



Análise Comparativa da Geração Solar Fotovoltaica Através do Power BI

Comparative Analysis of Solar Photovoltaic Generation Using Power BI

Análisis Comparativo de la Generación Solar Fotovoltaica Mediante Power BI

Juliana Tormim Sader ¹

Fernando Nunes Belchior ²

Marcelo Stehling de Castro ³

Jonas Bertholdi ⁴

Resumo

Considerando a crescente relevância das fontes de energia renovável na matriz elétrica brasileira, especialmente após o acréscimo recorde de 10,9 GW em 2024 — com destaque para a energia solar fotovoltaica, que representou 51,87% da nova capacidade instalada —, justifica-se a necessidade de estudos voltados à eficiência dessa fonte energética. Objetiva-se, neste trabalho, analisar o desempenho de usinas solares fotovoltaicas já em operação, a fim de acompanhar sua eficiência ao longo da vida útil. Para tanto, procede-se à elaboração de indicadores de desempenho com base nos dados fornecidos pelos fabricantes dos inversores das usinas, os quais serão organizados e monitorados por meio de um painel em Power BI. Desse modo, observa-se que o uso de ferramentas de Business Intelligence permite não apenas a visualização clara dos dados de geração, mas também a identificação de oportunidades de melhoria operacional. Isso permite concluir que a análise contínua de desempenho contribui significativamente para o aumento da eficiência da geração solar, além de fomentar soluções inovadoras e sustentáveis para o setor energético. O estudo está alinhado aos princípios do

¹Graduanda em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Goiás, Brasil.

E-mail: julianatsader@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-1516-3362>

²Doutor em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

E-mail: fnbelchior@ufg.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1385-3374>

³Doutor em Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília. Brasília, Distrito Federal, Brasil.

E-mail: mcastro@ufg.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3279-6977>

⁴Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

E-mail: bertholdi@ufg.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5729-6733>





ODS 7 da Agenda 2030 da ONU, reforçando o compromisso com a promoção de energia limpa e acessível.

Palavras-chave: Usinas Fotovoltaicas. Eficiência Energética. Power BI. Sustentabilidade. Análise de Dados.

Abstract

Considering the growing relevance of renewable energy sources in Brazil's electricity matrix—especially after the record increase of 10.9 GW in 2024, with solar photovoltaic energy accounting for 51.87% of the new installed capacity—this study highlights the need for research focused on the efficiency of this energy source. This work aims to analyze the performance of already operational solar photovoltaic power plants in order to monitor their efficiency throughout their life cycle. To this end, performance indicators will be developed based on data provided by inverter manufacturers, which will be organized and monitored through a Power BI dashboard. Thus, it is observed that the use of Business Intelligence tools allows not only a clear visualization of generation data but also the identification of operational improvement opportunities. This leads to the conclusion that continuous performance analysis significantly contributes to increasing solar generation efficiency, while also fostering innovative and sustainable solutions for the energy sector. The study aligns with the principles of SDG 7 of the United Nations 2030 Agenda, reinforcing the commitment to promoting clean and affordable energy.

Keywords: Photovoltaic Power Plants. Energy Efficiency. Power BI. Sustainability. Data Analysis.

Resumen

Considerando la creciente relevancia de las fuentes de energía renovable en la matriz eléctrica brasileña —especialmente tras el aumento récord de 10,9 GW en 2024, con la energía solar fotovoltaica representando el 51,87% de la nueva capacidad instalada—, se justifica la necesidad de estudios centrados en la eficiencia de esta fuente energética. Este trabajo tiene como objetivo analizar el desempeño de plantas solares fotovoltaicas ya en operación, con el fin de monitorear su eficiencia a lo largo de su vida útil. Para ello, se elaborarán indicadores de desempeño basados en los datos proporcionados por los fabricantes de inversores, los cuales serán organizados y monitoreados mediante un panel en Power BI. De este modo, se observa que el uso de herramientas de inteligencia empresarial permite no solo una





visualización clara de los datos de generación, sino también la identificación de oportunidades de mejora operativa. Esto permite concluir que el análisis continuo del desempeño contribuye significativamente al aumento de la eficiencia en la generación solar, además de fomentar soluciones innovadoras y sostenibles para el sector energético. El estudio está alineado con los principios del ODS 7 de la Agenda 2030 de la ONU, reforzando el compromiso con la promoción de energía limpia y asequible.

Palabras clave: Plantas Fotovoltaicas. Eficiencia Energética. Power BI. Sostenibilidad. Análisis de Datos.

Introdução

Nas últimas décadas, a busca por fontes de energia limpa e renovável tornou-se uma prioridade global, impulsionada pelos desafios relacionados à sustentabilidade ambiental, à escassez de recursos naturais e à necessidade de diversificação da matriz energética. No Brasil, esse movimento tem sido especialmente notável com a expansão da energia solar fotovoltaica, que vem conquistando espaço significativo na geração distribuída e centralizada, devido à sua abundância de radiação solar e aos avanços tecnológicos do setor.

Com o crescimento acelerado das instalações fotovoltaicas, surge a necessidade de aperfeiçoar os mecanismos de monitoramento e gestão dessas usinas, garantindo que operem com eficiência e segurança ao longo do tempo. A identificação de falhas, a programação adequada de manutenções e a análise da produção energética frente às condições climáticas e operacionais são aspectos fundamentais para a otimização do desempenho desses sistemas.

A partir desse contexto, a presente pesquisa se propõe a desenvolver um sistema de análise de dados que contribua para o monitoramento eficiente e a otimização do desempenho de usinas fotovoltaicas. A justificativa para o estudo está ancorada na relevância da análise de dados como ferramenta estratégica de gestão, capaz de transformar informações operacionais em inteligência para tomada de decisão, especialmente em um setor que demanda alta performance e confiabilidade.

O estudo adota como objeto de análise as usinas solares fotovoltaicas instaladas pela empresa RAVI – Soluções em Energia. Por meio de um estudo de caso, pretende-se desenvolver um sistema baseado em *Business Intelligence* (BI), com dashboards que centralizam os principais indicadores de desempenho, possibilitando a visualização dinâmica





e facilitando a identificação de oportunidades de melhoria.

Ao final da pesquisa, espera-se contribuir com práticas de gestão mais eficientes, promover o uso estratégico de dados na operação de usinas solares e fortalecer os princípios de sustentabilidade e inovação tecnológica aplicados ao setor energético.

1.1 Objetivos do Trabalho

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema de análise de dados de desempenho para usinas fotovoltaicas, com foco nos indicadores de eficiência e produção, por meio do estudo de caso das usinas instaladas pela empresa RAVI – Soluções em Energia.

1.1.2 Objetivos específicos

- Investigar os principais indicadores de desempenho do setor fotovoltaico, com ênfase na produtividade específica, geração real versus estimada e rendimento final;
- Realizar a análise histórica de dados das usinas da RAVI, identificando padrões de desempenho e pontos críticos de intervenção;
- Construir dashboards interativos para monitoramento da instalação e operação das usinas, com destaque para variáveis como manutenção e limpeza;
- Comparar a produção de energia em diferentes cidades, estações do ano e condições climáticas, buscando compreender como esses fatores afetam o desempenho das usinas;
- Gerar informações estratégicas que contribuam para decisões assertivas na gestão energética e para a melhoria contínua da eficiência operacional das usinas.

Referencial Teórico

A energia solar fotovoltaica tem origem no efeito fotovoltaico, descoberto por Edmond Becquerel em 1839. Embora o primeiro dispositivo tenha surgido em 1876, a produção industrial só começou em 1956, com o avanço da eletrônica (PINHO; GALDINO, 2014). A tecnologia foi inicialmente aplicada em telecomunicações e na corrida espacial, sendo





posteriormente impulsionada por crises energéticas, como a do petróleo em 1973. Programas como a Iniciativa Mil Telhados Solares, lançada em 1997 nos EUA, e políticas governamentais na Alemanha e Japão, alavancaram a adoção da tecnologia (MESSENGER; VENTRE, 2010). A partir de 2006, a China liderou a produção mundial, e em 2012 o setor atingiu 36,2 GWp (MESSENGER; VENTRE, 2010).

A energia solar está alinhada ao ODS 7 da ONU, promovendo o acesso sustentável à eletricidade (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015). Considerada limpa e renovável, não gera emissões de gases poluentes e possui vantagens como instalação simples, baixa manutenção e economia de até 95% na conta de luz (PORTAL SOLAR, 2024a).

O funcionamento dos sistemas fotovoltaicos se baseia na conversão da luz solar em eletricidade por meio de materiais semicondutores, sendo a corrente contínua transformada em alternada por inversores (JJ ENGENHARIA, 2023; PORTAL SOLAR, 2024b). Os módulos podem ser monocristalinos, policristalinos ou de filme fino, diferenciando-se pela eficiência e área necessária (BOCCIERO *et al.*, 2023; ERICKSON, 2022). Os inversores, por sua vez, classificam-se em autocomutados e comutados pela rede, com aplicações específicas conforme o tipo de controle e conexão elétrica (MOHAN; UNDELAND; ROBBINS, 1995; PINHO; GALDINO, 2014).

Os sistemas podem ser on-grid, off-grid ou híbridos. O primeiro está conectado à rede, o segundo é isolado e o terceiro combina as duas configurações (CASARIN, 2024; DAMASCENO, 2023). No Brasil, a energia solar é a segunda maior fonte da matriz elétrica, com 41 GW instalados em abril de 2024 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR), 2025a).

A manutenção adequada — preditiva, corretiva e preventiva — é essencial para garantir o desempenho a longo prazo (BHATIA, 2014; PORTAL SOLAR, 2024a). Por fim, a análise de dados permite transformar grandes volumes de informação em insights estratégicos. Existem quatro tipos principais de análise: descritiva, exploratória, preditiva e prescritiva (ESCOLA DE DADOS, 2019), aplicadas a diferentes tipos de dados (ESCOLA SUPERIOR DE REDES, 2022). A visualização, por meio de gráficos e dashboards, facilita tanto a descoberta de padrões como a comunicação de resultados (IBM, 2024).

Metodologia

Este trabalho tem como objetivo otimizar o desempenho das usinas solares



fotovoltaicas por meio da análise detalhada dos dados de geração de energia, utilizando a plataforma *Power BI*. A análise se concentra na avaliação de diferentes módulos e inversores, assim como em diversos indicadores de performance, com o intuito de identificar oportunidades de melhoria e maximizar a eficiência energética.

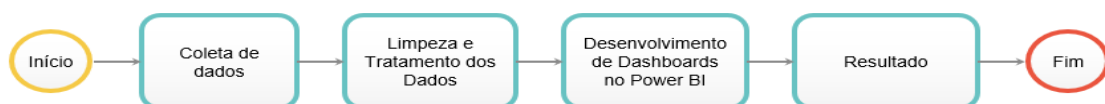
Ao trazer essa ferramenta para o mercado, podem proporcionar um impacto positivo para a sociedade, permitindo que as empresas otimizem o desempenho de suas usinas e disponham de indicadores para determinar quando os painéis solares devem ser substituídos ou quando é necessária a manutenção ou limpeza. Isso contribuirá para uma maior sustentabilidade e eficiência no setor de energia renovável.

Os dados utilizados neste estudo foram coletados diretamente das usinas solares instalados pela empresa RAVI - Soluções em Energia, abrangendo medições de potência real nos painéis, informações sobre a irradiação solar, além das especificações técnicas dos módulos e inversores. A coleta foi realizada em intervalos regulares para garantir a consistência e a precisão dos dados. As fontes incluem sistemas de monitoramento instalados nas usinas, registros fornecidos pela empresa e dados de irradiação por cidade fornecidos pelo CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB, 2000).

Como pode ser observado no Fluxograma de ações abaixo, antes de serem inseridos na plataforma *Power BI*, os dados passaram por um processo de limpeza e tratamento. Isso envolveu a formatação dos dados para adequarem no formato de análise do *Power BI*, remoção de inconsistências e a padronização das unidades de medida para garantir a comparabilidade. Também foram aplicadas técnicas de normalização para alinhar os dados de diferentes usinas e períodos de coleta, facilitando assim a análise comparativa entre elas, como pode ser observado no fluxograma da figura 1.

Figura 1

Fluxo de tratamento e análise de dados



Os *dashboards* foram desenvolvidos diretamente no *Power BI* com o objetivo de proporcionar uma visualização clara e intuitiva dos dados de desempenho das usinas. Para isso, foram utilizados gráficos de linha para monitorar a evolução da potência ao longo do tempo, a produtividade específica (Y_f) em diferentes condições de irradiação, o desempenho



das usinas, rendimento final e todos os principais dados referentes a cada usina, tais como potência total, quantidade de módulos e inversores, bem como as características destes equipamentos. A interface foi projetada para permitir uma análise rápida e precisa, com filtros que facilitam a segmentação dos dados por período, local, tipo de equipamento ou usina instalada.

A análise de desempenho focou em vários aspectos para a análise para otimização das usinas:

- **Escolha de Módulos e Inversores:** A performance de diferentes módulos e inversores foi avaliada com base em sua eficiência energética e durabilidade. A análise comparativa permitiu identificar quais combinações resultaram em melhor desempenho nas condições específicas das usinas estudadas.
- **Produtividade Específica (Yf):** O indicador Yf foi calculado relacionando a potência estimada gerada com a geração real medida nos painéis. Este indicador forneceu uma visão detalhada sobre a eficiência operacional das usinas em diferentes condições de operação. (1)

$$Yf = \frac{\text{Geração real (kW)}}{\text{Potência da usina (kWp)}} \quad (1)$$

- **Comparação de Geração:** Foram realizadas comparações entre a geração real de energia e as projeções de geração em 100% (2) e 75% (3) de capacidade, considerando a irradiação solar disponível no local da instalação. Essa análise permitiu identificar desvios e possíveis causas de subdesempenho.

$$\text{Geração 100\%} = \text{Potência da Usina (kWp)} * \text{Irradiação local} * \text{dias no mês} \quad (2)$$

$$\text{Geração 75\%} = \text{Geração 100\% (kW)} * 0,75 \quad (3)$$

- **Desempenho de Energia (PR):** A análise do desempenho de energia envolveu a comparação entre a geração real e a estimada, destacando variações significativas que poderiam indicar problemas de operação ou manutenção. (4)



$$PR = \frac{\text{Geração real (kW)}}{\text{Geração 75\% (kW)}} \quad (4)$$

- **Rendimento Final:** O rendimento final foi calculado ao relacionar a potência estimada em 100% com a geração real de energia. Esse indicador foi essencial para avaliar a eficiência global das usinas e identificar áreas para otimização. (5).

$$RF = \frac{\text{Geração real (kW)}}{\text{Geração 100\% (kW)}} \quad (5)$$

Os resultados obtidos foram validados por meio da comparação com estudos de desempenho estabelecidos na literatura e *cases* semelhantes, além de conferências dos valores nas plataformas dos inversores de frequência. Esta validação garantiu a confiabilidade dos resultados e reforçou as conclusões do estudo.

A coleta de dados foi realizada em colaboração com a RAVI – Soluções em Energia, que forneceu um conjunto abrangente de informações sobre 181 usinas solares fotovoltaicas. Esses dados foram inicialmente recebidos em formato Excel, o que facilitou a manipulação e análise inicial. O principal *software* utilizado neste projeto foi o Power BI, uma plataforma de análise de dados que permitiu a criação dos *dashboards*.

Após a importação dos dados para o *Power Query*, uma ferramenta do Power BI dedicada à preparação de dados, foi realizada uma limpeza inicial, incluindo a remoção de colunas desnecessárias e a eliminação de linhas em branco ou duplicadas. Essa etapa foi crucial para garantir a manutenção apenas dos dados relevantes. Em seguida, os dados foram formatados para adequá-los ao modelo de análise do Power BI, convertendo formatos de data e numéricos, além de padronizar as unidades de medida, assegurando a consistência em todo o conjunto de dados. Inconsistências, como dados faltantes ou valores que não seguiam o padrão esperado, foram identificadas e corrigidas, garantindo a integridade dos dados para as análises subsequentes.

Técnicas de normalização foram aplicadas para facilitar a comparação entre as usinas, alinhando os dados de diferentes usinas e períodos de coleta. Além do Power BI, foram utilizadas outras ferramentas, como Excel para a organização inicial dos dados e fonte de consulta das informações, e scripts no *Power Query* para automatizar parte do processo de tratamento e normalização dos dados. Após o tratamento, os dados foram carregados no Power BI, permitindo a criação de um modelo de dados eficiente, onde as relações entre diferentes

tabelas foram definidas.

Com os dados organizados, foram desenvolvidos *dashboards* no Power BI, oferecendo visualizações claras e intuitivas sobre o desempenho das usinas, como gráficos de linha para monitorar a evolução da potência ao longo do tempo e outros gráficos para analisar a produtividade específica (Y_f) em diferentes condições de irradiação.

Resultados e Discussões

O estudo de caso foca na análise de dados coletados de 181 usinas solares fotovoltaicas, fornecidos pela RAVI – Soluções em Energia, que se destacou pela qualidade e abrangência das informações. Esses dados foram essenciais para entender o desempenho das usinas ao longo do tempo e identificar padrões de produtividade.

Ao examinar os dados, observou-se que, ao longo dos meses, havia uma queda gradual na produtividade das usinas, evidenciada por uma redução na geração de energia em comparação com os valores estimados. Essa perda de eficiência pode ser atribuída a vários fatores, como:

- **Acúmulo de sujeira e fuligem:** Especialmente em áreas onde queimadas são frequentes, a sujeira acumulada nos painéis solares limita sua capacidade de captação de energia. As medições indicaram que a limpeza regular dos painéis poderia melhorar significativamente a eficiência;
- **Falhas em componentes técnicos:** Dados indicaram que algumas usinas apresentavam problemas recorrentes em inversores, resultando em períodos de inatividade e, conseqüentemente, perda de geração;
- **Condições ambientais adversas:** As características climáticas do cerrado goiano, como períodos prolongados de seca e poeira, foram identificadas como fatores que impactam diretamente a produtividade das usinas.

Com base nessas observações, a análise revelou a necessidade urgente de implementar indicadores que monitorassem a performance das usinas em tempo real. Isso não só permitiria que as empresas responsáveis tomassem decisões informadas sobre a manutenção e limpeza, mas também proporcionaria uma maneira eficaz de otimizar os produtos oferecidos pelas empresas fornecedoras de painéis solares.

As informações coletadas não apenas confirmaram a hipótese da queda de produtividade, mas também destacaram a importância de um monitoramento contínuo e de



ações corretivas. A utilização de dashboards permitirá que os gestores visualizem dados em tempo real, identifiquem desvios de performance e acionem rapidamente as manutenções necessárias.

Além disso, a colaboração com a RAVI será crucial para validar as estratégias propostas. Ao aplicar as soluções discutidas e observar seus impactos em usinas já operacionais, será possível ajustar os processos e estratégias conforme a realidade do mercado. Isso não só garantirá a eficiência energética, mas também contribuirá para a sustentabilidade do setor de energia solar em Goiás.

Particularmente no estado de Goiás, o crescimento na adoção de usinas solares tem sido expressivo, o que pode ser atribuído às condições climáticas favoráveis, que oferecem grande potencial para captação de raios solares. Entretanto, apesar dessas vantagens iniciais, os desafios relacionados à queda de produtividade ao longo do tempo são significativos, exigindo uma abordagem cuidadosa para garantir a eficiência dos sistemas.

Entre as soluções propostas, destaca-se o monitoramento contínuo da produtividade. Por meio de dashboards que capturam em tempo real a performance dos painéis solares, é possível identificar rapidamente qualquer queda na eficiência. A manutenção preventiva automatizada será facilitada por alertas gerados pelo sistema de monitoramento, permitindo que as empresas reajam prontamente a desvios na produtividade e realizem as limpezas, consertos ou substituições necessárias. Além disso, a notificação ao cliente em caso de queda na produtividade permitirá uma comunicação ágil, sugerindo visitas técnicas para investigar e solucionar possíveis causas.

O impacto dessas medidas na sociedade é significativo. Com a otimização da manutenção dos sistemas fotovoltaicos, as usinas solares se tornam mais produtivas, contribuindo para a geração de energia limpa em maior escala. Essa eficiência também se traduz em uma redução de custos operacionais, já que a manutenção preventiva evita problemas maiores que podem se tornar mais custosos a longo prazo. Melhorar a eficiência dos sistemas solares aumenta a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira, diminuindo a dependência de fontes poluentes e contribuindo para a redução da pegada de carbono.

Os próximos passos do estudo envolverão a implementação das soluções em usinas já existentes, visando avaliar o impacto de cada fator identificado na produtividade e na geração de energia ao longo do tempo. Esse processo permitirá uma análise mais detalhada sobre a real influência de fatores ambientais e técnicos, possibilitando ajustes nos processos de



manutenção e monitoramento para maximizar a geração de energia solar. A continuidade desse trabalho será essencial para garantir não apenas a eficiência energética, mas também a sustentabilidade do setor de energia solar em Goiás.

Além dessas análises, foram apresentadas medidas potenciais para melhorar o desempenho dos sistemas fotovoltaicos, com o desenvolvimento de cálculos de indicadores de performance específicos. O Power BI foi o principal *software* utilizado para comparar usinas quanto aos seus indicadores de performance, proporcionando uma visualização de dados estratégica para o aprimoramento contínuo desses sistemas. Juntamente com o Excel e o *Power Query*, o Power BI facilitou a organização, análise e automação dos dados, garantindo a confiabilidade dos resultados e o suporte para a tomada de decisões. As imagens das páginas do dashboard criado estão apresentadas a seguir, ilustrando a visualização e análise dos indicadores de performance ao longo do estudo.

- Usinas: informações gerais básicas da instalação de usinas da empresa

Figura 2

Visualização da página “Usinas” da dashboard

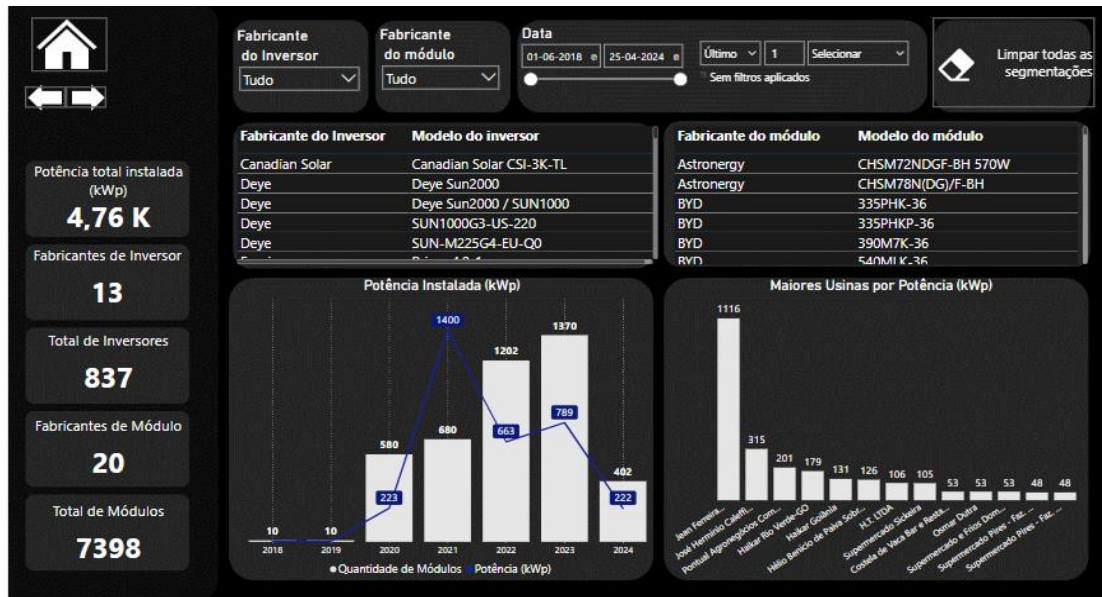


- Potência: informações gerais acerca da geração de energia das usinas instaladas



Figura 3

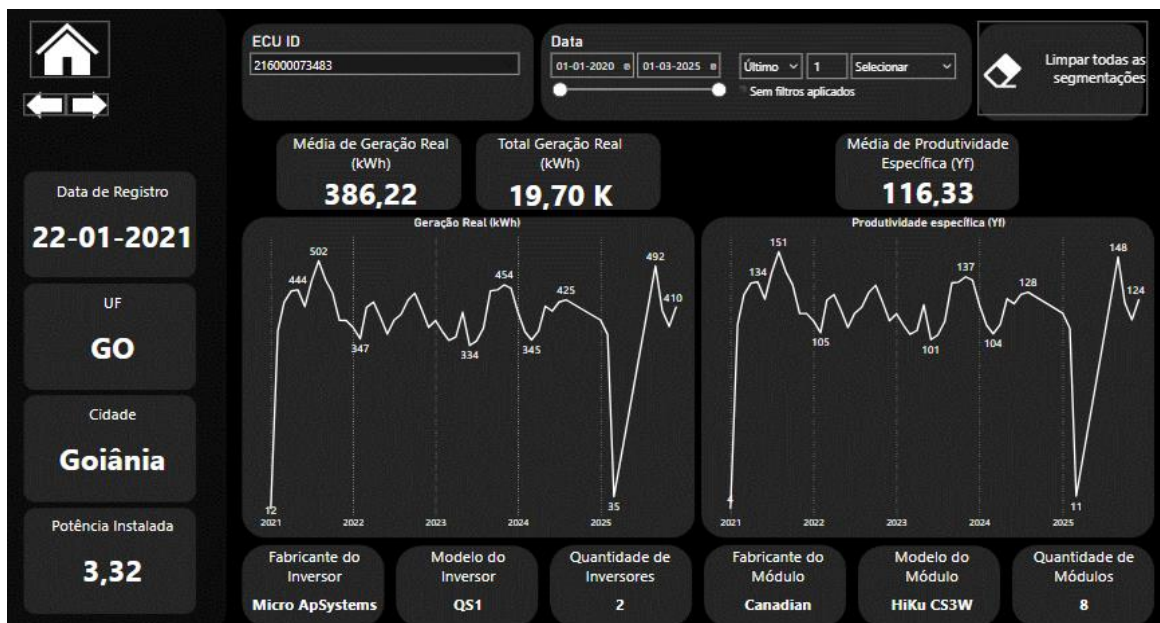
Visualização da página “Potência” da dashboard



- Individual: Dados por usina indicando informações de geração e produtividade para acompanhamento da relação entre as escolhas de modelos e a quantidade de módulos e inversores.

Figura 4

Visualização da página “Individual” da dashboard



- Produtividade: Indicadores de desempenho de energia relacionados a cada usina

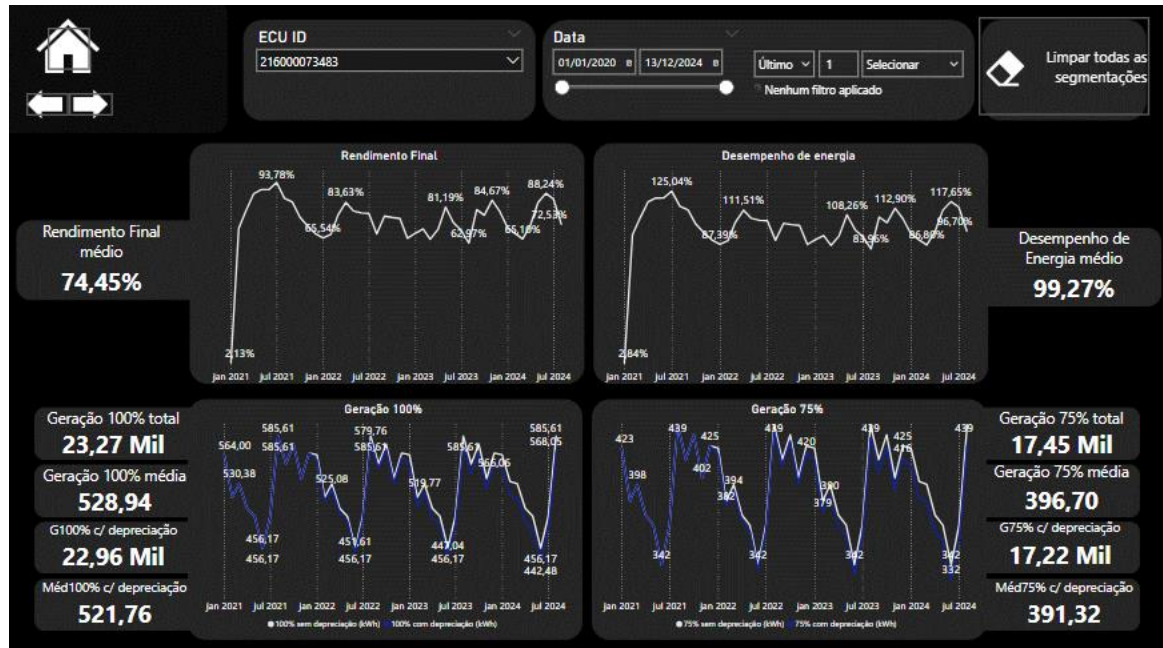




instalada, incluindo a geração estimada sem e com depreciação, rendimento e desempenho.

Figura 5

Visualização da página “Usinas” da dashboard



- Relatório: Tabela de dados consolidados

Figura 6

Visualização da página “Usinas” da dashboard

ECU ID	Estado	Cidade	Fabricante do Inversor	Modelo do inversor	Qte de inversores	Fabricante do módulo	Modelo do módulo	Qte de Módulos	Potência (kWp)
216300041704	GO	Silvânia	Micro ApSystems	Q51A	1	JAM	JAM72D30-545/MB	4	2,00
216300038831	GO	Itaçu	Micro ApSystems	YC600	2	DAH	DHM-72L9/BF-450W	4	2,00
216300008421	GO	Silvânia	Micro ApSystems	D53D	2	DAH	DHM-72X10-550W	8	4,00
216200110987	GO	Rio Verde	Micro ApSystems	QT2D	41	Longi	LRS-72HPH-545M	328	179,00
216200110986	GO	Goiânia	Micro ApSystems	QT2D	30	Longi	LRS-72HPH-545M	240	131,00
216200110823	GO	Gamaeleira de Goiás	Micro ApSystems	D53D	9	JA	JAM72D30-540/MB	36	19,00
216200110114	GO	Silvânia	Micro ApSystems	D53D	12	JA	JAM72D30-545/MB	48	26,00
216200109753	GO	Goiânia	Micro ApSystems	D53D	3	JA	JAM72S30-550/MR	10	6,00
216200109320	GO	Gamaeleira de Goiás	Micro Deye	Deye Sun2000	3	JA	JAM72S30-550/MR	12	7,00
216200088258	GO	Itaçu	Micro ApSystems	D53D	40	Leapton	LP210P210-M-66-MH-665W	160	106,00
216200088155	GO	Silvânia	Micro ApSystems	D53D	18	Canadian	Hiku CS7N	72	47,88
216200087664	GO	Luziânia	Micro ApSystems	D53D	8	DAH	DHM-72L9/BF-450W	30	14,00
216200087647	GO	Vila Propício	Micro ApSystems	QT2D	12	DAH	DHM-72X10-550W	96	53,00
216200087296	GO	Gamaeleira de Goiás	Micro ApSystems	D53D	18	Canadian	Hiku CS7N	72	47,88
216200085745	GO	Itaçu	Micro ApSystems	QT2D	12	Canadian	CS7N-660MS	96	63,00
216200085675	GO	Itaçu	Micro ApSystems	QT2D	17	Canadian	CS7N-660MS	136	90,00
216200085375	GO	Silvânia	Micro ApSystems	QT2D	11	JA	JAM72D30-540/MB	56	30,00
216200081475	GO	Ipameri	Micro ApSystems	D53D	5	DAH	DHM-72X10-550W	20	11,00
216200081370	GO	Luziânia	Micro ApSystems	Q51A	3	DAH	DHM-72X10-550W	12	7,00
216200081245	GO	Itaçu	Micro ApSystems	QT2D	3	Longi	LRS-72HPH-545M	22	11,99
216200057571	GO	Silvânia	Micro ApSystems	D53D	5	DAH	DHM-72X10-550W	20	11,00
216200057509	GO	Inhumas	Micro ApSystems	D53D-L	2	Canadian	CS3W-455MS	8	4,00
216200056509	GO	Silvânia	Micro ApSystems	QT2D	13	Longi	LRS-72HPH-545M	100	54,50
216200056110	GO	Silvânia	Micro ApSystems	QT2D	8	DAH	DHM-72X10-550W	64	35,00
216200055321	GO	Silvânia	Micro ApSystems	QT2D	4	Longi	LRS-72HPH-545M	32	17,00
216200044862	GO	Ipameri	Micro ApSystems	D53D	9	Leapton	LP210P210-M-66-MH	36	23,94
216200044791	GO	Luziânia	Micro ApSystems	Q51	3	DAH	DHM-72L9 BF	12	5,40
216200044762	GO	Silvânia	Micro ApSystems	Q51A	8	Canadian	Hiku CS3W-450MS	32	14,00
216200044733	GO	Ipameri	Micro ApSystems	D53D	14	Leapton	LP210P210-M-66-MH	56	37,24
Total					837			7398	4.758,58





Existem duas abordagens analíticas que os gestores da empresa podem adotar para analisar o Power BI:

- **Gestão de Instalação:**

Inclui as abas "Usinas", "Potência" e "Relatório", proporcionando uma visão geral e consolidada de todos os dados das usinas instaladas.

- **Gestão de Funcionamento:**

Abrange as abas "Individual" e "Produtividade", focando na análise da escolha de marcas, quantidade e modelos de módulos e inversores, além do cálculo de indicadores-chave.

4.1 Análise de Casos

4.1.1 Case ECU ID 216000052419

Para complementar o processo de análise, observa-se o case do ECU ID 216000052419, que possui uma potência instalada de 2,68 kWp, com oito módulos do modelo KuMax CS3U, da marca Canadian e quatro inversores do modelo YC600 do fabricante Micro ApSystems, em Pires do Rio-GO, com início de operação em 31/08/2020. A seguir, observa-se as tabelas 3 e 4 com dados entre 2021 e 2024, e abaixo é explicado em detalhes os principais indicadores analisados:

Tabela 1

Análise de Geração Média ECU ID 216000052419

Ano da Usina	GRm (kWh)	G100%m (kWh)	D100%m (kWh)	G75%m (kWh)	D75%m (kWh)	Yf	DE	RF
1º	355,07	434,89	430,54	326,71	322,91	132,49	108,99%	81,75%
2º	340,35	434,89	426,19	326,71	319,65	126,99	104,24%	78,18%
3º	359,21	434,89	421,85	326,71	316,38	134,03	110,06%	82,55%
4º	361,68	436,21	418,76	327,16	314,07	134,96	110,69%	83,02%

GRm = Geração Real média; G100%m = Geração 100% média; D100%m = Geração 100% média com desconto de depreciação; G75%m = Geração 75% média; D75%m = Geração 75% média com desconto de depreciação; Yf = Produtividade Específica; DE = Desempenho Energético; RF = Rendimento Final.



Tabela 2*Análise de Geração Total ECU ID 216000052419*

Ano da Usina	GRt (kWh)	G100%t (kWh)	D100%t (kWh)	G75%t (kWh)	D75%t (kWh)
1º	4260,84	5218,71	5166,52	3914,03	3874,89
2º	4084,15	5218,71	5114,34	3914,03	3835,75
3º	4310,53	5218,71	5062,15	3914,03	3796,61
4º	4340,20	5234,48	5025,10	3925,86	3768,83

GRt = Geração Real total; G100%t = Geração 100% total; D100%t = Geração 100% total com desconto de depreciação; G75%t = Geração 75% total; D75%t = Geração 75% total com desconto de depreciação.

A análise de desempenho da usina fotovoltaica ECU ID 216000052419 ao longo dos quatro anos demonstra um desempenho consistente e dentro do esperado para usinas de mesmo porte. Observa-se uma leve oscilação nos valores médios de geração real entre os anos, o que é natural considerando as variações climáticas e sazonais, sem indicar qualquer anomalia operacional relevante.

O rendimento final da usina apresentou resultados elevados, com valores superiores a 78% ao longo de todo o período, o que demonstra uma excelente eficiência operacional. Esses valores indicam que a usina conseguiu converter uma parcela significativa da geração teórica máxima em geração real, o que é um indicativo positivo da qualidade dos equipamentos e da eficiência na operação.

O desempenho energético reforça essa boa performance, com todos os anos apresentando índices superiores a 100%, o que indica que a geração real superou a geração estimada em 75%. Isso evidencia que a usina opera com perdas bastante reduzidas e controle eficiente de fatores que poderiam impactar negativamente a produção, como sujeira nos módulos ou falhas de manutenção.

Portanto, os resultados obtidos demonstram que a usina possui uma gestão eficiente de suas rotinas de manutenção e limpeza, garantindo a preservação do desempenho dos equipamentos e o cumprimento das expectativas de geração. A consistência e o nível elevado dos indicadores ao longo dos quatro anos analisados reforçam a confiabilidade e a eficiência do sistema, evidenciando boas práticas operacionais e monitoramento contínuo.

4.1.2 Case ECU ID 216200020368

Por fim, para visualizar ilustrar o processo de análise, observa-se o case do ECU ID 216200020368, que possui uma potência instalada de 23,66 kWp, com cinquenta e dois

módulos do modelo HiKu CS3W-455W, da marca Canadian e treze inversores do modelo QS1A do fabricante Micro ApSystems em Pires do Rio-GO, com início de operação em 28/10/2021. A seguir, observa-se as tabelas 5 e 6 com dados entre 2022 e 2024, e abaixo é explicado em detalhes os principais indicadores analisados:

Tabela 3*Análise de Geração Média ECU ID 216200020368*

Ano da Usina	GRm (kWh)	G100%m (kWh)	D100%m (kWh)	G75%m (kWh)	D75%m (kWh)	Yf	DE	RF
1º	1787,36	3839,39	3800,99	2879,54	2850,74	75,54	64,22%	48,17%
2º	2343,95	3839,39	3762,60	2879,54	2821,95	99,07	82,11%	61,58%
3º	2455,16	3850,99	3735,46	2888,24	2801,60	103,77	85,24%	63,93%

GRm = Geração Real média; G100%m = Geração 100% média; D100%m = Geração 100% média com desconto de depreciação; G75%m = Geração 75% média; D75%m = Geração 75% média com desconto de depreciação; Yf = Produtividade Específica; DE = Desempenho Energético; RF = Rendimento Final.

Tabela 4*Análise de Geração Total ECU ID 216200020368*

Ano da Usina	GRT (kWh)	G100%t (kWh)	D100%t (kWh)	G75%t (kWh)	D75%t (kWh)
1º	21448,29	46072,64	45611,92	34554,48	34208,94
2º	28127,43	46072,64	45151,19	34554,48	33863,39
3º	29461,97	46211,88	44825,53	34658,91	33619,15

GRT = Geração Real total; G100%t = Geração 100% total; D100%t = Geração 100% total com desconto de depreciação; G75%t = Geração 75% total; D75%t = Geração 75% total com desconto de depreciação.

A análise de desempenho da usina fotovoltaica ECU ID 216200020368 ao longo dos três anos avaliados revela uma operação consistente, com indicadores satisfatórios nos anos subsequentes ao primeiro período de funcionamento. A usina foi selecionada para análise devido à sua potência instalada mais elevada, permitindo verificar como esse fator se reflete nos dados de geração.

No primeiro ano de operação, a geração de energia ficou abaixo da média geral, possivelmente devido a questões relacionadas à utilização do sistema, manutenção inadequada ou até mesmo imprecisões na medição. Esse aspecto constitui um ponto de atenção para a empresa fornecedora dos equipamentos, visto que a aferição correta dos dados é fundamental para uma análise de desempenho confiável.

Nos anos seguintes, a usina demonstrou uma performance robusta, com desempenho energético acima de 82% e rendimento final superior a 60%. Esses resultados indicam que o sistema está operando dentro dos padrões esperados para sua capacidade instalada. Além disso, a elevada potência instalada refletiu-se em valores expressivos de geração real.



Os dados sugerem que, após um primeiro ano atípico, a usina estabilizou seu desempenho e manteve uma eficiência satisfatória, compatível com o esperado para sistemas fotovoltaicos de mesma configuração. A continuidade do monitoramento e da manutenção preventiva se mostra essencial para assegurar a confiabilidade e a longevidade da operação. Assim, reforça-se a importância de um acompanhamento técnico detalhado para garantir que eventuais inconsistências sejam prontamente identificadas e corrigidas, garantindo a maximização da eficiência operacional da usina.

4.2 Validação de Resultados

A validação dos resultados foi realizada por meio da comparação com estudos de desempenho presentes na literatura especializada, bem como com dados de usinas de características semelhantes, garantindo maior robustez e confiabilidade às análises conduzidas. A comparação direta entre os dois cases analisados — ECU ID 216000052419 e ECU ID 216200020368 — reforçou a consistência dos resultados obtidos, evidenciando que ambas as usinas apresentam desempenho técnico compatível com sistemas fotovoltaicos de porte e configuração similares.

O acompanhamento contínuo e a adoção de boas práticas de manutenção e limpeza, identificados no case ECU ID 216000052419, foram determinantes para que os indicadores de desempenho energético e rendimento final se mantivessem próximos ou até superiores à geração estimada em 75% da capacidade teórica máxima. Esse comportamento positivo demonstra que a preservação da limpeza dos módulos, o monitoramento regular e a rápida correção de eventuais falhas contribuem diretamente para minimizar perdas e assegurar a eficiência operacional ao longo do tempo.

Por outro lado, o case ECU ID 216200020368 apresentou um rendimento final médio inferior ao analisado, indicando perdas operacionais mais elevadas, devido ao porte da usina. Esse resultado sugere a necessidade de um acompanhamento mais rigoroso para identificar as causas dessa eficiência reduzida, podendo estar relacionadas a fatores como falhas nos equipamentos, acúmulo de sujeira nos módulos ou possíveis ineficiências na configuração do sistema. Dessa forma, essa usina se torna um ponto de atenção para ações corretivas que visem mitigar as perdas e otimizar seu desempenho energético.

Ademais, as etapas descritas ao longo do estudo, desde a análise dos indicadores até a comparação com parâmetros teóricos e reais, facilitaram a identificação de oportunidades de



otimização. Essa abordagem permite não apenas avaliar o desempenho histórico das usinas, mas também apontar ações específicas para maximizar a eficiência futura dos sistemas fotovoltaicos analisados. Assim, o estudo reforça a importância de uma gestão proativa e de um monitoramento contínuo, elementos essenciais para assegurar a confiabilidade, a longevidade e a maximização da geração de energia em sistemas fotovoltaicos de pequeno porte conectados à rede.

Conclusão

Este estudo sobre as usinas solares em Goiás, fundamentado nos dados da RAVI – Soluções em Energia, destaca a importância da energia solar fotovoltaica na transição para fontes de energia mais sustentáveis. A análise das quedas de produtividade ao longo do tempo enfatizou a necessidade de intervenções ágeis e eficazes, além de ressaltar a relevância de um monitoramento sistemático das operações.

Com a adoção de soluções como o monitoramento em tempo real, a manutenção preventiva e uma comunicação mais clara com os clientes, o setor de energia solar pode enfrentar os desafios que afetam seu desempenho. A implementação dessas estratégias não só assegura a eficiência dos sistemas solares, mas também favorece a sustentabilidade do setor.

Uma gestão proativa, orientada por dados, possibilita que as empresas melhorem a geração de energia e contribuam para um futuro mais sustentável. Este trabalho abre espaço para novas investigações sobre como as práticas operacionais podem ser aprimoradas, garantindo a longevidade e a eficácia das usinas solares. A continuidade dessa pesquisa poderá oferecer perspectivas que ajudarão o Brasil a reforçar sua posição como líder na produção de energia renovável, trazendo benefícios tanto para a economia quanto para o meio ambiente.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal de Goiás pelo suporte institucional e pela formação acadêmica de excelência. Nosso reconhecimento especial vai para a Faculdade de Ciências e Tecnologia, cuja estrutura e corpo docente foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradecemos também à empresa RAVI – Soluções em Energia, pela disponibilização dos dados utilizados na pesquisa e pela parceria que possibilitou a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos.



Referências

- Amaranzero. Equipamentos que compõem um kit solar fotovoltaico. Disponível em: <<https://amaranzero.com.br/blog/equipamentos-que-compoem-um-kit-solar-fotovoltaico>>. Acesso em: 19 jul. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). Panorama da Solar Fotovoltaica no Brasil e no mundo. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 13 set. 2024a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). Panorama da Solar Fotovoltaica no Brasil e no Mundo.
- Bhatia, A. Design and Sizing of Solar Photovoltaic Systems. p. 13–15, 2014.
- Bocciero, S. *et al.* Painéis fotovoltaicos: quais os tipos e suas diferenças? Disponível em: <<https://biblus.accasoftware.com/ptb/paineis-fotovoltaicos-quais-os-tipos-e-suas-diferencas/>>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- Brasil. Lei no 14.300, de 6 de janeiro de 2022. BRASÍLIA,DF: [s.n.].
- Casarin, R. Brasil foi o 4o maior mercado de Energia Solar do mundo em 2023. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/noticias/mercado/internacional/brasil-foi-o-4o-maior-mercado-de-energia-solar-do-mundo-em-2023>>. Acesso em: 19 jun. 2024.
- Damasceno, G. DA S. N. P. G. O. DO M. A. P. DA S. O. V. H. L. DE P. V. G. N. P. C. F. Dimensionamento para aplicação de sistemas fotovoltaicos. Disponível em: <<https://revistaft.com.br/dimensionamento-para-aplicacao-de-sistemas-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- Da Silva, F. O ciclo de análise de dados: um roteiro para resolver problemas. Disponível em: <<https://analisemacro.com.br/econometria-e-machine-learning/o-ciclo-de-analise-de-dados-um-roteiro-para-resolver-problemas/>>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- Erickson, D. Solar Energy: Systems, Technology and Engineering. [s.l.] States Academic Press, 2022.
- ESCOLA DE DADOS. “Mas o que significa isso?": Introdução à Análise de Dados. Disponível em: <<https://escoladedados.org/tutoriais/mas-o-que-significa-isso-introducao-a-analise-de-dados/>>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- ESCOLA SUPERIOR DE REDES. Dados estruturados, não-estruturados e semiestruturados: diferenças e similaridades. Disponível em: <<https://esr.rnp.br/ciencia-de-dados/dados-estruturados-nao-estruturados-e-semiestruturados/>>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- FADE-UFPE/CEPEL; CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO - CRESESB. Atlas Solarimétrico Do Brasil. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 29 jun. 2024.
- IBM. O que é data visualization? [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/topics/data-visualization>>. Acesso em: 3 jul. 2024.





- JJ ENGENHARIA. Como funciona a energia Solar Fotovoltaica? Disponível em: <<https://jj.eng.br/segmento>>. Acesso em: 23 jun. 2024.
- MESSENGER, R. A.; VENTRE, JERRY. Photovoltaic Systems Engineering. 3. ed. [s.l: s.n.].
- Mohan, N.; Undeland, T. M.; Robbins, W. P. Power Electronics: converters, applications, and design. 3. ed. [s.l.] Wiley, 1995.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7: Energia Limpa e Acessível. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>>. Acesso em: 16 jul. 2024.
- Pinho, J. T.; Galdino, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. RIO DE JANEIRO, RIO DE JANEIRO, BRASIL: CRESESB, 2014.
- PORTAL SOLAR. Vantagens da Energia Solar. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/vantagens-da-energia-solar>>.
- PORTAL SOLAR. Energia Fotovoltaica: O que é, como funciona e para que serve? Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>>.
- Sader, J. T.; Belchior, F. Análise de Desempenho de Usinas Solares Fotovoltaicas. Goiânia: [s.n.]. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibWQ2Y2UyMjYtYmI5Ni00YzU4LWE5MTMtNzE5ZTIyMWZhYWUyIiwidCI6ImIxY2E3YTgxLWFiZjgtNDJlNS05OGM2LWYyZjJhOTMwYmEzNiJ9>>. Acesso em: 30 nov. 2025.
- SOLAR FONTE. On-Grid x Off-Grid. Disponível em: <<https://solarfonte.com.br/blog/grid-x-grid>>. Acesso em: 14 jul. 2024.

Received: 6.27.2025

Accepted: 7.18.2025

