

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

ESCOLA DE ENGENHARIA / ENGENHARIA ELÉTRICA E
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO
Trabalho Final de Curso II

**BRUNO MONTEIRO SILVA
PEDRO HENRIQUE MARQUES COUTINHO**

ESTUDO DE CASO: DUAS USINAS FOTOVOLTAICAS

Trabalho Final de Curso como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica e Engenharia de Controle e Automação apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ANTONIO MARCOS MELO MEDEIROS – Orientador.
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS-PUC GOIÁS.

Prof. Me. LUIS FERNANDO PAGOTTI – Coorientador. PONTIFÍCIA
UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS-PUC GOIÁS.

Prof. Dr. CASSIO HEDEKI FUJISAWA – Coorientador. PONTIFÍCIA
UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS-PUC GOIÁS.

Goiânia, 6 de Dezembro de 2024.

ESTUDO DE CASO DE DESEMPENHO: DUAS USINAS FOTOVOLTAICAS

Bruno Monteiro Silva ¹, Pedro Henrique Marques Coutinho ², Antônio Marcos Melo Medeiros ³

¹Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, engbrunomonts@gmail.com

²Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, pedrohmc.profissional@gmail.com

³Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, marcosmelo@pucgoias.edu.br

RESUMO:

Este estudo tem como objetivo analisar o desempenho, a geração, o consumo e os dados econômicos de duas usinas fotovoltaicas on-grid de diferentes tamanhos localizadas no estado de Goiás. A pesquisa, realizada em parceria com a empresa de Goiana, utilizou dados coletados entre janeiro de 2022 e dezembro de 2023. O estudo também inclui uma avaliação da sustentabilidade, considerando a quantidade de carbono evitado e a quantidade de árvores necessárias para compensar as emissões se fosse utilizada energia convencional. Os resultados indicam que, após ajustes realizados em setembro de 2024, a Usina I superou as expectativas, gerando 104% da energia projetada, enquanto, nos anos de 2022 e 2023, a média mensal foi de 97%. No entanto, o consumo da Usina 1 foi 178% do valor projetado, refletindo uma alta demanda. A Usina II, por sua vez, gerou 91,35% da energia projetada após as melhorias, com uma média de 89% nos anos anteriores. Seu consumo energético foi de 148,2% do valor inicialmente previsto. Esses resultados evidenciam os benefícios das intervenções realizadas, mas também destacam a necessidade de monitorar o aumento do consumo em ambas as usinas.

Palavras chaves: Fotovoltaico, usina solar, geração, eficiência energética, carbono evitado.

ABSTRACT:

This study aims to analyze the performance, generation, consumption, and economic data of two off-grid photovoltaic plants of different sizes located in the state of Goiás. The research, conducted in partnership with the company Yellot, used data collected between January 2022 and December 2023. The study also includes a sustainability assessment, considering the amount of carbon avoided and the number of trees needed to offset emissions if conventional energy were used. The results show that, after adjustments made in September 2024, Plant I exceeded expectations, generating

104% of the projected energy, while the average monthly generation in 2022 and 2023 was 97%. However, the energy consumption of Plant 1 reached 178% of the projected value, indicating high demand. Plant II, after improvements, generated 91.35% of the projected energy, with an average of 89% in the previous years. Its energy consumption was 148.2% of the initial projection. These results highlight the benefits of the interventions made, but also emphasize the need to monitor the increase in consumption at both plants

Keywords: Photovoltaic, solar power plant, generation, energy efficiency, avoided carbon.

1. Introdução

O efeito fotoelétrico, é um fenômeno crucial na conversão direta da energia solar em eletricidade. Esse processo se baseia na absorção de fótons, os quais, ao interagirem com o material semicondutor, liberam elétrons que, por sua vez, fluem através das células, gerando a energia elétrica. Cada célula fotovoltaica é construída, com uma cobertura de vidro, camada antirreflexo e contatos frontais, permitindo o fluxo de elétrons através de um circuito. Ao unir várias células em um módulo solar, o efeito fotovoltaico é maximizado, proporcionando uma fonte de energia renovável e sustentável.

O pioneirismo de Alexandre-Edmond Becquerel, que em 1839 identificou esse fenômeno ao expor uma célula eletrolítica à luz solar, marcou o início da jornada em direção à tecnologia solar moderna [Ribeiro, 2021]. Os semicondutores utilizados nos dispositivos de conversão fotovoltaica são compostos de elementos capazes de absorver a energia da radiação solar e transferir parte para os elétrons, produzindo, assim, pares de portadores de carga [Zilles, et al. 2012].

A Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR) faz um apontamento de dados que comprovam que a potência instalada na matriz energética do Brasil era de 7 MW no ano de 2013, tendo um aumento significativo para 14.024 MW em 2022. Esses dados consideram a soma da geração distribuída e da geração centralizada nesses períodos. [Rodrigo Sauer e Ronaldo Koloszuk, 2018].

Com este longo avanço energético, o governo brasileiro criou em 2018 o PNE2050 (Plano Nacional de Energia 2050), que traça metas e diretrizes para melhorar ainda mais o avanço da energia. Segundo o estudo realizado durante a PNE2050, o crescimento do consumo de energia elétrica irá triplicar no período de 2013-2050, com uma taxa de crescimento anual de 3,2% [PNE, 2020].

O aumento no consumo de energia elétrica no Brasil, a melhor forma de unir o útil ao sustentável será na utilização da energia fotovoltaica, pois a matéria-prima é originada

pela luz do sol, podendo ser usada de forma renovável e não afetando o meio ambiente [Insol Energia, 2021].

Foi analisado dois sistemas fotovoltaicos de diferentes tamanhos, localizados em 1. Polo industrial Senador Canedo, Goiás. 2. Setor Vale do Sol, Aparecida de Goiânia, Goiás.

O objetivo é analisar o impacto da geração de energia elétrica, através dos dados de projeto e medição, verificar a influência da sujidade dos módulos levando em conta o tempo de limpeza, analisar a eficiência das duas usinas fotovoltaicas sobre o projetado e o consumo. Estudo da Análise econômica, Produção Anual – Mensal – Diária, Sustentabilidade, Energia Gerada média, consumido x compensado.

2. Referencial teórico

No dimensionamento de projetos individualizados, possui conceitos levados em consideração para instalação: dimensionamento e posição. Entre os mais importantes temos a determinação da carga elétrica, Análise da irradiação solar, Seleção dos painéis solares e dimensionamento do inversor.

Para determinar a quantidade de irradiação solar disponível em um determinado local, é necessário realizar cálculos que consideram fatores como a latitude, a inclinação dos painéis solares e o histórico de medições da região. A geometria sol-terra é um aspecto crucial nesses cálculos, pois a inclinação dos painéis afeta diretamente a quantidade de luz solar incidente sobre eles. Os valores de irradiação solar fornecidos para diferentes ângulos de inclinação, como a latitude, o ângulo que fornece o maior valor médio diário anual e o ângulo que fornece o maior valor mínimo diário anual. [Adaptado de informações fornecidas pelo CEPTEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica].

2.1. Cálculo das quantidades de Módulos Fotovoltaicos

Com esta análise junto ao dimensionamento de cargas elétricas podemos ter o cálculo de número de módulos fotovoltaicos em um determinado ambiente. A fórmula básica para o cálculo é a seguinte:

$$NDMF = \frac{CED}{ISM} \times EDMF \quad (1)$$

Em que:

$NDMF$ = Número de módulos

CED = CARGA ENERGÉTICA DIÁRIA (kWh)

ISM = IRRADIAÇÃO SOLAR MÉDIA ($kWh\ m^{-2}\ dia^{-1}$)

$EDMF$ = EFICIÊNCIA DOS MÓDULOS ($\%/m^2$)

Assim, ao realizar esse cálculo, é importante considerar fatores como a capacidade máxima de geração dos painéis e a disponibilidade de espaço para a instalação.

No dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos, é essencial considerar as condições reais de operação do gerador solar, que geralmente diferem das condições de teste padrão (STC). Devido a fatores como nebulosidade e variações na temperatura das células solares, a potência fornecida pelo gerador é frequentemente inferior à sua capacidade nominal. Portanto, o dimensionamento do sistema deve equilibrar a capacidade do inversor para evitar subutilização ou sobrecarga.

Estudos, como o realizado por Macêdo em 2006, demonstraram que um Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI) superior a 0,55 geralmente resulta em diferenças na produtividade anual de energia relativamente pequena, sendo que a escolha do equipamento pode ter um impacto maior do que a escolha do FDI em si. No entanto, é importante notar que um FDI muito baixo, abaixo de 0,6, pode levar a uma queda acentuada na produtividade devido ao processo de limitação de potência do inversor. Apesar disso, estudos indicam que as perdas por limitação do inversor são geralmente inferiores a 10% para um FDI de 0,5 e inferiores a 3% para um FDI de 0,6, sugerindo que o subdimensionamento pode ser uma prática viável para sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR). [Gonçalves e Pereira, 2008].

Os datasheets dos módulos fotovoltaicos geralmente fornecem valores obtidos em testes sob duas condições distintas: NMOT (Nominal Module Operating Temperature) e STC (Standard Test Condition). O teste sob NMOT é realizado com irradiância de 800 W/m², temperatura de 20°C, velocidade do vento de 1 m/s e AM 1,5, enquanto o teste sob STC é realizado com irradiância de 1000 W/m², temperatura de 25°C e AM 1,5. Os parâmetros mais importantes fornecidos nesses datasheets para o dimensionamento do sistema fotovoltaico incluem a potência nominal (P_{max}), tensão do ponto de máxima potência (V_{mp}), corrente do ponto de máxima potência (I_{mp}), tensão de circuito aberto (V_{oc}) e corrente de curto-circuito (I_{sc}). [Breno Taliule, 2021].

2.2. Cálculo das Perda de Eficiência Por Sujidade

A presença de sujeira pode comprometer significativamente a eficiência desses módulos, prejudicando a quantidade de luz solar que chega às células fotovoltaicas. Estudos indicam que até mesmo pequenas quantidades de sujeira podem reduzir consideravelmente a eficiência dos módulos. Para lidar com esse problema, são adotadas medidas de manutenção, como a limpeza regular dos módulos, cuja frequência e método podem variar dependendo das condições locais. Garantir a limpeza adequada dos módulos é fundamental para manter a alta eficiência do sistema fotovoltaico ao longo do tempo [Messenger & Ventre, 2015].

As principais características que indicam a eficiência são as células fotovoltaicas, feitas de semicondutores, são responsáveis por converter energia solar em elétrica, com

eficiência variável dependendo do material utilizado. O acabamento e formato dos módulos também são cruciais; espaços grandes entre células, molduras grossas ou bordas extensas reduzem a área de aproveitamento e a captação de luz solar. Além disso, a eficiência dos painéis diminui ao longo do tempo, embora lentamente, com uma vida útil média de 25 anos [WEG, 2024].

Com isso, foi criado um parâmetro para entender a verdadeira porcentagem de eficiência de um módulo fotovoltaico, proporcionando um significado coerente conforme mostrado na Tabela 1:

Tabela 1: Tabela Representativa de Eficiência (WEG, 2024).

Eficiência	Significado
+ ou = à 18%	muito eficiente
entre 17% e 17,9%	bem eficiente
entre 16% e 16,9%	média eficiência
entre 15% e 15,9%	pouco eficiente
- de 15%	pouquíssimo eficiente

A eficiência de um módulo fotovoltaico é uma medida crucial que indica a capacidade do módulo em converter a luz solar em energia elétrica. Esta eficiência é expressa em percentual (%) e é calculada conforme equação 2:

$$EDM = \frac{P}{ADM} \quad (2)$$

Em que:

ADM=ÁREA DO MÓDULO (m^2)

EDM=EFICIÊNCIA DO MÓDULO (%)

P=POTÊNCIA (w)

A equação abaixo permite calcular a energia potencial que uma instalação fotovoltaica pode gerar ao longo de um ano, considerando tanto a capacidade instalada quanto as condições específicas de irradiância solar e eficiência do sistema.

$$PE = CI \times FP \times HSA \quad (3)$$

Em que:

PE=PRODUÇÃO DE ENERGIA (kWh)

CI=CAPACIDADE INSTALADA (kw)

FP=FATOR DE CAPACIDADE

HSA=HORAS DE SOL ANUAIS

2.3. Cálculo de Emissões de Gases CO₂

Ao converter a energia solar em eletricidade, as usinas fotovoltaicas fornecem uma fonte de energia renovável e limpa que não emite poluentes atmosféricos nocivos, como dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e dióxido de enxofre (SO₂). Isso ajuda a reduzir as emissões totais de gases de efeito estufa e a melhorar a qualidade do ar e do meio ambiente [IRENA, 2020].

O cálculo da redução de emissões de CO₂ é uma ferramenta essencial para quantificar o impacto ambiental positivo da energia solar. Essa métrica permite comparar a energia limpa gerada pelas usinas solares com as emissões de gases de efeito estufa que seriam produzidas por fontes de energia convencionais. Além disso, os dados obtidos são fundamentais para a elaboração de relatórios de sustentabilidade, para o suporte a políticas públicas voltadas à transição energética e para aumentar a conscientização sobre os benefícios da energia renovável para o clima e a saúde pública. A seguir, apresentarei a fórmula utilizada para calcular a emissão de CO₂ evitada:

$$E_{CO_2E} = PE \times FE_{CO_2} \quad (4)$$

Em que:

E_{CO_2E} = EMISSÃO DE CO₂ EVITADA (kg)

PE = PRODUÇÃO DE ENERGIA

FE_{CO_2} = FATOR DE EMISSÃO DE CO₂ $\left(\frac{kgCO_2}{kWh}\right)$

3. Estudo de Caso

Com base nos recursos fornecidos pela empresa parceira, os quais incluem projetos, monitoramentos, planilhas da usina e imagens das instalações, encontramos-nos em processo de realização de estudos abrangentes para identificar possíveis falhas em uma usina fotovoltaica após a instalação.

Para este estudo de caso, foram escolhidas duas usinas do estado de Goiás para serem analisadas: a Usina I, localizada no Distrito Agroindustrial em Senador Canedo-GO, é uma usina instalada no solo, enquanto a Usina 2, localizada no Setor Vale do Sol, Aparecida de Goiânia-GO, é uma usina instalada no telhado conforme figura 1. Os dados estatísticos analisados se concentraram nos meses de janeiro de 2022 até dezembro de 2023.

DADOS	USINA 1	USINA 2
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	1.990	740
POTÊNCIA DO SISTEMA	706,45 KWP	251,60 KWP
ÁREA OCUPADA	9.950 M ²	1.776 M ²
TIPO DE SISTEMA	SOLAR GROUND-MOUNTED SYSTEM	SISTEMA DE TELHADO (ROOFTOP SOLAR)
VALOR DO SISTEMA	R\$2.245.200,00	R\$688.028,66

Figura 1: Dados das Usinas fotovoltaicas analisadas. [Autores]

3.1. Usina I

Na Usina I, estão instaladas 1.990 unidades de módulos fotovoltaicos, com uma estimativa média mensal de geração de 91.835,11 kWh. Estima-se uma economia de R\$61.570,24 para os cofres da empresa. O valor total do sistema fotovoltaico foi estimado em R\$2.245.200,00 (dois milhões, duzentos e quarenta e cinco mil e duzentos reais).

Com os dados fornecidos pelo inversor de frequência, é possível analisar diversas situações dentro do sistema fotovoltaico. Entre elas, destaca-se o cálculo da eficiência energética mensal do sistema completo.

Entre janeiro de 2022 e dezembro de 2023, a Usina I produziu um total de 2.117.117,72 kWh, com uma produção média mensal de 88.213,24 kWh. Embora a usina tenha sido projetada para produzir 91.139,99 kWh por mês, ela alcançou cerca de 96,79% desse valor, conforme figura 2.

TOTAL GERADO	GERAÇÃO MÉDIA MENSAL	GERAÇÃO PROJETADA MENSAL	GERAÇÃO PRODUZIDA SOB PROJETADO
2.117.117,72 kWh	88.213,24 kWh	91.139,99 kWh	96,79%

Figura 2 Análise da Geração na Usina I [Autores].

Com base nestes dados podemos notar uma evidente diferença de eficiência, pois no primeiro ano é notado que em 5 meses (março, abril, maio, junho e agosto) tivemos uma proficiência de mais de 100% do que foi projetado. Nestes 6 meses de 2022 tivemos uma média 96.944,23kWh. Já no ano de 2023 vemos que na Usina I tivemos 5 meses de eficiência acima de 100% sendo eles: maio, julho, setembro, outubro, dezembro com uma média mensal de 93.048,11kWh conforme figura 3.

2022	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	AGOSTO
2023	MAIO	JULHO	SETEMBRO	OUTUBRO	DEZEMBRO

Figura 3: Meses com Eficiência maior que 100% na Usina I [Autores].

Também nos dados do inversor, obtivemos as estatísticas do consumo que mostram que a usina consumiu cerca de 102.930,40kWh mensal do projetado, em média 116,68% do total produzido por mês, conforme figura 4.

TOTAL CONSUMIDO	CONSUMO MÉDIO MENSAL	CONSUMO SOB GERAÇÃO	MAIOR CONSUMO
2.470.329,66 kWh	102.930,40 kWh	116,68%	137.683,44 kWh

Figura 4: Consumo da Usina 1 durante o período analisado [Autores].

No primeiro ano de instalação, observamos que em 11 meses o consumo superou a produção, o que pode resultar em cobranças adicionais para o cliente. Apenas em novembro não houve consumo superior à produção. No segundo ano, essa tendência se repetiu, com 11 meses em que o consumo excedeu a produção, sendo março o único mês em que o consumo foi inferior a 100% da produção.

A partir dos dados fornecidos pelo inversor, o sistema geral compara as estatísticas de geração em kWh com a tarifa da concessionária. Dessa forma, é possível calcular a economia mensal do cliente em relação ao cenário em que ele não tivesse investido em energia solar e utilizasse apenas a energia convencional.

Analisando os dados financeiros temos uma economia total de R\$1.374.859,31 no período analisado uma média de R\$57.285,80 por mês na Usina I, conforme figura 5. Demonstra que o investimento em energia solar não só contribui para a redução das

despesas com energia elétrica, mas também se traduz em um retorno financeiro tangível. Portanto, a usina solar se apresenta como uma solução viável e benéfica, tanto economicamente quanto ambientalmente, reafirmando a importância de práticas sustentáveis no ambiente corporativo.

ECONOMIA TOTAL	ECONOMIA MÉDIA	PAYBACK	TARIFA DO PROJETO
R\$ 1.374.859,31	R\$ 57.285,80	3 ANOS	R\$ 0,67/kWh

Figura 5: Economia sobre a Conta de Energia na Usina I durante período analisado. [Autores].

3.2. Usina II

A Usina II possui 740 unidades de módulos fotovoltaicos instalados, ocupando uma área de 1.776 m², conforme a Figura 6. A estimativa média mensal de geração de energia para a usina solar é de 30.333,63 kWh.



Figura 6: Usina 2 Localizada no Setor Vale do Sol, Aparecida de Goiânia-GO [Google Maps].

Entre janeiro de 2022 e dezembro de 2023, a Usina II produziu um total de 671.132,36 kWh, resultando em uma média de 27.963,85 kWh por mês. A usina foi projetada para produzir 31.416,97 kWh mensais, mas produziu cerca de 92,18% desse valor, conforme figura 7.

TOTAL GERADO	GERAÇÃO MÉDIA MENSAL	GERAÇÃO PROJETADA MENSAL	GERAÇÃO SOB PROJETADO
671.132,36 kWh	27.963,85 kWh	31.416,97kWh	92,18%

Figura 7: Percentual da Geração sobre o Projetado no ano de 2022 na usina II [Autores].

Em 2022, a usina produziu um total de 352.884,99 kWh, resultando em uma média mensal de 29.407,08 kWh, conforme figura 9. No ano de 2023, a produção foi de 318.247,37 kWh, com uma média mensal de 26.520,61 kWh, conforme figura 10.

No primeiro ano, observou-se que em cinco meses (janeiro, março, agosto, outubro e novembro) a proficiência superou 100% do projetado. Durante esses cinco meses de 2022, a média de geração foi de 35.044,13 kWh. Já em 2023, na Usina II, a eficiência superou 100% em apenas três meses (setembro, outubro e dezembro), com uma média mensal de 28.319,76 kWh, conforme figura 8.

Meses com Geração Maior que 100% do Projetado - Janeiro de 2022 a Dezembro de 2023

2022	JANEIRO	MARÇO	AGOSTO	OUTUBRO	NOVEMBRO
2023	SETEMBRO	OUTUBRO	DEZEMBRO		

Figura 8: Meses com Eficiência maior que 100% na Usina II [Autores].

Essa análise evidencia uma ligeira queda na produção anual e mensal de energia entre os dois anos. No entanto, a produção geral de energia continua significativa, demonstrando a eficácia e a contribuição constante para o suprimento energética.

Vendo os dados do consumo temos que a usina consumiu cerca de kWh mensal do projetado, em média 114,02% do total produzido. Tendo em vista que 100% são considerados 31.883,29 kWh, conforme figura 9.

TOTAL CONSUMIDO	CONSUMO MÉDIO MENSAL	CONSUMO SOB GERAÇÃO	MAIOR CONSUMO
765.198,99 kWh	31.883,29 kWh	114,02%	45.601,85 kWh

Figura 9: Percentual do consumo sobre o projetado no ano de 2022 na Usina II [Autores].

Os dados referentes ao consumo de energia e à média de geração na usina fotovoltaica nos anos de 2022 e 2023 revelam informações valiosas sobre o desempenho energético do sistema ao longo do tempo. No ano de 2022, o consumo total de energia alcançou 401.506,69 kWh, com uma média de geração na usina fotovoltaica de 33.458,89 kWh. Por outro lado, em 2023, observou-se uma ligeira redução no consumo total de energia, que foi de 363.692,30 kWh, acompanhada de uma diminuição na média de geração na usina fotovoltaica, que registrou 30.307,69 kWh

Diante da análise dos dados financeiros disponíveis, temos uma economia total de R\$ 428.258,22 no período janeiro de 2022 até dezembro de 2023 uma média de R\$ 17.844,09 por mês, conforme figura 10.

ECONOMIA TOTAL	ECONOMIA MÉDIA	PAYBACK	TARIFA DO PROJETO
R\$ 428.258,22	R\$ 17.844,09	4 ANOS	R\$ 0,48/kWh

Figura 10: Economia sobre a Conta de Energia na usina II [Autores].

4. Resultados e Discussão

4.1. Visita Usina I

No dia 11 de setembro de 2024, foi realizada uma visita técnica à usina fotovoltaica localizada no Polo Industrial de Senador Canedo, Goiás, com a participação dos estudantes Bruno Monteiro Silva, Pedro Henrique Marques Coutinho e o eletrotécnico Ricardo Rodrigues Silva. Durante a inspeção, foi utilizado um drone para realizar fotografias aéreas da usina, o que permitiu uma análise detalhada da disposição e do estado dos painéis solares.

Foram identificados diversos problemas que afetavam o desempenho da usina, incluindo módulo fotovoltaico quebrado, resíduos orgânicos biodegradáveis de animais

sobre as placas solares, e um ponto de aquecimento excessivo na entrada dos disjuntores gerais, comprometendo a eficiência da usina.

Além das observações diretas, os estudantes e o eletrotécnico realizaram uma entrevista com o responsável pela manutenção da usina. Foi relatado que as placas solares são limpas a cada sete dias; no entanto, os problemas detectados ainda interferiam no funcionamento eficiente da usina.

Os estudantes sugeriram e aplicaram melhorias na entrada dos disjuntores conforme a figura 11 como a instalação inicial, concluindo que o sistema de geração de energia estava comprometido pelo desarme frequente do disjuntor geral devido ao superaquecimento.

Como solução, propusemos a instalação de barramentos para dissipar o calor de forma adequada de acordo com a figura 12, prevenindo o superaquecimento e, consequentemente, evitando paradas inesperadas na geração de energia. Essa medida visa garantir que a usina opere com maior eficiência e sem interrupções na produção de eletricidade.



Figura 11: Relato fotográfico do Disjuntor geral antes das modificações necessárias para garantir o pleno funcionamento da usina fotovoltaica [Autores].



Figura 12: Modificações implementadas na saída do disjuntor após as recomendações dos estudantes e do eletrotécnico [Autores].

A Figura 13 evidencia um módulo quebrado, destacando a necessidade de inspeções regulares e manutenção preventiva para evitar danos que possam comprometer a eficiência do sistema e a geração de energia. Este tipo de dano pode ocorrer devido a intempéries, manipulação inadequada ou desgaste natural, e representa um ponto crítico para a operação da usina.

Já a Figura 14 apresenta um módulo fotovoltaico utilizado como abrigo por uma coruja, simbolizando a interação entre a infraestrutura humana e a fauna local. Embora inusitada, essa situação ressalta a importância de considerar impactos ambientais e promover a convivência harmônica entre os sistemas fotovoltaicos e o meio ambiente.

Esses registros complementam a análise, ao abordar tanto os desafios operacionais como a integração ambiental das usinas fotovoltaicas, reforçando a relevância de práticas sustentáveis e preventivas na gestão desses sistemas.



Figura 13: Relato fotográfico de um módulo quebrado encontrado durante a visita da usina fotovoltaica localizada no Polo industrial Senador Canedo, Goiás. [Autores]



Figura 14: Relato fotográfico de um módulo sendo usado de lugar para depósito de fezes por uma coruja na usina fotovoltaica localizada no Polo industrial Senador Canedo, Goiás [Autores].

A Figura 15 mostra o estado inicial, com a câmera termográfica destacando temperaturas elevadas no disjuntor geral, indicando um potencial risco de falha no equipamento devido ao superaquecimento. Essa situação, se não corrigida, poderia resultar em quedas frequentes do disjuntor, comprometendo a operação contínua do sistema. Após medir a temperatura do disjuntor geral e constatar que atingiu 204,6°C, conforme figura 15, os alunos e o eletrotécnico decidiram adicionar barramentos na entrada do disjuntor, a fim de reduzir o superaquecimento e evitar novas quedas do disjuntor geral, conforme a figura 16.



Figura 15: Relato fotográfico da câmera termográfica destacando as temperaturas do disjuntor geral antes das modificações necessárias [Autores].



Figura 16: Relato fotográfico da câmera termográfica destacando as temperaturas do disjuntor geral depois das modificações necessárias [Autores].

Os resultados da análise de desempenho da usina solar no período de setembro de 2024 mostram avanços significativos em relação aos anos de 2022 e 2023, conforme figura 17, que também foram avaliados. Neste mês, a usina foi projetada para produzir 132.906,73 kWh, mas superou as expectativas, alcançando 104,08% desse valor e gerando 138.325,40 kWh. Apesar disso, o consumo energético foi elevado, totalizando 236.612,77 kWh, equivalente a 171% do que ela gerou no mês de setembro. Ainda assim, as mudanças implementadas após visitas técnicas refletiram-se positivamente nos resultados financeiros: a economia gerada pelo sistema solar foi de R\$ 160.602,97, representando 80,95% de redução nos custos comparados ao cenário sem o sistema, que demandaria um gasto de R\$ 198.389,53.

GERAÇÃO	CONSUMO	CONSUMO SOB GERAÇÃO	ECONOMIA
138.325,4 kWh	236.612,77 kWh	171%	R\$ 160.602,97

Figura 17: Resultados e Dados da Usina 1 em setembro de 2024 [Autores].

4.2. Estudo de Caso: Visita Usina II

No dia 23 de setembro de 2024, foi realizada uma visita técnica à usina fotovoltaica localizada no Polo Industrial de Senador Canedo, Goiás, conforme figura 18, com a participação dos estudantes Bruno Monteiro Silva, Pedro Henrique Marques Coutinho e o eletrotécnico Ricardo Rodrigues Silva. Durante a inspeção, foi utilizado um drone para

realizar fotografias aéreas da usina, o que permitiu uma análise detalhada da disposição e do estado dos painéis solares.

Não foi identificado nenhuma anomalia na instalação da usina. Realizando uma entrevista com a equipe de O&M da empresa parceira foi informado que o dono da Usina II solicitou uma limpeza nos módulos da usina e foi perceptível uma melhora na geração.



Figura 18: Relato fotográfico aéreo tirada do drone Dji Mini 3 da usina fotovoltaica com fixação em telhado localizada Setor Vale do Sol, Aparecida de Goiânia-GO [Autores].

Os resultados da análise de desempenho da usina solar no período de setembro de 2024 demonstram melhorias significativas em relação aos anos de 2022 e 2023, conforme figura 19, que também foram analisados. Durante este mês, a usina foi projetada para produzir 31.312,13 kWh e alcançou 91,35% desse valor, gerando 28.604,10 kWh. Apesar disso, o consumo de energia foi maior que o previsto, totalizando 46.415,56 kWh, o que equivale a 162,27% da geração do mês em questão.

Como temos na Figura 19, as mudanças implementadas após visitas técnicas trouxeram avanços evidentes, refletindo-se também nos resultados financeiros. A economia gerada pelo sistema solar em setembro foi de R\$ 32.283,36, representando 61,16% de redução nos custos em relação ao cenário sem o sistema, onde o gasto seria de R\$ 52.785,12.

GERAÇÃO	CONSUMO	CONSUMO SOB GERAÇÃO	ECONOMIA
28.604,1 kWh	46.415,56 kWh	162,27%	R\$ 32.283,36

Figura 19: Resultados e Dados da Usina II em setembro de 2024 [Autores].

5. Conclusão

A inspeção técnica realizada na usina fotovoltaica de Senador Canedo demonstrou a relevância de ações preventivas e corretivas para garantir a eficiência operacional e financeira de sistemas solares. A relação entre a sujidade e a perda de potência ficou evidente, destacando a necessidade de práticas regulares de manutenção, como limpeza mais eficiente e inspeções periódicas, para minimizar impactos negativos na geração de energia.

Além disso, a identificação de problemas como resíduos acumulados nos módulos solares e o superaquecimento nos disjuntores gerais ressaltou como falhas na manutenção podem afetar o desempenho do sistema. A implementação de soluções, como a instalação de barramentos para dissipação de calor e melhorias nas práticas de limpeza, contribuiu diretamente para a superação das metas de geração em setembro de 2024, com 138.325,40 kWh produzidos, 104,08% do esperado.

Essas melhorias refletiram-se também nos resultados financeiros, com uma economia de R\$ 160.602,97 no mês, representando uma redução de 80,95% nos custos de energia e impactando positivamente no tempo de retorno do investimento. Assim, a inspeção técnica não apenas solucionou problemas imediatos, mas também demonstrou a importância de uma gestão integrada, equilibrando eficiência energética e sustentabilidade econômica para o sucesso do projeto a longo prazo.

A inspeção técnica realizada em Aparecida de Goiânia evidenciou a importância da manutenção preventiva para a eficiência operacional de usinas fotovoltaicas. A utilização de um drone para capturar imagens aéreas permitiu uma análise detalhada da condição dos módulos, sem que anomalias fossem detectadas. Contudo, a entrevista com a equipe de Operação e Manutenção revelou a relevância da limpeza dos painéis solares para melhorar a geração de energia, demonstrando a relação direta entre a sujidade acumulada nos módulos e a perda de potência do sistema.

Os dados analisados corroboram essa relação, indicando que, mesmo em condições ideais de instalação, a presença de sujeira pode impactar significativamente o desempenho do sistema. A produção alcançada em setembro de 2024 foi de 91,35% da meta projetada, destacando o impacto positivo das práticas de manutenção, como a limpeza realizada. Financeiramente, a economia gerada pelo sistema solar evidenciou um retorno financeiro progressivo, com uma redução de 61,16% nos custos de energia no mês avaliado, em comparação ao cenário sem o sistema.

Dessa forma, a análise conclui que investimentos em manutenção regular, como a limpeza de módulos, são cruciais para maximizar a eficiência energética e garantir retornos financeiros consistentes, alinhados ao planejamento inicial do projeto.

6. Referências Bibliográficas

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). Solar fotovoltaica: a fonte renovável do século XXI. Acesso em: 6 de junho de 2024. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/solar-fotovoltaica-a-fonte-renovavel-do-seculo-xxi/>.
- [2] BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023. Acesso em: 6 de junho de 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-de-expansao-da-energia-solar-em-2023>.
- [3] WEG. Werner Ricardo Voigt, Eggon João da Silva e Geraldo Werninghaus (WEG). Saiba o que é eficiência de painéis solares e veja como calculá-la. Acesso em: 8 de junho de 2024. Disponível em: <https://www.weg.net/solar/blog/saiba-o-que-e-eficiencia-de-paineis-solares-e-veja-como-calcula-la/>.
- [4] BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Relatório PNE2050. Brasília: MME, 2023.
- [5] LUMUS ENGENHARIA. Crescimento da energia solar no Brasil. Acesso em: 6 de junho de 2024. Disponível em: <https://lumusengenharia.com.br/blog/crescimento-da-energia-solar-no-brasil/#:~:text=Em%202012%2C%20dados%20da%20Associa%C3%A7%C3%A3o,centralizada%20e%20gera%C3%A7%C3%A3o%20distribu%C3%ADda%20nos>.
- [6] UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE (UNICENTRO). Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891): O criador da célula solar. Acesso em: 6 de junho de 2024. Disponível em: <https://www3.unicentro.br/petfisica/2021/12/17/alexandre-edmond-becquerel-1820-1891-o-criador-da-celula-solar/>.
- [7] ZILLES, Roberto et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. São Paulo: Oficina de texto. Acesso em: 13 jun. 2024., 2012Ribeiro. (2021).
- [8] PEREIRA, O. L. S.; GONÇALVES, F. F. Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica: estudo de caso do sistema DE tubarão – SC. Revista Brasileira de Energia, Vol. 14, No. 1, 1º Sem. 2008, pp. 25-45.
- [9] Ribeiro, T. B.: Energia Fotovoltaica: conheça as razões para este investimento. Blog Bão Ribeiro. Acesso 30 de abril de 2021. Disponível em: <https://baoribeiro.com.br/blog/energia-fotovoltaica-razoes-para-investimento/>
- [10] Sauaia, R., Koloszuk, R.: Solar 2.0: como sistemas de armazenamento trazem novo crescimento da fonte. Fotovolt. Acesso 22 de julho de 2018. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/artigos/solar-2-0-como-sistemas-de-armazenamento-trazem-novo-crescimento-da-fonte/>
- [11] Taliule, B.: Dimensionamento de módulos por string no inversor fotovoltaico. Fotus. Acesso 2021. Disponível em: <https://fotus.com.br/blog/dimensionamento-de-modulos-por-string-no-inversor-fotovoltaico/>
- [12] Messenger, R. A., Ventre, J.: Photovoltaic Systems Engineering. CRC Press, Boca Raton. Acesso 2015. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=125677>