

Eficiência Energética em Painéis Fotovoltaicos

Ana Luiza da Silva Rosa¹, Cássio Nicolini da Silva Moura², Fábio Pires de Almeida³, Lucas André de Souza Costa⁴

anarosa.4376@aluno.unibh.br¹, cassiomoura.8234@aluno.unibh.br², fabioalmeida.4512@aluno.unibh.br³,
lucascosta.2902@aluno.unibh.br⁴

Professora orientadora: Vanessa Cristina Lopes Santos

Coordenação de curso de Engenharia Elétrica

Resumo

A instalação de sistemas fotovoltaicos mostra-se uma alternativa promissora para a geração sustentável de energia elétrica. Esta pesquisa tem como objetivo comparar os resultados da análise da potência gerada pelos painéis solares de um sistema fotovoltaico, utilizando diferentes bases de dados de irradiação solar. Tendo como objeto de estudo o sistema fotovoltaico da usina instalada em Curvelo-MG, onde foram obtidos dados de irradiação solar e outros parâmetros climáticos, a partir de diferentes bancos e softwares dedicados. Esta foi comparada com os dados reais de geração, obtidos através do software de monitoramento do inversor do sistema, e submetida a testes estatísticos. Os resultados mostram em uma análise específica do recorte no período que se antecede a limpeza dos painéis, contraposto aos dias subsequentes à limpeza dos painéis fotovoltaicos, aferindo a possibilidade direta no ganho de eficiência da potência de saída medida no inversor. Consequentemente, levará a manutenção periódica dos painéis, como uma estratégia positiva para se manter ao longo do tempo a eficiência da geração de energia proposta pelo fabricante.

A partir de medições contínuas de médio e longo prazo, pode ser realizada uma previsão de estimativa para limpeza dos painéis visando o ganho máximo de potência, garantindo a eficiência do sistema fotovoltaico. Desta forma, este trabalho tem como intuito analisar até que ponto o acúmulo da sujidade caracterizado por todas as impurezas podem interferir na absorção da incidência solar pode afetar a eficiência do sistema na geração de energia.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Energia solar. Painéis Fotovoltaicos. Limpeza de módulos.

1. INTRODUÇÃO

Estudos apontam o Brasil como grande potencial para utilização de energia fotovoltaica. Segundo o artigo “Brasil Sustentável – Desafios do Mercado de Energia” (Ernst & Young Brasil e Fundação Getúlio Vargas Projetos, 2008), “O Brasil será o sétimo maior mercado consumidor de Energia até 2030 e, para atender ao crescimento desta demanda, estimada em 3,3% ao ano, nas próximas duas décadas, serão necessários investimentos da ordem de US\$ 750 bilhões”.

Segundo Tolmasquim, Guerreiro e Gorini (2007) desde a Revolução Industrial, a competitividade econômica dos países e a qualidade de vida de seus cidadãos são intensamente influenciadas pela energia. Há especialistas que chegam a afirmar que a capacidade econômica de um país pode ser medida pela sua capacidade energética.

¹ Graduação em Engenharia Elétrica – Centro Universitário UNIBH.

Diante de tal exposição da dependência econômica, social e sustentável de uma nação quanto ao fator energético, torna-se cada vez mais preocupante o cenário atual de escassez das chuvas e, consequentemente, baixos níveis dos reservatórios que atendem às usinas hidrelétricas.

O Brasil é um país privilegiado quanto a incidência de radiação solar. O território brasileiro está relativamente próximo a linha do equador e o fluxo de radiação solar global incidente no território brasileiro é superior ao de países da União Europeia onde projetos para aproveitamento de recursos solares são disseminados (MARTINS et al., 2007).

Diante deste cenário, evidencia-se que os sistemas fotovoltaicos de geração de energia precisam ser mais bem explorados, afinal o consumo de energia elétrica tende a aumentar consideravelmente nos próximos anos. Ao mesmo tempo existem legislações que favorecem e incentivam as micros e minigerações, além da posição geográfica extremamente favorável em relação ao fluxo de radiação solar.

Um sistema fotovoltaico terá perda de rendimento a partir do momento em que se for comprometida a capacidade de absorção da radiação solar pela célula fotovoltaica, que pode ser caracterizado por vários fatores, como por exemplo, danos elétricos e mecânicos. Estando expostas às intempéries, os painéis solares sofrem desgastes naturais de sua operação assim como danos causados por elementos externos.

Além disso, as células fotovoltaicas perdem rendimento com o passar do tempo. Estima-se por fabricantes de módulos fotovoltaicos que a perda de rendimento em um painel fotovoltaico é de 0,8% ao ano. Porém, esta perda de rendimento pode atenuar não somente um módulo, podendo afetar um conjunto maior de módulos no sistema, devido ao efeito de imposição de corrente série.

Alguns fatores podem afetar a eficiência dos painéis fotovoltaicos, por exemplo, a insolação e a temperatura do local onde o sistema está instalado é um fator importante a ser analisado. Entretanto, um outro fator que contribui para a redução da eficiência, consiste na deposição de sujidades na superfície dos painéis ao longo do tempo. Na composição do ar existem outros fatores que podem causar o acúmulo de resíduos nos painéis fotovoltaicos, como poeira, restos de organismos vivos ou microrganismos etc. Além de ácaros, sujeira, folhas, excrementos de pássaros e outros tipos de materiais que podem impedir a passagem dos raios solares pelas células do painel fotovoltaico e com um certo tempo estes elementos podem formar uma camada na superfície dos módulos fotovoltaicos, causando impactos na eficiência da geração de energia.

Com o avanço e crescimento da utilização da Energia Fotovoltaica, o controle de rendimento e qualidade se tornam cada vez mais exigentes. Um dos principais problemas é a redução do rendimento dos painéis por acúmulo de sujeiras e poeira. Por esse fato, é fundamental criar métodos de acompanhamento dos módulos, para que estes sejam mais eficientes.

Neste artigo será analisado dados de geração de um sistema fotovoltaico, os elementos técnicos que o constituem, bem como um estudo estatístico antes e depois da limpeza dos painéis, focando na eficiência energética com uma análise de perda do rendimento devido ao acúmulo de sujeiras.

Diante de tantos impactos negativos da sujidade sobre os módulos, faz-se necessária a limpeza para que o sistema não tenha a sua produção reduzida, para que os proprietários dos sistemas tenham o seu retorno sobre o investimento garantido e eficiência da conversão de energia. A taxa de deposição de sujeira nas instalações fotovoltaicas varia de acordo com os elementos que compõem o ambiente, tais como o tipo de solo, a umidade relativa, a incidência de ventos e chuva, a vegetação e a fauna próximas, além da proximidade de regiões com alta circulação de automóveis ou áreas industrializadas. A principal evidência de que os módulos fotovoltaicos devem passar por um processo de limpeza é a redução de geração energética. Este

problema pode ser detectado por meio do monitoramento dos índices de geração dos módulos fotovoltaicos e as condições climáticas.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Energia Solar

A energia solar é uma fonte de energia inesgotável no ambiente e favorece a questão socioambiental, possui uma tendência de crescimento ao longo dos anos. Segundo Marques, Krauter, Lima (2009, p.156), o conceito embutido nos módulos fotovoltaicos pode ser compreendido de forma simples na transformação de energia eletromagnética em energia elétrica, ou seja, semicondutores expostos à luz solar, gerando uma corrente elétrica.

A irradiação é um fator crucial para a potencial geração de energia elétrica nos módulos fotovoltaicos, além de ser um estudo de viabilidade para projeção dos sistemas fotovoltaicos. O Brasil é um país privilegiado pela incidência solar, favorecendo o processo de transformação de energia eletromagnética em energia elétrica. Além disso, estar próximo a linha do Equador favorece a incidência solar em todas as estações do ano.

Assim, com o desenvolvimento tecnológico contamos atualmente com uma diversidade de softwares que permitem realizar levantamentos de dados de acordo com o objetivo da análise do sistema fotovoltaico, sejam elas ferramentas livres ou particulares.

2.2 Inversores

O principal papel de um inversor solar é converter a energia elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos de corrente contínua (DC) para corrente alternada (AC), que é exigida pela maioria dos equipamentos elétricos. No caso de sistemas conectados (on grid), eles também são responsáveis pela sincronização com a rede. Na Figura 1 é ilustrado alguns modelos de inversores, com diferentes aspectos construtivos.



Figura 1 - Tipos de Inversores Solares
Fonte: Joi e Equipe. Energês, 2020

2.3 Painéis Fotovoltaicos

Existem vários tipos de materiais semicondutores utilizados na confecção de células fotovoltaicas, cada um com suas próprias características. O semicondutor mais utilizado atualmente é o silício que, de acordo com o seu processo de fabricação, pode ser monocristalino,

policristalino ou amorfo, respectivamente apresentados na Figura 2. Neste trabalho, foi utilizado apenas a célula de silício monocristalino.

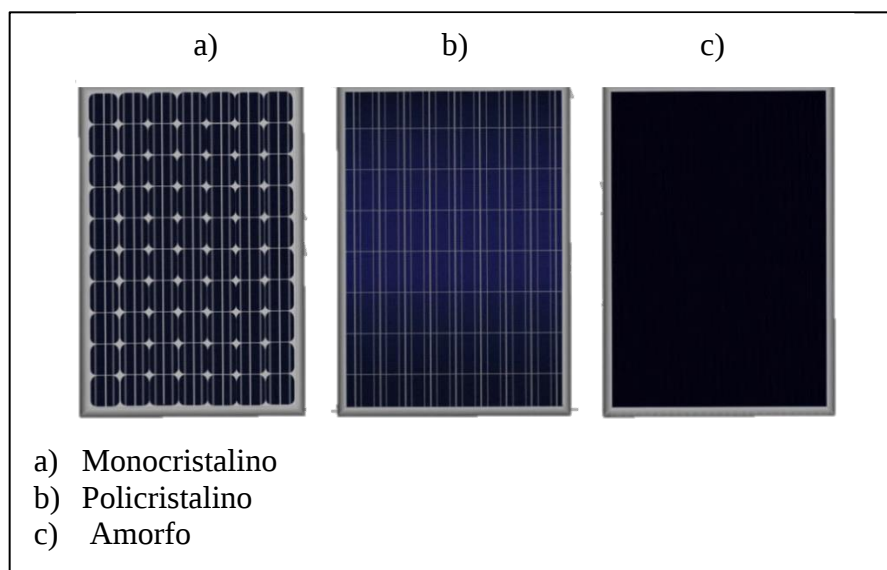


Figura 2 - Tipos de painéis Fotovoltaicas

Fonte: Mestre da Energia Solar, 2021

Passos (2017), define a célula de silício monocristalino da seguinte forma:

“Células de silício monocristalino: estas células são obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino (cristal uniforme e único, com estrutura homogênea) produzidas em fornos especiais. As barras são cortadas em forma de pastilhas finas com, aproximadamente, 0,3 mm de espessura. A sua eficiência na conversão da luz solar em eletricidade varia de 15% a 19%. Estão entre as mais eficientes e também as mais caras no mercado devido ao seu processo de fabricação e alto teor de pureza do silício”. (PASSOS, 2017).

2.4 Aplicações da tecnologia fotovoltaica

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em: sistemas autônomos isolados ou híbridos (off-grid) e sistemas conectados à rede (on-grid).

O sistema autônomo isolado (off-grid) é composto apenas por painéis fotovoltaicos e desconectado da rede elétrica de distribuição.

O sistema autônomo isolado híbrido (off-grid), também são sistemas desconectados da rede elétrica, mas existe outra forma de geração de energia, por exemplo turbinas eólicas ou gerador a diesel, em conjunto com os módulos fotovoltaicos.

O sistema conectado à rede (on-grid) é uma fonte complementar ao sistema elétrico, podendo ser diretamente consumida pela carga ou injetada na rede elétrica conectada.

2.5 Sujidade dos painéis

A sujeira encontrada na superfície dos módulos fotovoltaicos impacta diretamente a geração energética. A sujeira leva a uma redução da irradiação solar absorvida pelas células que compõem o módulo fotovoltaico, podendo, em casos extremos, causar sombreamento parcial, pontos quentes e, conseqüentemente, um estresse térmico nas células que pode contribuir para o desenvolvimento de microfissuras nas células.

Entretanto, a limpeza dos painéis pode ser realizada de forma: manual, automatizada ou natural. Há operadores que adotam a limpeza natural dos painéis, aproveitando a incidência das chuvas, alterando a inclinação dos módulos fotovoltaicos. Segundo Pinho e Galdino (2014, p.367) a autolimpeza dos módulos através da água da chuva, pode ser efetuada com a inclinação

mínima aconselhada de 10° para as regiões próximas ao Equador, com a latitude variando entre -10° e +10°.

A limpeza natural ocorre em tempos chuvosos removendo as partículas que estão na superfície do painel. Que por sua vez não é muito eficaz, pois consegue remover apenas detritos maiores e normalmente com ele traz outras partículas que acabam grudando na superfície do painel. Após um período de exposição dos painéis em determinados ambientes a camada de detritos vai se tornando densa e tornando a forma de limpeza natural ineficaz. Este método acaba sendo uma limpeza mais superficial.

O processo automatizado realiza a limpeza através de um processo mecânico, acionado computacionalmente, consequentemente reduzindo a água, não necessitando do operador para a limpeza e proporcionando uma eficiência energética aceitável para os painéis.

O processo manual necessita da operação prática do operador para realização da limpeza e requer um certo cuidado para não prejudicar os módulos fotovoltaicos. Neste processo o operador não deve apoiar-se nos módulos, evitar o uso de produtos químicos e utensílios que podem arranhar o vidro, devendo utilizar apenas uma flanela limpa e água.

Segundo Pinho e Galdino (2014, p.120), o método de conversão de energia solar em energia elétrica é dado pela eficiência (η), que especifica a efetividade do processo. Dado pela associação da potência gerada pela célula fotovoltaica e a potência da incidência solar.

A eficiência pode ser afetada pela incidência solar, temperatura, sombras, sujeiras, variação da massa de ar, entre outros. É necessário realizar um estudo de periodicidade para realizar a limpeza, independente de qual tipo de limpeza utilizada, para não afetar a eficiência dos painéis fotovoltaicos. A limpeza vai além de manter a produtividade em alto nível, prolongando a vida útil dos painéis, diminuindo o acúmulo de sujeira que pode causar fungos, manchas e corrosão, que impacta na produção total da usina.

2.6 Eficiência de sistemas

A eficiência ou também chamado rendimento é a relação entre a potência de saída e a potência de entrada de um sistema. O ideal seria, ter painéis com eficiência de 100%, com nenhuma energia sendo perdida dentro do equipamento, com toda a energia fornecida à entrada do equipamento podendo ser recuperada em sua saída.

Uma eficiência ideal não é possível, mas os painéis comercialmente disponíveis já alcançam eficiências perto de 99%, bem acima de outras fontes de energias utilizadas comercialmente.

3. METODOLOGIA (Materiais e métodos)

3.1 Localização do sistema instalado

O sistema fotovoltaico em estudo encontra-se instalado no telhado de um sítio no município de Curvelo / MG, com as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: -18° e longitude -44°.

3.2 Montagem do sistema fotovoltaico

O sistema foi montado no telhado da residência conforme mostrado na Figura 3, sendo composto por 03 *strings* com dois conjuntos com 08 painéis e um com 07 painéis em serie e ligados em paralelo no inversor que converte corrente contínua em corrente alternada, ocupando uma área total de 49,89 m², aproximadamente, do telhado da residência.



Figura 3 - Imagem do telhado com o conjunto de painéis fotovoltaicos.

Fonte: Arquivo particular do Proprietário².

3.3 Parâmetros do sistema (características dos painéis)

Os painéis fotovoltaicos são de silício monocristalino (ULOS RSM156-6-450M), com potência de 450W cada, e um inversor (Grid-Tie Deye SUN-8K-G) totalizando uma potência instalada de 8kW, e entrou em operação em 28/07/2021 para atender parte da demanda de energia elétrica dessa residência, como mostra a Figura 4 do esquema elétrico do projeto fotovoltaico.

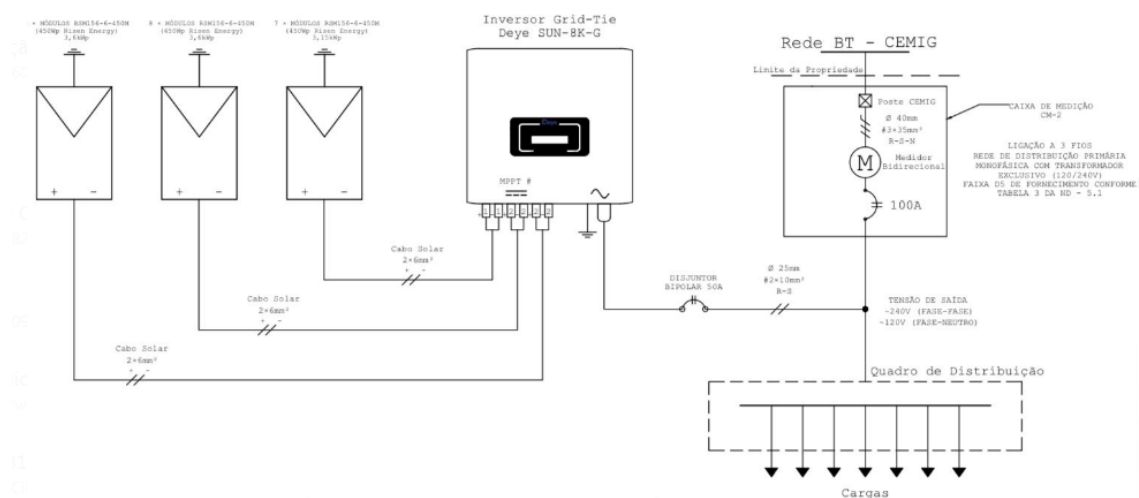


Figura 4 – Esquema elétrico do projeto fotovoltaico

Fonte: Arquivo particular do projeto³.

3.4 Análise solar da região durante o período coletado

A coleta dos dados da irradiação solar global no plano inclinado, foram obtidos através da plataforma CRESESB em 2021, selecionando o local desejado pelas suas coordenadas geográficas. Com estes dados podemos realizar a comparação entre a irradiação solar da região em que o painel foi implantado e a potência produzida pelo sistema, conforme Tabela 1.

² Imagem retirada de arquivo de fotos do proprietário da residência, 2021.

³ Imagem de arquivo particular do proprietário referente ao projeto fotovoltaico instalado em sua residência, 2021.

Tabela 1 - Irradiação solar do município de Curvelo, ano de 2021.

Estação: Curvelo
Município: Curvelo, MG - BRASIL
Latitude: 18,801° S
Longitude: 44,449° O
Distância do ponto de ref. (18,801° S; 44,449° O) : 0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal (kWh/m ² .dia)												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
☐	Plano Horizontal	0° N	6,06	6,35	5,48	5,17	4,59	4,27	4,67	5,34	5,79	5,85	5,54	5,91	5,42	2,08
☒	Ângulo igual a latitude	19° N	5,52	6,06	5,57	5,71	5,48	5,30	5,74	6,14	6,09	5,69	5,12	5,32	5,65	1,02
☒	Maior média anual	19° N	5,52	6,06	5,57	5,71	5,48	5,30	5,74	6,14	6,09	5,69	5,12	5,32	5,65	1,02
☒	Maior mínimo mensal	17° N	5,59	6,11	5,58	5,68	5,41	5,22	5,65	6,08	6,09	5,73	5,19	5,40	5,64	,93

Irradiação Solar no Plano Inclinado –Curvelo–Curvelo, MG–BRASIL

18,801° S; 44,449° O

Fonte: CRESESB, 2021

Foram realizadas comparações dos resultados da quantificação dos dados da base de dados obtidas pelo monitoramento da potência do inversor acoplado aos painéis fotovoltaicos no período de 11/08/21 até 17/08/21 e do monitoramento climático de emissão solar em agosto a partir das medições extraídas do portal CRESESB.

3.5 Equipamentos utilizados para limpeza da placa

A limpeza como informado foi realizada com água e pano úmido, na data de 14/08/2021.

3.6 Características da extração periódica dos dados

Os dados de potência em kW foram gerados a cada hora do dia e coletados através do software de monitoramento do inversor, fabricante Deye e modelo SUN-8K-G e transferidos para o programa Excel para geração de tabelas informando o pico de geração de potência para cada dia do ano.

3.7 Processamento dos dados obtidos

Foi escolhido como referência para a análise os dados obtidos a partir da potência diária entregue em kW pelo inversor solar a data de 14 de agosto de 2021 em que foi realizada a limpeza dos painéis fotovoltaicos e estabelecido o recorte de três dias antes e três dias depois a partir da data referência.

Na extração dos dados das potências em kW enviadas pelo inversor, algumas anomalias foram identificadas no reporte dos valores para um quantitativo de amostras, em que as medidas foram duplicadas no mesmo intervalo e enviadas como duas medidas distintas.

Desta forma, houve medições que ultrapassaram a potência máxima de 8 kW do inversor, devido a somatória de dados reproduzidos no mesmo instante.

A eficiência dos equipamentos do sistema é constante, mas pode variar de acordo com suas condições de operação, o inversor utilizado na montagem do projeto fotovoltaico foi o modelo SUN-8K-G e segundo o datasheet de seu fabricante nos indica uma eficiência ou rendimento de 97,7%, considerando que a irradiância e a temperatura variam ao longo das horas, dos dias e dos meses do ano, os inversores operam durante uma parte do tempo em diferentes valores de potência, teoricamente em uma faixa que vai de 0 a 100% da sua potência máxima.

No intuito de uma melhor visualização e entendimentos dos dados obtidos, para contenção dos erros, foram realizadas as tratativas das anomalias constatadas com a substituição dos valores reportados em duplicidade, pela média das amostras enviadas ao mesmo tempo.

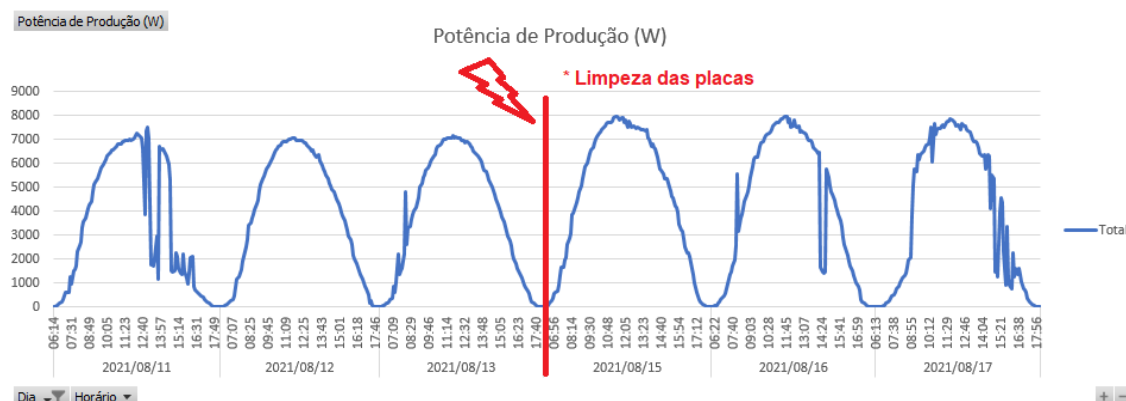


Gráfico 1 – Análise da variação de potência antes e depois da limpeza.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2022.

A partir do cálculo da média diária de potência obtida pelo inversor, foi realizado o comparativo da eficiência de rendimento nos dias que se antecederam a limpeza dos painéis em contraposto aos dias posteriores demonstrados no Gráfico 1.

3.8 Quantificação dos dados (métodos estatísticos)

Os métodos estatísticos aplicados na análise de dados comparativa entre as bases de dados estudadas referente a emissão solar e potência obtida no inversor, que visam avaliar o grau de variabilidade dos dados em torno da média e média ponderada. Além disso, o conjunto de dados médios, medianas e médias ponderadas, são incluídos para representar o valor central do conjunto total de dados.

Médias:

A média é dada pela soma de todos os elementos que estão sendo considerados, dividido pelo número de elementos “n” como mostrado na Equação 1.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Equação (1)

Mediana:

A mediana é uma medida de posição que separa o conjunto de dados ordenados exatamente na metade, deixando 50% dos valores abaixo e 50% acima.

3.9 Desenvolvimento de tabelas e gráficos

O tratamento dos dados e a análise dos indicadores estatísticos foram gerados utilizando o software Excel. Os dados coletados do inversor foram extraídos de hora em hora, organizando os dados obtidos na mesma unidade de medida. Para efeitos visuais e melhor compreensão dos gráficos, foram geradas as médias diárias e mensais a partir do banco de dados utilizado. Foram avaliadas as diferenças entre os valores medidos utilizando dados coletados por hora e a média diária dos dados reais obtidos.

Foi utilizado o portal Freemeteo (2022), a fim de obter os índices climáticos referentes aos dias de recorte analisados. Parâmetros como temperatura, precipitação, irradiação solar, umidade relativa do ar e as condições meteorológicas do tempo, foram quantificados para traçar

o desenvolvimento dos gráficos. Contrapondo os dados obtidos aos níveis de potência alcançados pelo inversor solar.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente trabalho detalha a geração de energia do sistema de geração residencial fotovoltaica em Curvelo-MG e o impacto da limpeza para remover a sujeira existente na superfície dos painéis fotovoltaicos, onde a limpeza manual se mostrou eficaz, de fácil manuseio e baixo custo sem danificar as células do painel quando realizada corretamente. Espera-se que a produção anual varie significativamente, visto que a instalação é monitorada e a manutenção preventiva contra acúmulo de sujeira nos painéis varia de acordo com o ambiente, para que esteja sempre em alta produção conforme indica o Gráfico 2. O mesmo demonstra a irradiação solar da cidade de Curvelo-MG. Comparando com a potência média gerada pelo sistema, a partir dos dados extraídos da Tabela 1. Pode-se observar uma similaridade entre as curvas nos meses aferidos referente à irradiação solar e a potência média mensal do inversor.

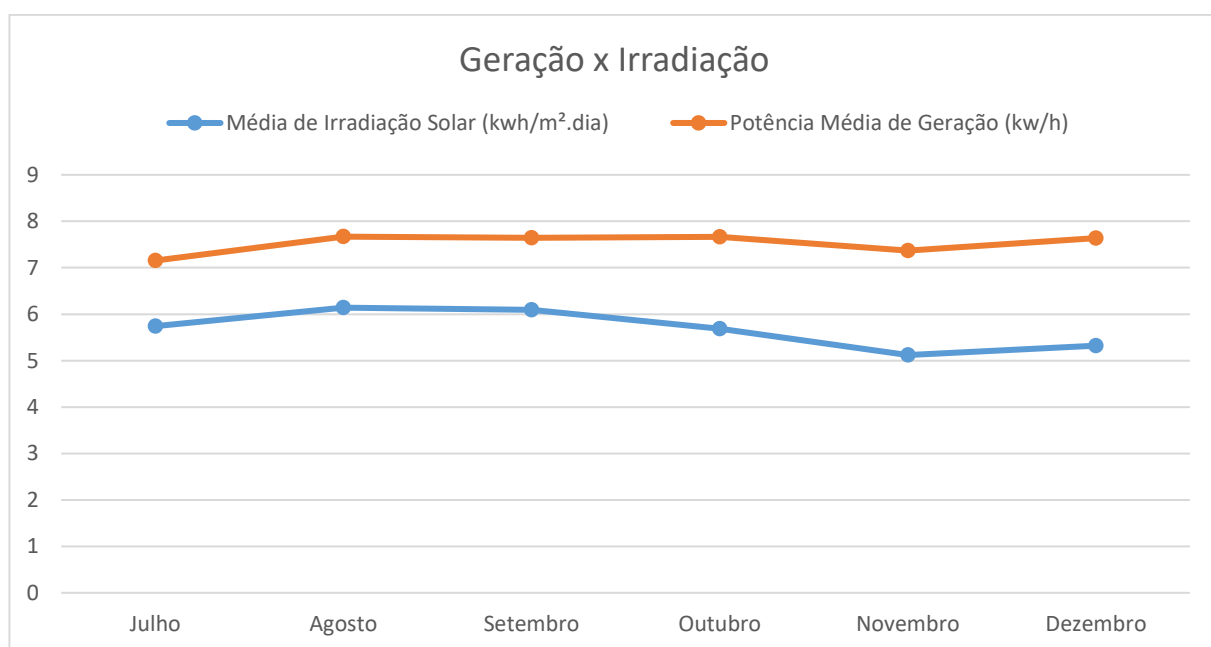


Gráfico 2 – Geração x Irradiação solar
Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2022.

Além disso, o estudo possibilitou analisar e confirmar que a limpeza dos painéis realizada de forma correta e no tempo correto, resultará num resultado positivo no quesito de produção. Considerando que o inversor possui eficiência ou rendimento de 97,7%, e uma potência de saída nominal de 8kW, podemos estimar uma potencia máxima de aferição, obtido na Equação 2.

$$P_{\text{máx aferição}} = 8000W \times 97,7\% = 7816W$$

Equação (2)

O Gráfico 1, foi gerado a partir dos dados do inversor, onde pode-se observar que depois do dia 14/08/2021, após a limpeza observa-se o aumento na potência, atingindo a potência máxima de aferição.

Entretanto, somente este dado não indica que a limpeza dos painéis causou o aumento no rendimento, necessitando observar dados climáticos da região.

O Gráfico 3 apresenta as variações climáticas em Curvelo MG, demonstrando as diferentes condições do tempo durante os dias 11/08 a 17/08.

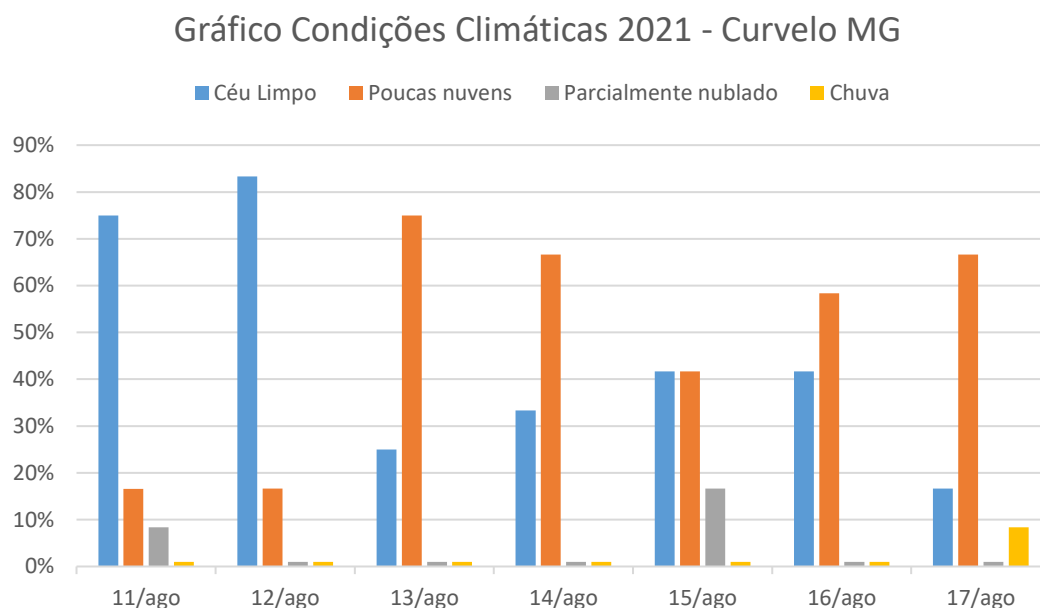


Gráfico 3 – Condições Climáticas 2021 – Curvelo MG

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2022.

A partir dos dados obtidos no portal Freemeteo (2022), observa-se a predominância do céu limpo nos dias 11 e 12 de agosto, já nos dias 13 e 14 de agosto tivemos o aumento considerável de nuvens, nos dias 15, 16 e 17 de agosto tivemos um aumento da nebulosidade insignificante. Com a taxa de chuva desprezível para todos os dias demonstrados. Indicando que os dados climáticos não interferiram na geração de energia.

O Gráfico 4, compara a variação da temperatura com a variação da umidade, nos dias em análise.

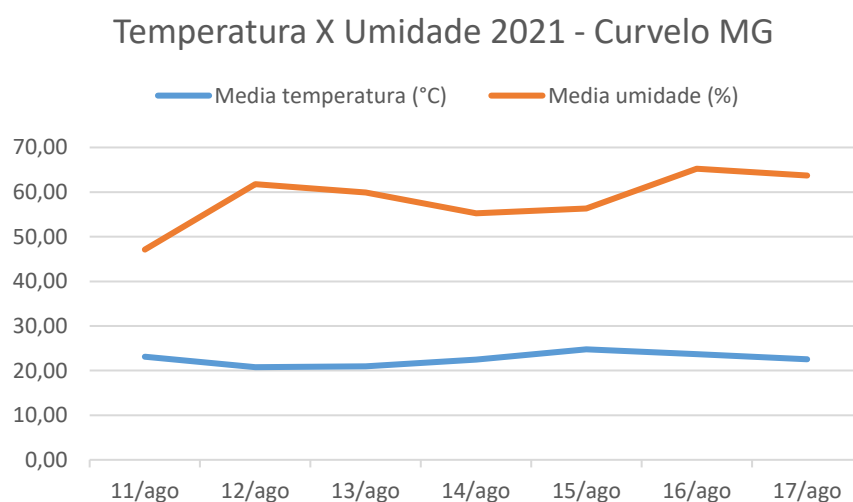


Gráfico 4 – Temperatura X Umidade 2021 – Curvelo MG.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2022.

Pode se observar que, durante o recorte analisado nos dias 11/08 a 18/08/2021, a temperatura se manteve estável entre 21°C e 25°C, e devido à baixa variação da temperatura

pode-se condicionar essa estabilidade como um fator positivo na eficiência dos painéis e dessa forma atribuindo à limpeza, o ganho do rendimento obtido.

Verificou-se que, após a limpeza, o tempo permaneceu com poucas nuvens e mesmo assim a usina fotovoltaica apresentou um rendimento cerca de 8,68% maior, comparando a média máxima de potência obtida pelo inversor, nos dias antes e depois da limpeza dos painéis realizada no dia 14/08/2021, conforme ilustrado no Gráfico 2.

Foi observado que o acúmulo de sujeira sobre os painéis pode degradar o rendimento do sistema, impondo uma perda de produtividade. Com a realização de apenas uma limpeza o rendimento foi de 97,7% total, com o sistema sempre em alta produtividade alcançando aproximadamente 7989 W. Desta forma constatamos que a manutenção preventiva de todo o sistema, relacionado a sujeira sobre os painéis fotovoltaicos gera um grande impacto da produção de energia.

CONCLUSÕES

Conclui-se a partir dos estudos realizados a aferição que a sujeira causa um impacto real na eficiência da geração de energia, decorrente das medições obtidas pelo inversor da usina fotovoltaica instalada na cidade de Curvelo – MG.

Fatores externos meteorológicos interferem diretamente na eficiência e geração final da produção de energia dos painéis fotovoltaicos. Porém, verificou-se que se mantendo a estabilidade dos parâmetros climáticos pode-se atribuir uma eficiência considerável de potência máxima obtida do inversor, após a utilização de materiais de simples acesso como pano e água para a limpeza dos painéis.

Em síntese, conclui-se que os resultados obtidos demonstraram no específico recorte analisado, que a limpeza aumentou o rendimento em 8,68% do sistema.

Para desenvolvimentos futuros, a partir de medições contínuas de médio e longo prazo, recomenda-se a análise dos dados de geração mensal, com o intuito de criar um fluxo de estimativa para realizar uma limpeza de forma preventiva para não afetar na eficiência da geração fotovoltaica, visando o ganho máximo de potência, garantindo a eficiência do sistema. Longos períodos de estiagem podem aumentar o acúmulo de sujeira dos painéis, visto que regiões de maior índice pluviométrico tendem a auxiliar também na limpeza periódica do sistema fotovoltaico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus por nos dar sabedoria e força para a conclusão do trabalho.

À orientadora Vanessa Cristina Lopes Santos, pelo tempo dedicado na correção e incentivo pela busca ativa.

Ao professor Rafael Maia Gomes, pela atenção dedicada aos integrantes do trabalho e os dados fornecidos para o estudo de caso.

Ao professor Wellington José da Cunha pelos ensinamentos para a construção do trabalho.

Aos professores do curso de engenharia elétrica que fizeram parte da nossa trajetória, agradecemos pelos conselhos, dicas e conhecimentos técnicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Matrizes de Energia Elétrica – Operação e Capacidade.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 11 de abril. 2022.

“Brasil Sustentável – Desafios do Mercado de Energia” (Ernst & Young Brasil e Fundação Getúlio Vargas Projetos, 2008),

BRITO, M. C., SERRA, J. M. Células solares para a produção de energia elétrica. Quantum número 1 - Revista do Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal, 2005.

CÂMARA, Carlos Fernando. **Sistemas fotovoltaicos conectados à Rede elétrica.** 2011. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2011). Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/monografia-Carlos-Fernando-Camara.pdf>> Acesso em: 11 de abril. 2022.

CANAL SOLAR. **Saiba os efeitos da sujeira nos módulos fotovoltaicos.** Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/saiba-os-efeitos-da-sujeira-nos-modulos-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 27 mar. 2022.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **CRESESB.** Rio de Janeiro: CRESESB, 2021. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 12 jun. 2022.

DANTAS, Stefano Giacomazzi. **Oportunidades e Desafios da Geração Solar Fotovoltaica no semiárido do Brasil.** Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2020. E-book (60p.) (Texto para Discussão). color. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9680>. Acesso em: 25 abr. 2022.

EFICIÊNCIA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM DIFERENTES PROCESSOS DE MANUTENÇÃO, 2019 Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11471/1/FB_COEAM_2019_2_07.pdf> Acesso em: 08 abr. 2022.

FREEMETEO COPYRIGHT ©2007-2022. **Freemeteo.** Portal de medições climáticas. Curvelo-MG: Freemeteo, 2021. clima-tempo. Disponível em: <https://freemeteo.com.br/clima/curvelo/historico/historico-por-dia/?gid=3464891&date=2021-08-11&station=22789&language=portuguesebr&country=brazil>. Acesso em: 8 jun. 2022.

GAIO, J. N.; CAMPOS, K. M. A. D. **Determinação do Tempo Ótimo para Limpeza de Painéis Fotovoltaicos para Obtenção da Melhor Produtividade - Estudo de Caso dos SFVCR's Implantados na UTFPR.** Orientador: Gerson Máximo Tiepolo. 2017. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10082>. acesso em: 22 abr. 2022.

IMPACTO DA LIMPEZA DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA MELHOR PRODUTIVIDADE, 2021 Disponível em <
<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3228/1/IMPACTO%20DA%20LIMPEZA%20DE%20PAIN%c3%89IS%20FOTOVOLTAICOS%20PARA%20MELHOR%20PRODUTIVIDADE.pdf> > Acesso 27/04/2022.

JOI E EQUIPE. Energês. **DO INÍCIO AO FIM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ON-GRID**. [S.l.]. Energês, 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/sistema-solar-on-grid/>. Acesso em: 29 abr. 2022.

MAEX ENGENHARIA. **A energia que vem do sol**. Disponível em: <http://maex.com.br/a-engenharia-vem-do-sol/>. Acesso em: 25 mai. 2022.

MARQUES, R. C.; KRAUTER, S. C. W.; DE LIMA, L. C. **Energia solar fotovoltaica e perspectivas de autonomia energética para o nordeste brasileiro**. Revista Tecnologia, [S. l.], v. 30, n. 2, 2009. Disponível em: <https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/1049>. Acesso em: 20 abr. 2022.

MARTINS, Fernando R.; PEREIRA, Enio B.; GUARNIERI, Ricardo A.; SILVA, Sheila A. B.; YAMASHITA, Cristina S.; CHAGAS, Rafael C.; ABREU, Samuel L.; COLLE, Serio; **Mapeamento dos recursos de energia solar no brasil utilizando modelo de transferência radiativa brasil-sr**. 2007.

MESTRE DA ENERGIA SOLAR. **Quais são os tipos de painéis fotovoltaicos disponíveis no mercado**. [S.l.]: Mestre da Energia Solar, 2021. Disponível em: <https://mestredaenergiasolar.com.br/quais-sao-os-tipos-de-paineis-fotovoltaicos-disponiveis-no-mercado/>. Acesso em: 27 abr. 2022.

NASSABAY, A. N. D. S. **Geração de Energia Fotovoltaica para Cargas Pontuais em Residências**. Orientador: Márcio Abud Marcelino. 2011. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, SP, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/120163>. acesso em: 25 abr. 2022.

PASSOS, D. D. *et al.* **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PLACAS FOTOVOLTAICAS (PROJETO SEGUE O SOL)**. 2017. 22 f. v. 1, TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Universitário Leonardo Da Vinci – UNIASSELVI, Revista Maiêutica, 2017. Disponível em: http://publicacao.uniasselvi.com.br/index.php/ENG_EaD/article/view/1738. acesso em: 29 mai. 2022.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2014. *E-book* (530p.) color. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.

SILVA, L. M. D. **Potencial de Utilização das Energias Eólica e Solar em Goiânia**. Orientador: Loyde Vieira de Abreu Harbich. 2016. 89 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2016. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/Estudo_de_Potencial_de_Instala%C3%A7%C3%A3o_de_Usinas_Fotovoltaicas_no_Estado_de_Goi%C3%A1s_Utilizando_SIG.pdf. acesso

em: 21 abr. 2022.

SUN -8K-G - Inversor String On Grid. **datasheet**: Manual do Usuário. S.l.: Deye. 2020. 41 p. Disponível em: <http://deyeinversores.com.br/website2019/wp-content/uploads/2019/12/Manual-do-Usu%C3%A1rio-SUN-3.6-8K-G-Ver1.4-Deye-Portugu%C3%AAs.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2022.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno (coord.). **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro, RJ: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2016. E-book (452p.) Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/livro-sobre-energia-renovavel-hidraulica-biomassa-eolica-solar-oceanica>. Acesso em: 23 abr. 2022.

TOLMASQUIM, MAURICIO T., GUERREIRO, AMILCAR E GORINI, RICARDOMATRIZ **energética brasileira: uma perspectiva. Novos estudos** CEBRAP [online]. 2007, n. 79 [Acessado 25 Maio 2022] , pp. 47-69. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>>. Epub 01 Jul 2008. ISSN 1980-5403. <https://doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>.

VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. **Influência da sujeira na Geração Fotovoltaica, Gramado**, abril 2018 Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/655>> Acesso em: 29 mar. 2022.

Ficha de Liberação do Orientador para Defesa

APROVAÇÃO PARA DEFESA - TCC

Belo Horizonte, 17/06/2022

À
responsável pelo componente curricular

Eu, Prof. Mestra Vanessa Cristina Lopes Santos orientador(a) dos alunos listados embaixo, aprovo a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Eficiência Energética em Painéis Fotovoltaicos

Membros do grupo

Nome do(a) aluno(a) 1: Ana Luiza da Silva Rosa

Nome do(a) aluno(a) 2: Cássio Nicolini da Silva Moura

Nome do(a) aluno(a) 3: Fábio Pires de Almeida

Nome do(a) aluno(a) 4: Lucas André de Souza Costa

IES e Unidade: UniBH - Buritis

Nome do(a) Orientador(a): Vanessa Cristina Lopes Santos

Assinatura do Orientador(a)

Data: 17/06/ 2022



Assinatura do(a) Professor TCC

