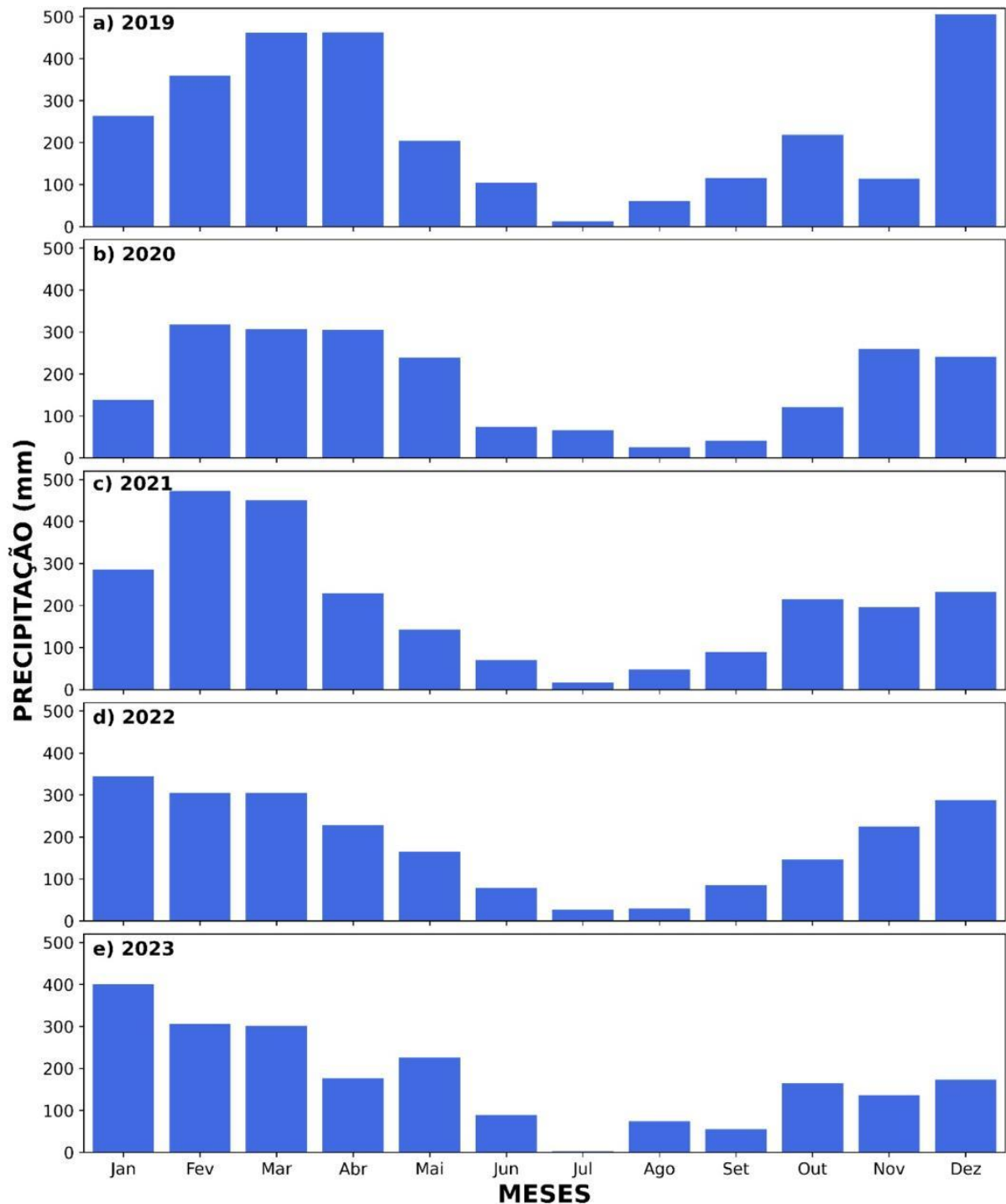
O gráfico 1 apresenta um comportamento sazonal bem definido da radiação solar, com valores máximos entre julho e outubro com valores de ,700 a 800 W/m^2 e mínimos entre fevereiro e abril com valores próximos de 480 a 550 W/m^2 . Essa variação está diretamente associada ao regime de nebulosidade e precipitação da região amazônica.

Durante o período seco, a atmosfera apresenta menor cobertura de nuvens, resultando em maior incidência direta de radiação solar e durante o período chuvosos a menor incidência é causada pela intensa nebulosidade e pela absorção da radiação pelas gotículas de água e vapor presentes na atmosfera (Simões 2025).

Esses resultados corroboram com os de Pereira et al., (2017), que destacam que, na região Norte do Brasil, o padrão de radiação solar é controlado principalmente pela sazonalidade da precipitação e cobertura de nuvens. De forma semelhante, Souza et a., (2020), ao analisarem o potencial solar no sul do Amazonas, observaram comportamento análogo, com máximos de radiação durante a estação seca, confirmando o alto potencial para geração fotovoltaica nesses meses.

Gráfico 1: Comportamento Sazonal da Radiação Solar (2019–2023)

Fonte: Autora (2025).

Gráfico 2: Comportamento da Precipitação (2019–2023)

Fonte: Autora (2025).

O gráfico 2 mostra o comportamento da precipitação para o período de 2019 a 2023, onde notamos que os meses de dezembro a abril apresentam os maiores volumes de precipitação, geralmente superiores a 300 mm/mês, enquanto junho a

setembro correspondem ao período mais seco, com totais mensais inferiores a 100 mm/mês.

Embora haja uma variação sazonal significativa entre os períodos secos e chuvosos, os dados analisados mostram que a variabilidade das chuvas não afeta o potencial de geração fotovoltaica, devido a presença de nuvens na atmosfera. Simões (2025) cita que é possível observar que os meses pertencentes ao período seco apresentam maior Índice de Transmissividade (Kt), enquanto os do período chuvoso registram os menores índices.

Estudos realizados por Simões et al., (2023) demonstram que, na Amazônia, a redução da radiação solar em períodos chuvosos raramente inviabiliza a produção de energia solar, embora ocorra uma diminuição relativa na eficiência dos painéis.

Para o município de Manicoré observa-se que a amplitude entre o período seco e o chuvoso é alto, mas não inviabiliza a geração solar, uma vez que mesmo nos meses de menor insolação a radiação global permanece em níveis adequados à produção fotovoltaica.

5.2. Energia solar simulada com os dados do SunData.

Com base nos dados de irradiação solar diária média mensal, fornecidos pelo programa SunData (tabela 2) e considerando as características do painel fotovoltaico especificadas na Tabela 1, foi feita a estimativa da energia fotovoltaica gerada mensalmente.

Tabela 2: Irradiação solar diária média mensal (kWh/m². dia) segundo CRESESB.

| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Média |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| Im | 3,87 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 3,93 | 4,47 | 4,61 | 5,14 | 4,91 | 4,74 | 4,47 | 4,04 | 4,38 |

Fonte: Autora (2025)

A Tabela 3 apresenta os valores de energia fotovoltaica mensal gerada para um único módulo (descrito na tabela 1), que representa a melhor condição média anual de captação de radiação solar para a localidade.

Tabela 3: Energia fotovoltaica gerada mensal (kWh/mês) simulada.

| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Méd ia |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|
| Ener gia | 142, 14 | 151, 69 | 151, 69 | 151, 69 | 144, 34 | 164, 18 | 169, 32 | 188, 79 | 180, 34 | 174, 10 | 164, 18 | 148, 39 | 160, 90 |

Fonte: Autora (2025)

Observa-se que os valores de energia gerada variam entre 142,14 kWh/mês e 188,79 kWh/mês. A maior produção é registrada nos meses correspondentes ao período de seca, refletindo a maior disponibilidade de radiação solar observada neste período. De modo geral, a média anual estimada de geração fotovoltaica é de aproximadamente 160,90 kWh/mês para o painel considerado, indicando um bom potencial para a implementação de sistemas fotovoltaicos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que este estudo alcançou o seu objetivo de avaliar a viabilidade do uso de energia solar na Colônia Valdenor Campos, Manicoré/AM.

A comparação com os dados do SUNDATA confirma a coerência dos resultados apresentando. Isso demonstra a viabilidade técnica do uso de painéis fotovoltaicos. Dessa forma, a Colônia Valdenor Campos apresenta excelentes condições para a implantação de sistemas fotovoltaicos.

Os resultados obtidos indicam que o potencial de geração fotovoltaica médio mensal é de aproximadamente 160,9 kWh/mês. Tal valor demonstra a expressiva disponibilidade energética solar na localidade, ressalta-se que a implantação de sistemas fotovoltaicos em comunidades rurais amazônicas pode ser uma alternativa eficiente e ambientalmente adequada para suprir a demanda local de energia, reduzindo a dependência de geradores a diesel e o impacto ambiental decorrente do uso de combustíveis fósseis.

Ressalta-se que mesmo o trabalho apresentando resultados satisfatórios da viabilidade do uso da radiação solar, para o uso de energia solar fotovoltaica na Colônia Valdenor Campos, se faz necessário trabalhos futuros para o estudo da viabilidade econômica da população local.

7. REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, Thiago Hermano Alves de. **Energia fotovoltaica em comunidades isoladas no Amazonas com abordagens da economia e sustentabilidade**. Brasília: UnB, 2017.
- BARROS, Ana Luíza Jucá Fontenelle; MAYORGA, Maria Irles de Oliveira; LIMA, Patrícia Verônica Pinheiro Sales; RAMALHO, Fernando Pinto. **Análise da importância da energia solar nas comunidades rurais: um estudo de caso**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL - SOBER, 43, 2005, Ribeirão Preto. Anais... Brasília: SOBER. v. 1. p. 1-20, 2005.
- BEZERRA, Eron. **Edifício Solar Fotovoltaico Da Universidade Federal Do Amazonas: O Pioneirismo Na Produção De Energia Sustentável Na Amazônia**. Revista Geonorte, v. 14, n. 43, 2023.
- COSTA de Freitas, L.; DOS SANTOS, M.; CASTRO, A. **Eficiência energética no Amazonas: A Alternativa Solar**. ITEGAM-JETIA, v. 5, n. 19, p. 151-155, 6 set. 2019.
- CALCA, M. V. C.; RANIERO, M. R.; Anacleto, K. B.; FRANCO, J. R.; DAL Pai, A.; CANEPPELE, F. De L. **Uma Perspectiva Sobre o Aproveitamento Térmico e a Conversão Direta da Energia Solar em Áreas Rurais no Brasil**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 10, n. 6, p. e9810615610, 2021. Acesso em: 28 nov. 2023.
- CRESESB/CEPEL. **Energia Solar Fotovoltaica**. 2008. Disponível em: [CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica](#). Acesso em: outubro de 2025.
- DIAS, r. **O papel das energias renováveis no cumprimento dos ods: oportunidades e desafios**. Recima21 - revista científica multidisciplinar - issn 2675-6218, [s. l.], v. 5, n. 1, p. E514845, 2024.
- DOMINGO, Samira Fontes; OLIVEIRA, Luís Guilherme Monteiro; BOAVENTURA, Wallace do Couto. **Estudo da arte para previsão da radiação solar**. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar – Fortaleza, 01 a 05 de junho de 2020.
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 4 ed. Hoboken: Wiley, 2013.
- ESCOBEDO, J. F. et al. **A globalização da radiação solar e a sua difusão no Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 26, n. 1, p. 111-124, 2011.
- FIGUEREDO, H. et al. **Projeto e desenvolvimento de um sistema fotovoltaico autônomo voltado a área rural**. Revista Técnico Científica do CREA-PR, 2018.
- GARCÊS, João Victor **Modelagem 3D e análise de viabilidade da implantação de uma Usina Fotovoltaica na cidade universitária da UEA**. / João Victor Medeiros Garcês; [orientador por] Israel Gondres Torné, Dr – Manaus: 2023.:
- HERSBACH, H. et al. **The ERA5 global reanalysis**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 146, n. 730, p. 1999–2049, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
- MARTINS, p. a. da s.; QUERINO, c. a. dos s.; QUERINO, j. k. a. da s.; MOURA, m.a. l.; nunes, d. d.; MACHADO, n. g.; BIUDES, m. s. **Atualização do sistema de classificação climática de köppen e thornthwaite e mather (1955) para o sul do amazonas**. revista do departamento de geografia, [s. l.], v. 43, p. e191137, 2023.
- Manicoré. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).2022**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am/manicore.html> Acesso em 22/02/2024.
- NHIME, Jéysca Emília Luciano. **Estudo e Análise das Energias Solar Fotovoltaica e Eólica para o Consumo da Humanidade / Jéysca Emília Luciano Nhime**. – 2023. 38 f.: il. color. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal

do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2023.

OLIVEIRA, Dione da Costa; SOUZA, Rafael Eler de; SILVA, Guilherme Gabriel da. **Análise da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica em uma residência da zona rural.** Pensar acadêmico, Manhauçu, V. 16, n. 1, p. 40-48, 2018.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 3. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PORTA SOLAR. **Lei 14300: mudanças com o Marco Legal da Geração Distribuída.** Disponível em: [ANEEL energia solar: Conheça as resoluções 482 e 687 | Portal Solar](#) acesso em 09/12 de 2025.

Querino CAS, Moura MAL, Querino JKA da S, Von Radow C, Marques Filho A de O. **Estudo da radiação solar global e do índice de transmissividade (kt), externo e interno, em uma floresta de mangue em Alagoas - Brasil.** Rev bras meteorol [Internet]. 2011Jun;26(2):204–14. Available from: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862011000200005>

REBOUÇAS, P. M.; DIAS, Ítala F.; ALVES, M. A.; BARBOSA FILHO, J. A. D. **Radiação solar e temperatura do ar em ambiente protegido.** Revista Agrogeoambiental, [S. l.], v. 7, n. 2, 2014.

SILVA, Heitor Marques Francelino da; ARAÚJO, Francisco José Costa. **Energia solar fotovoltaica no Brasil: Uma revisão bibliográfica.** revista ibero-americana de humanidades, ciências e educação, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 859–869, 2022.

Simões, Kamilla Lira.; Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino.; Luciano Augusto Souza Rohleder.; Fabielle do Nascimento Barba.; Carlos Alexandre Santos Querino. **Análise do potencial energético solar a partir de dados da estação solarimétrica no município de humaitá – amazonas, 2023.**

Simões, Kamilla Lira **Análise do potencial energético para o uso de energia solar fotovoltaica em Humaitá, Amazonas /** Kamilla Lira Simões. – 2025. 63 f. : il., color. ; 31 cm.

SILVA, I. R.; SHAYANI, r. A.; OLIVEIRA, m. A. **Análise comparativa das fontes de energia solar fotovoltaica, hidrelétrica e termelétrica, com levantamento de custos ambientais, aplicada ao distrito federal.** In: anais congresso brasileiro de energia solar – cbens. Brasília, df. Doi: <https://doi.org/10.59627/cbens.2022>.

SOUZA, Adilson p.; ESCOBEDO, João f.; DAL PAI, Alexandre; GOMES, Eduardo n. **Estimativas das componentes da radiação solar incidente em superfícies inclinadas baseadas na radiação global horizontal.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.v.15, n.3, p.277–288, 2011.

SOUZA, R. A. et al. **Potencial solar e viabilidade de sistemas fotovoltaicos no sul do Amazonas.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.9, n.1, p.64–79, 2020.

TIBA, C. **Energia Solar: Introdução e Aplicações.** Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2014.