



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (2025)

ANÁLISE TÉCNICA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL PELA METODOLOGIA DE MONITORAMENTO E VERIFICAÇÃO SIMPLIFICADA ¹

Anderson Matheus de Oliveira Queiroz ²

Idalmir de Souza Queiroz Júnior ³

RESUMO

O constante crescimento da geração solar fotovoltaica remete a necessidade de análises técnicas para mensurar e avaliar a eficácia dos sistemas, assim os padrões de eficiência da geração fotovoltaica podem ser aperfeiçoados e os proprietários dos sistemas podem verificar a eficiência da sua geração em comparação com a estimativa de produção calculada em projeto. A presente pesquisa teve como objetivo a análise técnica através do monitoramento e verificação (M&V) de um sistema fotovoltaico conectado à rede para comparativo entre a geração projetada e a geração real, verificando a fidedignidade da eficiência do sistema. Constatou-se uma elevada discrepância entre os valores projetados e medidos, quantificado em 28% abaixo da média projetada. Isso ressalta a importância do acompanhamento do projeto e de sua execução, além da realização estudos para buscar melhorias ao sistema.

Palavras-chave: monitoramento; análise técnica; fotovoltaico.

ABSTRACT

The constant growth of solar photovoltaic generation requires technical analyses to measure and evaluate the effectiveness of the systems, so that photovoltaic generation efficiency standards can be improved and system owners can verify the efficiency of their generation compared to the estimated production calculated in the project. The objective of this research was to perform a technical analysis through monitoring and verification (M&V) of a grid-connected photovoltaic system to compare projected generation with actual generation, verifying the reliability of the system's efficiency. A high discrepancy was found between the projected and measured values, quantified at 28% below the projected average. This highlights

¹ Trabalho de Conclusão de Curso apresentado/defendido ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, no dia 17 de dezembro de 2025, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista junto a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

² Orientando do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Lattes ID: <http://lattes.cnpq.br/7158007287043237>. Orcid ID: - . E-mail: anderson.queiroz@alunos.ufersa.edu.br.

³ Orientador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Lattes ID: <http://lattes.cnpq.br/8047604543096116>. Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-7696-4370>. E-mail: idalmir@ufersa.edu.br.

the importance of monitoring the project and its execution, in addition to conducting studies to seek improvements to the system.

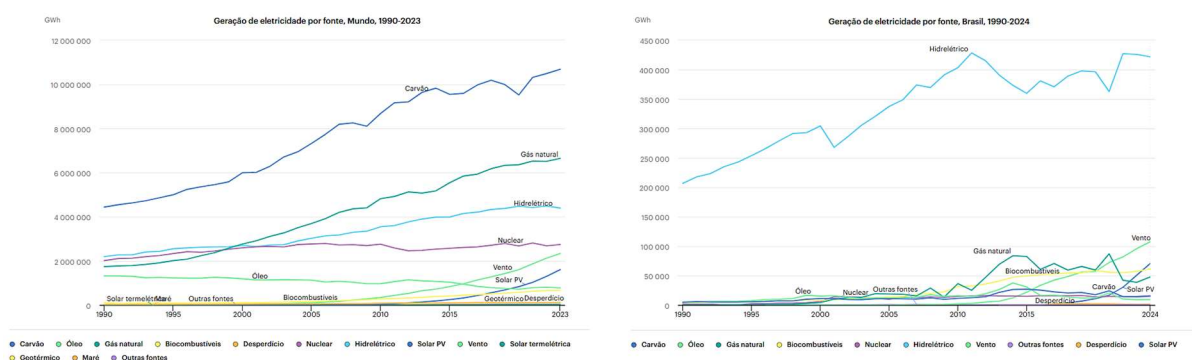
Keywords: monitoring; technical analysis; photovoltaic.

1 INTRODUÇÃO

O setor de energia elétrica renovável brasileiro está em constante atualização na busca do melhoramento da tecnologia aplicada e da eficiência dos sistemas. Consequentemente a participação das fontes renováveis na matriz elétrica nacional se torna expressiva, como ilustra a Figura 1. O país é rico em reservatórios hídricos, assim, a fonte hidrelétrica tem a maior representatividade na matriz elétrica brasileira de 2024, seguida da geração eólica e solar, em segundo e terceiro lugar, respetivamente. Em anos de escassez hídrica as participações gerais das fontes renováveis da matriz elétrica brasileira apresentam leve decaimento, de modo que, o uso de fontes não renováveis se faz necessária, como termelétricas. Porém, a queda da geração hídrica tem sido amortecida pela expansão do setor eólico e solar, que suavizam a queda dessa fonte renovável em anos de seca. Embora haja aumento crescente da participação da geração eólica e solar nos últimos anos, a geração hidrelétrica ainda compõe a maior fatia na matriz elétrica nacional (EPE, 2025).

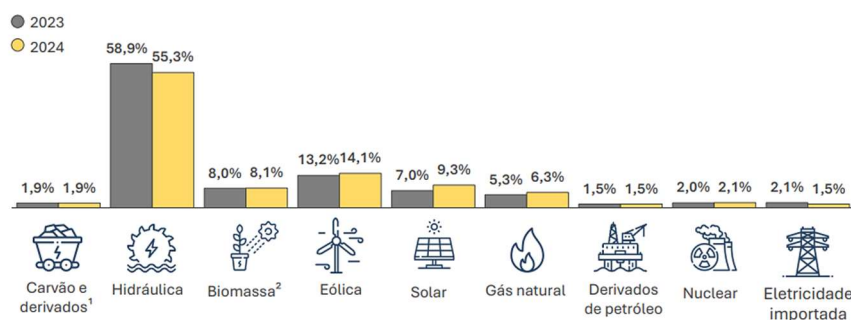
A Figura 2 apresenta a evolução da geração de eletricidade no mundo e no Brasil após a década de 1990. Em ambas os gráficos da Figura 2, é possível visualizar a crescente produção das fontes solar e eólica nos últimos anos. Ao observar o crescimento exponencial do seu uso, verifica-se que o Brasil e o mundo já reconhecem e investem nesses tipos de fontes, que são sustentáveis, limpas e eficientes.

Figura 2 – Geração elétrica por fonte no mundo e no Brasil, a partir de 1990



Fonte: Adaptado de IEA (2025)

Figura 1 – Participação das fontes na matriz elétrica brasileira



Fonte: EPE (2025)

O relatório síntese do Balanço Energético Nacional com ano base 2024 mostra que a eficiência da matriz elétrica brasileira se manteve acima de 66% de 2004 a 2024, percentual considerado elevado (EPE, 2025). Isso se deve as fontes hidráulica, eólica e solar que não apresentam perdas consideráveis na geração.

Os estudos de análise e monitoramento que evidenciam a eficiência da geração de energia elétrica têm adquirido uma grande importância no cenário mundial. O equilíbrio entre a sustentabilidade e a produção energética tornou-se o desafio dos países em desenvolvimento que tentam ampliar a oferta e eficiência de energia em um contexto de diferentes realidades sociais.

Os impactos ambientais são inseridos neste contexto como um apontamento da urgência da sustentabilidade, sobretudo relacionada às emissões de gases de efeito estufa e aos impactos de grandes empreendimentos hidrelétricos, que geram degradação da fauna e da flora local. A queima de combustíveis fósseis pode ocasionar uma mudança climática global indesejada considerando que “mais de 5 bilhões de toneladas de carbono são anualmente adicionadas à nossa atmosfera pela combustão mundial” (Hinrichs; Kleinbach; Reis, 2012, p. 30).

Diante de uma demanda de energia elétrica regida por questões industriais e tecnológicas, a energia solar fotovoltaica apresenta-se como um sistema viável. Por possuir uma geração com grande crescimento nas últimas décadas, caracteriza-se como sendo uma alternativa favorável. Além de causar menor impacto ambiental, apresenta baixa manutenção e oferece uma geração de energia utilizando-se de uma fonte abundante.

Para averiguar a crescente melhoria tecnológica e a aplicação dos melhores sistemas, do ponto de vista técnico e financeiro, é necessário realizar a verificação e monitoramento da eficiência dos sistemas. Assim, garantindo o avanço contínuo da tecnologia e selecionando a aplicação dos melhores tipos de empreendimentos, além de confirmar se o sistema utilizado é condizente com o sistema apresentado em projeto.

O presente trabalho propõe o método de monitoramento e verificação (M&V) simplificado utilizado por Sartor (2022) para averiguar a coerência técnica de uma microgeração residencial fotovoltaica conectada à rede ao comparar os parâmetros apresentados em projeto com sua execução.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia fotovoltaica

De acordo com Hinrichs, Kleinbach e Reis (2012), a geração de energia fotovoltaica (FV) é o resultado da conversão de luz solar em eletricidade. Seu início não é recente, mas foi em 1950 que ganhou notoriedade, logo após sua utilização no programa espacial norte-americano. Os sistemas fotovoltaicos são alternativas com vantagens importantes em termos econômicos, mas os custos para toda a população ainda são fatores a serem considerados. Dessa forma, cabe considerar a necessidade de redução dos custos tendo como foco o monitoramento da eficiência das células, do projeto e de sua execução.

De acordo com Diamandis (2014), a diminuição dos preços colabora para o aumento da implementação dos sistemas fotovoltaicos. Em 2021 a capacidade solar mundial instalada conectada à rede atingiu 167,8 GW, adição de 21% em relação ao ano anterior, conforme Schmela (2022). Mesmo com a pandemia do covid-19 e os problemas advindo deste acontecimento, o setor fotovoltaico mundial continuou em ascensão.

Embora os benefícios sejam vislumbrados, o fato dos sistemas fotovoltaicos não se difundirem em larga escala em um curto período é justificado por fatores tecnológicos, econômicos e políticos, tendo em vista a falta de investimentos em comparação com outras fontes. É importante discutir a necessidade de alinhar a produção com as demandas para que os brasileiros possam usufruir de energia sustentável. De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030 (MME, 2007), o consumo de energia pode atingir 950 a 1250 TWh/ano, algo que evidencia a dependência de um sistema que possibilite a geração de energia elétrica viável e abundante.

O Balanço Energético Nacional (BEN) de 2025 revela que o consumo de eletricidade do Brasil em 2024 cresceu 5,5% em relação ao ano anterior, aumentando o consumo de 616,3 TWh para 650,4 TWh (EPE, 2025).

A geração de energia fotovoltaica é estruturada através de duas configurações possíveis: os isolados e os conectados à rede elétrica. No sistema isolado, também chamados de

autônomos, se tem um acumulador de energia como sistemas de baterias. Em contrapartida, os sistemas conectados à rede elétrica funcionam como usinas que geram energia elétrica e não necessitam do acumulador. Eles estão em constante crescimento nos últimos anos.

A Resolução Normativa nº482/2012 publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) regulamenta a geração distribuída de energia e a Lei 14.300/2022 estabelece as regras para a micro e minigeração distribuída de energia elétrica. Através dessas políticas o consumidor pode produzir a própria eletricidade sustentável e limpa.

Nos sistemas conectados à rede elétrica é acrescido um sistema de compensação junto a concessionária de distribuição elétrica, que contabiliza mensalmente a geração de energia elétrica ativa inserida na rede e o consumo da unidade consumidora para mensurar a diferença entre ambas.

De forma simplificada: se ao final do mês a diferença calculada na compensação for positiva, implica que o consumidor injetou na rede da concessionária mais energia do que a unidade consumiu, portanto, ele recebe créditos de energia da concessionária para abater o consumo em meses posteriores e a fatura se resume ao pagamento de tarifa básica definida pela concessionária. Porém se a diferença calculada for negativa o consumo ultrapassou a geração, de modo que, o consumidor recebe a fatura referente à tarifa básica acrescida da diferença de consumo adicional em relação a produção (Dantas, 2018).

2.2 Medição e Verificação (M&V)

A Efficiency Valuation Organization (EVO) (2025) define método M&V como: o processo de planejamento, medição, coleta e análise de dados. O objetivo do método é verificar e reportar a economia de energia resultante da implementação de medidas de conservação de energia.

Sartor (2022) utilizou uma metodologia simplificada do método M&V na realização de um estudo de caso aplicada ao cenário fotovoltaico, com intuito de solucionar um problema prático utilizando medição e análise de dados. Em sua pesquisa definiu-se um fluxograma em etapas para melhor entendimento e aplicação do método.

Na etapa 1, define-se o período de monitoramento dos dados pós-instalação do sistema, para análise através do comparativo entre os dados estimados em projeto e os dados reais mensurados pelo inversor. A etapa 2 define qual é o período de pré-instalação do sistema que seja a base de dados para comparar os dados estimados e medidos, e então, constatar a real

economia. Por fim, na etapa 3 faz-se uma análise técnica com objetivo de averiguar a fidelidade entre o projeto e a execução de projeto.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada por Sartor (2022) foi aplicada no presente trabalho em um sistema fotovoltaico conectado à rede com potência instalada de 1kWp que alimenta duas unidades consumidoras. O sistema abastece a unidade geradora, onde o sistema está anexado, e uma unidade secundária é alimentada com os créditos de energia excedente. As características do sistema fotovoltaico são explanadas na seção 3.1.

3.1 Descrição do objeto de estudo

Para o estudo realizado foi analisada uma unidade consumidora (UC) residencial alimentada por um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica da concessionária COSERN. A unidade geradora e a unidade secundária estão localizadas no oeste potiguar, cidade de Apodi na zona rural e urbana, respectivamente. O Quadro 1 mostra o resumo dos dados das UCs, enquanto o Quadro 2 mostra os dados do sistema projetado pela empresa responsável pela instalação da microgeração. O perfil de consumo utilizado em projeto difere do consumo da unidade, pois o cliente deseja aumentar o número de cargas e solicitou um sistema sobredimensionado.

Para suprir a demanda de eletricidade das residências foram utilizados 14 painéis fotovoltaicos de 560 Wp montados em duas *strings box* da fabricante *Clamper*, totalizando 7,84kWp de potência instalada. Os painéis são fornecidos por Jiangsu Rio Solar Tecnologia, marca *Tsun Power*, modelo TS560S8B. O inversor aplicado é da marca SAJ, modelo R5-6K-S2-15.

Quadro 1: Dados da unidade consumidora.

Referência	Valor
Σ Consumo	6872 kWh/ano
Σ Consumo médio	572,67 kWh/mês
Irradiação local	5,94 kWh/m ² /dia
Tarifa	R\$ 0,4326
Grupo tarifário	B

Fonte: Adaptado de Sartor (2022).

Quadro 2: Dados de projeto do sistema.

Referência	Valor
Consumo	12.000 kWh/ano
Consumo médio	1.000 kWh/mês
Módulo: Tsun Power	14 unidades
Potência do sistema	7,84 kWp
Potência do inversor	6 kW
Custo específico	2.141,65 R\$/kWp
Geração no 1º ano	12.580,50 kWh

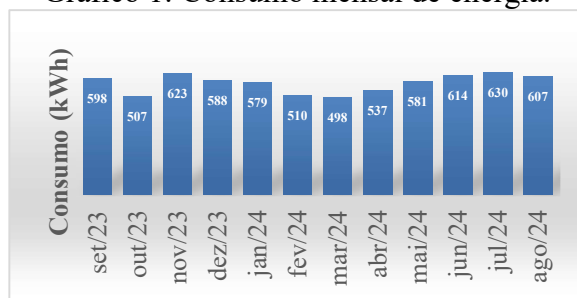
Fonte: Adaptado de Sartor (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise do consumo de energia elétrica

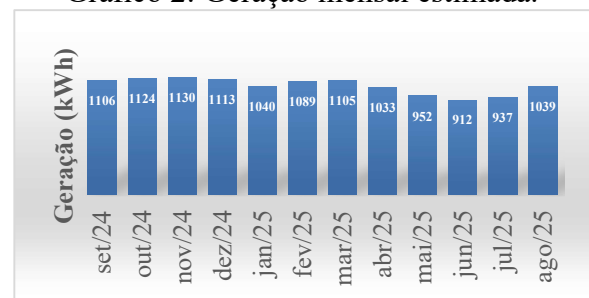
O Gráfico 1 ilustra o consumo mensal real de energia elétrica mensurado antes da instalação da microgeração, referente a agosto de 2023 até setembro de 2024, período de um ano de observação. Com consumo anual de 6.872 kWh e consumo médio mensal de 572,67 kWh.

Gráfico 1: Consumo mensal de energia.



Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 2: Geração mensal estimada.



Fonte: Autoria própria (2025).

O Gráfico 2 mostra a geração mensal estimada em projeto para a geração solar. Que esperasse produzir no primeiro ano 12.580 kWh, com média de 1.048 kWh mensalmente.

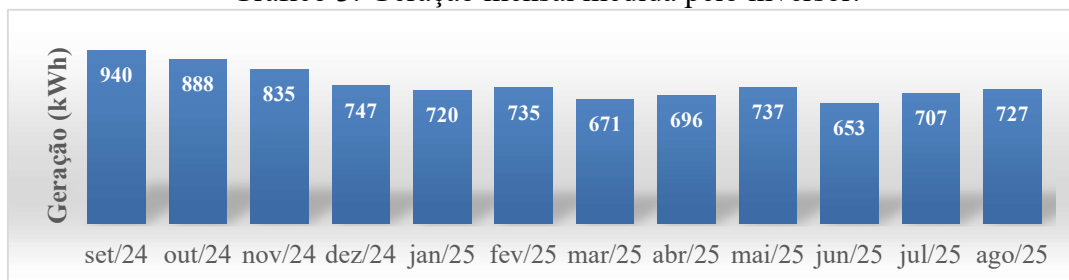
De acordo com Sartor (2022), para implementar o método M&V simplificado é necessário definir o período de referência do estudo, chamado de linha base. Ela será compreendida desde setembro de 2023 até agosto de 2024, intervalo de tempo usado para o dimensionamento da microgeração. O monitoramento e análise dos dados medidos pelo inversor ocorrerá no período pós-instalação, desde setembro de 2024 até agosto de 2025.

Por fim, serão comparados os dados da geração estimada e a geração real e constatada se a relação entre elas, de igualdade ou aproximação, é verídica

4.2 Análise técnica

O Gráfico 3 mostra a geração mensal monitorada pelo inversor, enviada ao cliente via aplicativo *elekeeper* por conexão *wi-fi*. A soma da geração monitorada resulta em 9.056 kWh/ano e a geração média mensal é de 755 kWh. Nota-se uma elevada discrepância entre os valores projetados e medidos. Enquanto o projeto prevê uma produção de 12.580,50 kWh no primeiro ano de uso da microgeração, o valor mensurado pelo inversor aponta a produção de 9.056kWh, havendo uma diferença de 28% menor em relação ao esperado.

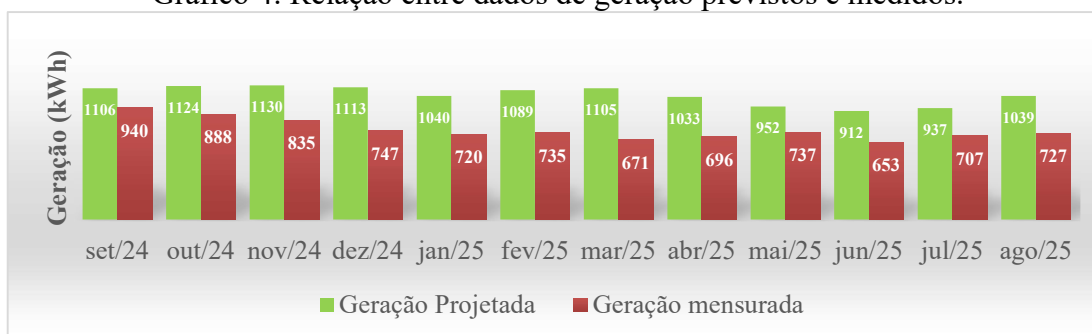
Gráfico 3: Geração mensal medida pelo inversor.



Fonte: Autoria própria (2025).

A observação do Gráfico 4 traz uma melhor visualização do panorama da geração, nota-se que em todos os meses a produção se manteve abaixo do que foi projetado, reduzindo a confiabilidade e eficiência do sistema. O mês que ocorreu maior discrepância foi em março de 2025, a qual houve 434 kWh de diferença. A média mensal da geração prevista em projeto foi de 1.048,33 kWh, enquanto a média mensal da geração mensurada foi de 755 kWh, valor 293 kWh abaixo do esperado

Gráfico 4: Relação entre dados de geração previstos e medidos.



Fonte: Autoria própria (2025).

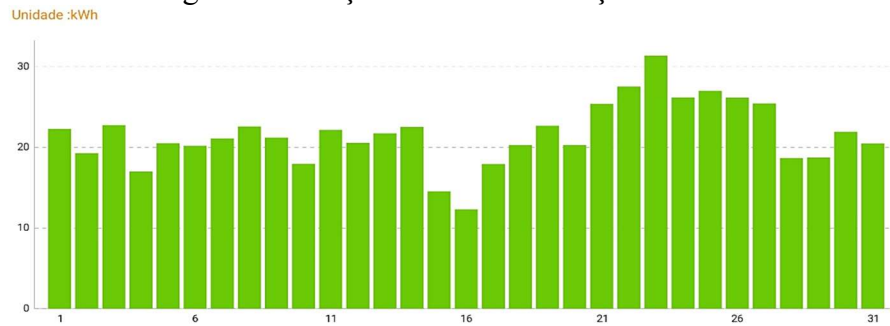
Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), durante o mês de março a região do oeste potiguar esteve sob influência de períodos chuvosos com céu nublado, reduzindo a capacidade geradora do sistema. A Figura 3 mostra a variação na geração nos dias do mês de março de 2025 fornecida pelo aplicativo *Elekeeper*.

Vê-se que no dia 16/03/2025 a geração registrou o menor valor produzido dentre os demais. Em oposição, no dia 23/03/2025 o sistema conseguiu ter melhor desempenho ultrapassando a produção diária de 30kWh. O gráfico da análise da curva de geração de ambas as situações anteriores pode ser visto na Figura 4, respectivamente, na primeira e na segunda curva. A terceira curva da Figura 4 ilustra a produção de eletricidade em um dia ensolarado, no

dia 29/10/2025, percebe-se inexistência de interferência ao ver a suavidade da curva. Este é o perfil de produção desejado para o sistema.

Além da interferência climática através dos dias nublados e chuvosos, o sombreamento em áreas rurais também é um fator que deve ser analisado na busca da melhoria da produção de energia. Árvores, construção de novas casas ou edifícios são fatores que podem alterar o estudo de sombreamento realizado no início do projeto.

Figura 3: Geração medida em março de 2025.



Fonte: Elekeeper (2025).

Figura 4: Curvas de geração fotovoltaica medidas.



Fonte: Elekeeper (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento do panorama de geração solar mundial e brasileiro já aponta para o aumento constante da disseminação dessa fonte limpa, renovável e sustentável. Os estudos científicos nesse tipo de geração se difundem e ganham mais visibilidade a cada ano, confirmando a eficácia do uso da energia solar para geração de eletricidade.

A avaliação técnica de sistemas e a busca por melhorias impulsionam o setor a se especializar e tornar mais eficaz os equipamentos e suas tecnologias. Nesta pesquisa foi

abordado e utilizado de modo simplificado o método de Monitoramento e Verificação (M&V) que auxiliou na averiguação técnica de um sistema microgerador fotovoltaico residencial.

A análise dos dados coletados permitiu a identificação da ineficiência técnica do empreendimento quanto a geração elétrica, que se manteve sempre abaixo da estimativa de projeto. Constatou-se uma elevada discrepância entre os valores projetados e medidos quantificado em 28%. Enquanto o projeto previa uma produção de 12.580,50 kWh/ano no primeiro ano de uso da microgeração, o valor mensurado pelo inversor apontou a produção de 9.056 kWh. A média mensal da geração mensurada foi de 755 kWh, valor 293 kWh abaixo do esperado, previsto para ser próximo de 1.048 kWh.

Para realização de futuras expansões deste estudo indica-se a realização de trabalhos em meteorologia e sombreamento, com apresentação de diagrama unifilar e multifilar, evidenciando as possíveis perdas de geração por fatores externos e naturais como sombras, sujeidade, e eventos climáticos. Além de realização de cálculo alternativo, visando comparar os resultados do sistema dimensionado com um memorial de cálculo baseado em literatura.

REFERÊNCIAS

DANTAS, Stefano Giacomazzi; POMPERMAYER, Fabiano Mezadre. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Texto para Discussão 2388, Institute of Applied Economic Research (ipea), Brasília, 2018. Disponível em: <www.econstor.eu/bitstream/10419/211339/1/1024301222.pdf>. Acesso em 07 dez. 2025.

DIAMANDIS, P. Solar energy revolution: a massive opportunity. New York: Forbes, Sept. 2014. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/peterdiamandis/2014/09/02/solarenergy-revolution-a-massive-opportunity/#56994e866c90>>. Acesso em: 07 dez. 2025.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **BEN - Relatório Síntese 2025: Ano base 2024**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-885/topico-767/BEN_S%C3%ADntese_2025_PT.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2025.

EVO, Efficiency Valuation Organization. **What is M&V**. Disponível em <: <https://evo-world.org/en/m-v/what-is-m-v>>. Acesso em 07 dez. 2025.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACH, Merlin; REIS, Lineu Belico dos. *Energia e meio ambiente*. Tradução técnica de Flávio Maron Vichi e Leonardo Freire de Mello. 2. reimpr. da 2. ed. de 2010. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

IEA, International Energy Agency. **Energy Statistics Data Browser**. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=BRAZIL&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>>. Acesso em: 07 dez. 2025.

MME, Ministério das Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. p. 192, Brasília, 2007. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/plano-nacional-de-energia-2030-pdf.pdf>>. Acesso em 07 dez. 2025.

SARTOR, Paulo Henrique. **Monitoramento e verificação de sistemas fotovoltaicos: análise técnica e econômica**. 56 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Paraná, 2022.

SCHMELA, Michael. **Global Market Outlook For Solar Power 2022 - 2026**. Brussels: SolarPower Europe, 2022. Disponível em: <https://api.solarpowereurope.org/uploads/Solar_Power_Europe_Global_Market_Outlook_report_2022_2022_V2_2_87bd2c1e44.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2025.