



10º Encontro de Ensino Pesquisa e Extensão

Patrocínio, MG, outubro de 2023

ESTUDO DOS EFEITOS DA SUJIDADE EM UMA MICRO USINA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA CIDADE DE GUAXUPÉ-MG

Matheus Pedro da Costa Silva; Osmando Pereira Junior
Instituto Federal do Triângulo Mineiro Campus Patrocínio
matheuspedro71@gmail.com; osmando@iftm.edu.br

Modalidade: Pesquisa

Formato: Artigo Completo

Resumo:

O efeito da sujidade sobre a geração de energia elétrica em uma unidade fotovoltaica de microgeração distribuída é um tema relevante no campo da energia renovável. Este estudo investiga como a acumulação de sujidade, como poeira e detritos, afeta o desempenho e a geração de energia elétrica de uma micro usina de energia solar fotovoltaica na cidade de Guaxupé, região sul do estado de Minas Gerais. A micro usina, objeto de estudo, dispõe de dois arranjos, cada um com a mesma quantidade de painéis solares e com a mesma potência instalada. Implementou-se uma estratégia de limpeza para cada arranjo com o objetivo de minimizar os efeitos depreciativos da sujidade. No período de seca, alcançou-se um aumento de 5,0 % na performance do sistema, enquanto que, no período de chuvas, o aumento foi de 3,7%. Ademais, utilizaram-se dois diferentes métodos de limpeza, sendo que o método 2 permitiu um desempenho do sistema 2,4% superior ao obtido com a aplicação do método 1. Por meio dos resultados alcançados, observou-se que o efeito da sujidade sobre o sistema de geração de energia elétrica está relacionado com a frequência e com o método de limpeza, assim como com a incidência de chuvas. Conclui-se que a sujidade deprecia a performance do sistema de geração de energia solar fotovoltaica em micro usinas de geração compartilhada e que a implementação de um método de limpeza contribui para o aumento do desempenho do sistema, principalmente no período de seca.

Palavras-chave: sujidade, desempenho, usina solar fotovoltaica.

Introdução

A geração de energia elétrica distribuída tem se mostrado uma alternativa viável para suprir a demanda energética em diferentes regiões. Essa forma de geração é

caracterizada pela produção descentralizada, em que pequenas unidades geradoras são instaladas próximas aos pontos de consumo; permite uma redução das perdas na transmissão e na distribuição da energia elétrica; e proporciona uma diversificação da matriz energética, contribuindo para a sustentabilidade e para a segurança do sistema elétrico. Além disso, a geração distribuída permite maior autonomia aos consumidores, que podem gerar sua própria energia elétrica (MORAES, MAGALHÃES, 2022).

Destacam-se como fontes renováveis e limpas de geração distribuída a pequena central hidrelétrica, a usina de biomassa, a usina eólica e a usina solar, sendo que essa última está em plena expansão no Brasil e no mundo, principalmente por ser de fácil instalação, de baixo custo e de fácil acesso para os consumidores finais (EPE,2023).

A produção de energia elétrica em sistemas solares fotovoltaicos de geração distribuída é impactada pela sujeira. A presença de sujeira nos painéis solares pode causar obstrução, reduzindo a quantidade de luz solar captada e convertida em eletricidade, comprometendo o desempenho do sistema fotovoltaico (CHAGAS, BOAVENTURA, 2021). A sujeira também influencia na determinação do intervalo de tempo entre os ciclos de limpeza dos equipamentos, o que representa custos adicionais de manutenção dos sistemas fotovoltaicos (OLIVEIRA, 2018).

São muitos os fatores que contribuem para a sujeira nos sistemas solares fotovoltaicos de geração distribuída, os quais variam com a localização geográfica e com as condições ambientais de cada região. A poluição atmosférica é um dos principais fatores, pois partículas presentes no ar podem se depositar nos equipamentos ao longo do tempo. Além disso, poeira, folhas e outros detritos também podem se acumular nos painéis solares, especialmente em regiões com maior incidência desses elementos (CAMPOS, 2020).

Diversos estudos, como em MORAES et al. (2022), Tonolo et al.(2018), Barbosa, Faria e Gontijo (2018), Soares Júnior, Cruz e Amaral (2018) e Fraga et al.(2018), têm abordado o tema do efeito da sujeira na produção de energia em sistemas de microgeração solar fotovoltaica . Esses estudos têm contribuído para o avanço do conhecimento nessa área, identificando os principais fatores que contribuem para a sujeira e suas consequências no desempenho dos sistemas. No entanto, ainda existem lacunas na literatura científica, especialmente no que diz respeito às medidas de mitigação para minimizar os efeitos negativos da sujeira. Sendo assim, faz-se

necessário realizar pesquisas adicionais para subsidiar o desenvolvimento de estratégias eficazes de limpeza e de manutenção dos equipamentos (LOPES, 2022).

Objetivos

O objetivo deste trabalho é estudar os efeitos da sujeira sobre o desempenho de uma micro usina de geração solar fotovoltaica na cidade de Guaxupé, Minas Gerais, e minimizar os impactos da sujeira a partir da implementação de diferentes métodos de limpeza dos painéis solares. Ademais, pretende-se determinar se o desempenho do sistema solar fotovoltaico varia com a mudança do método de limpeza implementado.

Referencial Teórico

Para avaliar o impacto da sujeira na geração de energia elétrica em sistemas de microgeração distribuída, são utilizados diferentes métodos. Um dos métodos mais comuns refere-se a medir o desempenho do sistema solar fotovoltaico com os módulos sujos e contrastar com o desempenho do mesmo após efetuar a limpeza dos módulos. Essas medições permitem quantificar a perda de desempenho causada pela sujeira. Além disso, análises do acúmulo de sujeira ao longo do tempo também são realizadas para entender como os equipamentos são afetados pela sujeira ao longo do tempo. Simulações computacionais também são utilizadas para prever o impacto da sujeira na geração de energia elétrica (ROMANHOLO, 2019).

Braga e et al. (2018) afirmaram que o desempenho do sistema solar fotovoltaico aumenta com a intensidade luminosa e que, para aproveitar ao máximo a intensidade luminosa, é necessário que os painéis solares acompanhem o movimento do sol ou então que sejam posicionados adequadamente. Devido ao alto custo dos equipamentos de rastreamento solar, os painéis são geralmente instalados em uma posição fixa.

Hickel et al. (2016) afirmaram que, para sistemas de painéis fixos, é necessário determinar a melhor inclinação dos painéis, levando em consideração a latitude do local, assim como as características climáticas, a fim de se obter um melhor desempenho e de se evitar o acúmulo excessivo de sujeira. Discorreram ainda sobre a formação de sombras sobre as células fotovoltaicas em decorrência do acúmulo de sujeira, o que reduz o rendimento do sistema como um todo e resulta no aquecimento do módulo. A limpeza regular dos painéis é apresentada como uma solução para mitigar

as perdas causadas pela sujidade, evitando também o sombreamento indesejado das células fotovoltaicas.

Tonolo e Mariano (2018) estudaram o impacto da sujidade em duas usinas fotovoltaicas *on-grid* na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em Curitiba, Paraná. A primeira planta estava localizada na sede central da universidade e era composta por 10 módulos p-Si com potência nominal de 2,1 kWp. A segunda usina estava localizada na área de Neville, distante do centro da cidade, e consistia em 34 módulos p-Si com potência nominal de 10,2 kWp. O estudo comparou o desempenho das plantas antes e depois da limpeza com base na irradiação solar, na geração de energia elétrica, no rendimento e na taxa de desempenho (PR). Os resultados mostraram que os módulos, quando limpos, geraram mais energia elétrica, tiveram melhor rendimento e melhor taxa de desempenho que quando sujos, embora a irradiação solar tenha sido maior no dia anterior à limpeza. Dentre as métricas utilizadas, a taxa de desempenho, PR, mostrou ser mais adequada para avaliar o impacto da sujidade sobre o desempenho do sistema, uma vez que é mais robusta à variação da irradiação solar.

Candine et al. (2018) realizaram uma análise do impacto da sujidade em dois sistemas fotovoltaicos *on-grid*, de 21,6 kWp cada, no Instituto Federal de Goiás - Campus Itumbiara. Para identificar as perdas causadas pela sujidade, apenas um dos sistemas era higienizado, sendo a limpeza realizada periodicamente. As métricas utilizadas foram taxa de desempenho, PR, e ganho de geração. Os resultados apresentados mostraram que, no período chuvoso, a produtividade do sistema aumentou 2 %, enquanto que, no período de seca, o ganho no desempenho foi de 6 %. Concluíram que as chuvas limpam naturalmente os painéis e que a limpeza programada dos painéis é necessária e mais eficiente no período de seca.

Barbosa, Faria e Gontijo (2018) realizaram um estudo sobre a diferença de geração de energia elétrica entre módulos fotovoltaicos limpos e módulos fotovoltaicos sujos, de uma usina solar fotovoltaica *on-grid* no Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), em Patos de Minas, Minas Gerais. A usina fotovoltaica era composta por 240 módulos p-Si, divididos em três arranjos de 80 módulos cada, com capacidade total instalada de 12 kWp. No experimento, um dos arranjos era higienizado regularmente a cada 7 dias, enquanto que os outros dois foram mantidos sujos. O estudo mostrou que o arranjo limpo apresentou um acréscimo de 10,26% na geração de energia elétrica quando comparado aos arranjos sujos. A pesquisa destacou a importância da limpeza dos módulos na otimização da geração de energia elétrica.

Com base nos trabalhos da literatura, definiu-se uma metodologia para estudar os efeitos da sujidade em uma micro usina de energia solar fotovoltaica na cidade de Guaxupé, Minas Gerais.

Metodologia

O estudo dos efeitos da sujidade foi realizado em uma micro usina solar fotovoltaica *on-grid*, instalada no solo, no centro da cidade de Guaxupé, local em que há um tráfego intenso de veículos. A micro usina possui dois inversores *String* da marca Fronius, modelo ECO 25.0-3-S, de 25 kW de potência. Cada inversor está conectado a um arranjo com 76 painéis solares de 335 Wp cada, totalizando 25,46 kWp por arranjo. Os painéis solares são fixos, com 20° de inclinação e com azimute 0°.

Apresenta-se, na Figura 1, uma foto da micro usina solar, objeto deste estudo, e da vizinhança. Nota-se que ela está instalada em uma região bem urbanizada e que ela está livre de áreas de sombreamento, as árvores e as construções próximas não têm altura suficiente para fazer sombra nos painéis solares.

Figura 1: Micro usina solar fotovoltaica e vizinhança.



Fonte: Autor.

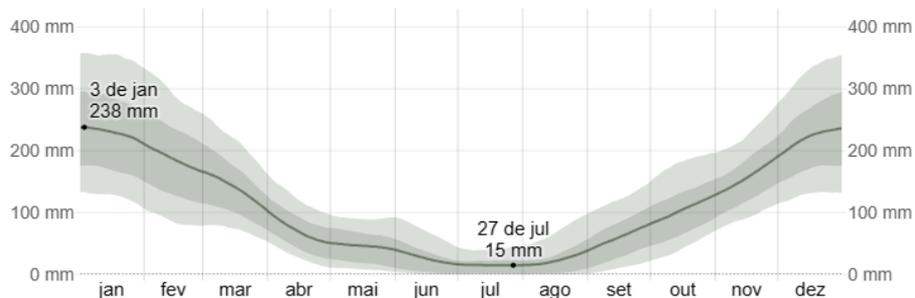
A escolha da usina foi estratégico para o estudo: por ser instalada no solo, facilita o processo de limpeza; por estar localizada em uma região central, de intenso tráfego de veículos, está sujeita a ar poluído com fuligens e outras partículas em suspensão; e por ter dois inversores e dois arranjos de painéis idênticos, é possível comparar com clareza a diferença de desempenho entre os dois sistemas.

Um dos sistemas, composto por um inversor e por um arranjo de 76 painéis solares, foi utilizado como referência e denominado Sistema 1. O segundo sistema, também composto por um inversor e por um arranjo de 76 painéis solares, foi objeto de limpeza periódica e denominado Sistema 2.

O estudo foi feito analisando-se os dados dos sistemas em um período de doze meses, de setembro de 2022 a agosto de 2023. A coleta de geração de energia foi extraída do programa de monitoramento da Fronius (fronius.web). Os dados de irradiação e da precipitação foram retirados no portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em que a irradiação é dada em kJ/m^2 e a precipitação, em mm. Para aplicação dos dados de irradiação global no plano horizontal, converteu-se a irradiação de kJ/m^2 para kWh/m^2 ; e, como os módulos estão instalados a 20° de inclinação com azimute 0° , fez-se necessário converter os dados de irradiação para considerar a inclinação dos módulos utilizado o software RADIASOL2®, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

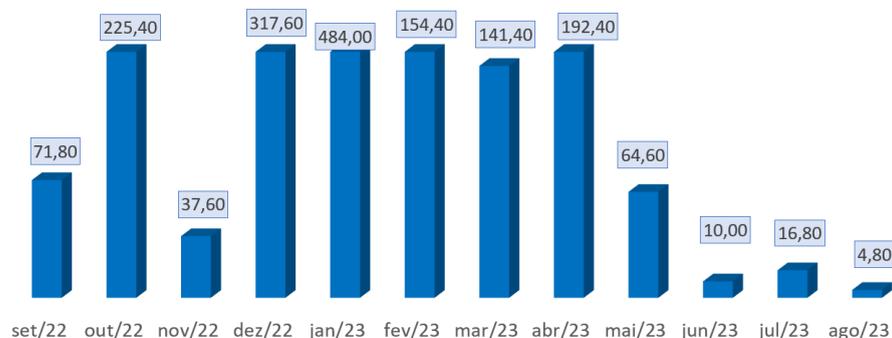
Apresenta-se, na Figura 02, o índice pluviométrico médio da cidade de Guaxupé, de 1980 a 2016. Em Guaxupé, há dois períodos de precipitação, o período seco, que dura 6,4 meses, de 03 de abril a 16 de outubro, e o período de chuva, que dura 5,6 meses, de 16 de outubro até 03 de abril (SPARK, 2023). Apresenta-se, na Figura 03, os dados de precipitação na cidade de Guaxupé, específicos do período de estudo.

Figura 2: Índice pluviométrico médio, em mm, da cidade de Guaxupé.



Fonte: SPARK.

Figura 3: Índice pluviométrico, em mm, de setembro de 2022 a agosto de 2023.

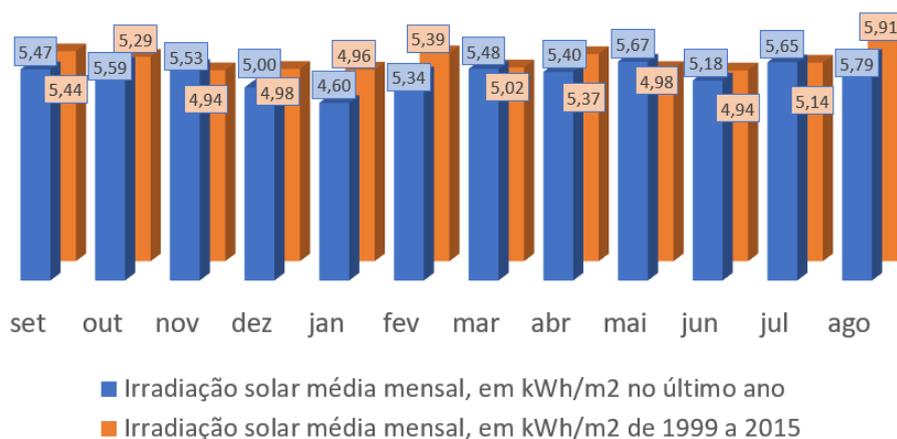


Fonte: INMET.

Apresenta-se, na Figura 4, a irradiação solar média, na cidade de Guaxupé, de 1999 a 2015 e no período de estudo.

De acordo com os resultados apresentados na literatura, a limpeza periódica dos módulos foi realizada somente no período de seca. Apresenta-se, na Tabela 1, o cronograma de limpeza dos sistemas. Ambos os sistemas foram limpos no dia 01 de abril. A partir desta data, o sistema 01 permaneceu sem ser limpo. O sistema 02 passou por quatro outras limpezas, realizadas nos dias 29 de abril, 27 de maio, 24 de junho e 01 de agosto.

Figura 4: Irradiação solar média de 1999 a 2015 e no período de estudo.



Fonte; INMET,INPE.

Tabela 1: Cronograma de limpeza dos painéis solares.

| | SISTEMA 1 | SISTEMA 2 |
|----------------------------|-----------|-----------|
| QUANTIDADE DE MÓDULOS | 76 | 76 |
| LIMPEZA ABRIL -01/04/2023 | OK | OK |
| LIMPEZA MAIO -29/04/2023 | | OK |
| LIMPEZA JUNHO -27/05/2023 | | OK |
| LIMPEZA JULHO -24/06/2023 | | OK |
| LIMPEZA AGOSTO -01/08/2023 | | OK |

Fonte: Autor.

Nas quatro primeiras limpezas, foi utilizado o método de limpeza 1, que consiste em molhar os módulos, aplicar pequenas quantidades de detergente neutro e esfregar com uma vassoura de cerdas macias para retirar a sujeira acumulada e enxaguar com água em abundância para retirar a espuma com a sujeira. Na quinta limpeza, utilizou-se o método de limpeza 2, em que substituiu-se o detergente neutro pelo limpador multitensoativo biodegradável, o qual foi pulverizado de maneira uniforme e

espalhado com fibra branca com o auxílio de um suporte articulado e um cabo extensor, em seguida, secaram-se os módulos com um pano de microfibras limpo.

Como métrica de desempenho, utilizou-se a geração de energia elétrica e a taxa de desempenho, PR. A determinação da taxa de desempenho se dá pela Equação 2,

$$Yf_i = \frac{\text{ENERGIA PRODUZIDA NO 1-ÉSIMO DIA}}{\text{POTÊNCIA TOTAL DO SISTEMA}} \quad (1)$$

$$PR = \frac{1}{n} \left(\frac{\sum_{i=1}^n Yf_i}{\frac{Hf}{G_{ref}}} \right) \quad (2)$$

em que Yf_i é a produtividade diária, medido em kWh / kWp; Hf é a irradiação plano inclinado dos módulos fotovoltaicos, em kW/m²; e G_{REF} é a irradiação nas condições padrão, igual a 1 kWh/m².

Resultados

Apresenta-se, na Figura 05, uma imagem dos painéis solares antes da 1ª limpeza, à esquerda, e uma imagem após a limpeza, à direita. Além de poeira e de vegetação fazendo sombra nos painéis, foram encontrados excrementos de pássaros na superfície dos módulos.

Figura 5: Antes e depois da limpeza programada dia 01/04/2023.

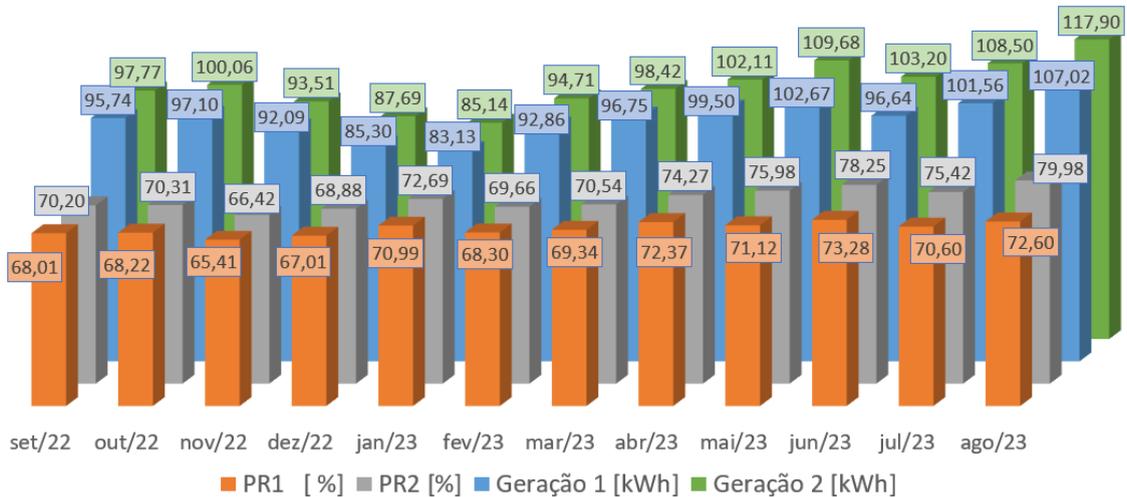


Fonte: Autor.

Apresenta-se, na Figura 6, os resultados coletados de geração de energia elétrica pelos dois sistemas e de taxa de desempenho. Antes da realização da primeira limpeza no sistema não houve mudanças significativas em relação a performance do sistema ou geração elétrica. A primeira limpeza ocorreu no dia 01/04/2023 e nessa foram limpos todos os módulos dos sistemas 1 e 2 utilizando o método de limpeza 1, mesmo essa sendo realizada em um período chuvoso foram encontrados nas superfícies dos módulos muita poeira, fuligem e excrementos de pássaros. A segunda limpeza foi realizada depois de quatro semanas da primeira no dia 29/04/2023, dessa vez apenas o sistema 2 foi limpo com o método de limpeza 1, esse método foi aplicado também para

as limpezas do dia 27/05/2023 e 24/06/2023 que foram realizadas apenas no sistema 2 e o intervalo entre elas foi de quatro semanas. A quinta e última limpeza realizada no dia 01/08/23 ocorreu 6 semanas após a 4 limpeza e foi realizada apenas no sistema 2, nessa foi utilizado o método de limpeza 2.

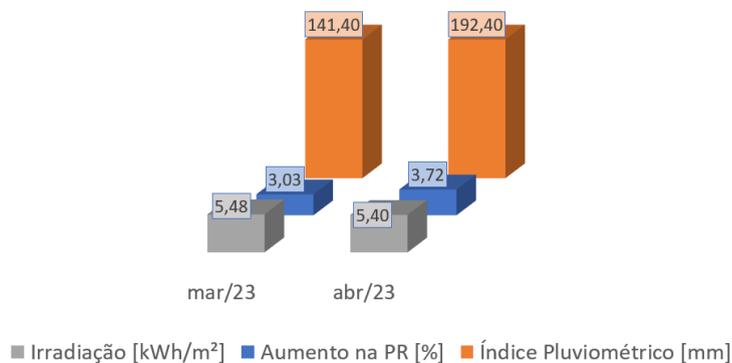
Figura 6: Geração e desempenho do sistema de setembro de 2022 a agosto de 2023.



Fonte: Autor..

O desempenho dos sistemas no mês de abril, no período chuvoso, quando comparado com o mês de março anterior a limpeza 1 teve um aumento de 3,03% no sistema 1 e 3,72% no sistema 2 como é apresentado na figura 7. A média de precipitação durante o mês de março e abril foram de 141,40 mm e 192,40 mm respectivamente, marcando o fim do período chuvoso. A irradiação no mesmo período se manteve sem grandes mudanças, sofrendo uma leve queda de 5,48 kWh/m² para 5,4 kWh/m².

Figura 7: Aumento no desempenho entre os meses de março e abril de 2023.

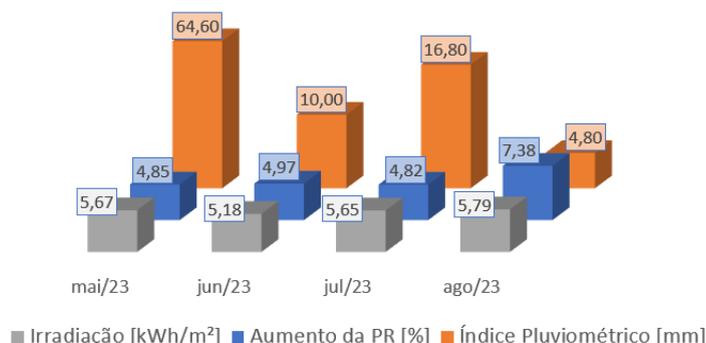


Fonte: Autor.

Comparando o período seco nos meses de maio, junho e julho, onde apenas o sistema 2 foi limpo a diferença entre os sistemas 1 e 2 varia de 4,82% a 4,97% como

mostra a figura 8. Nesses meses as precipitações foram de 64,6 mm, 10 mm e 16,8 mm respectivamente, junto com o mês de agosto que choveu apenas 4,8 mm, são os meses com menores índice pluviométrico no período da pesquisa. A irradiação neste período se manteve estável variando de 5,18 kWh/m² a 5,67 kWh/m².

Figura 8: Aumento no desempenho com a limpeza realizada de maio a agosto de 2023.



Fonte: Autor.

Na quinta limpeza que aconteceu no dia 01/08/2023, foi realizada utilizando o método de limpeza 2 substituindo o detergente neutro pelo limpador multitensoativo biodegradável. É mostrado na figura 8 que esse método apresentou uma melhora de 7,38 % na PR comparando o sistema 2 onde foi realizada a limpeza com o sistema 1 que se manteve sem alteração. O sistema 2 demonstrou nesse mês sua melhor performance no período dos 12 meses, chegando a 79,98 %. A irradiância nesse mês também chegou ao seu maior índice registrado até ali, alcançando 5,79 kWh/m², estando próxima da média de irradiação meses anteriores do período seco que é 5,54 kWh/m².

Conclusão

Os efeitos causados pela sujidade em uma unidade de microgeração distribuída têm grande importância no meio profissional e acadêmico que estão ligados à área. Além de causar significativa perda de performance do sistema, conseqüentemente por esse motivo essa diminui o potencial de produção de energia. Neste artigo foi demonstrado que com o método de limpeza 1, no período sem chuvas a performance pode chegar a um aumento de 4,97% em relação a um sistema que não recebeu limpeza já no período chuvoso a melhoria na PR foi menos significativa, chegando a 3,03% no sistema 1 e 3,72% no sistema 2. Foi demonstrado que com o método de limpeza 2 é possível obter um ganho na performance de 2,41 % a mais em comparação com o método de limpeza 1 no período seco. Se fez necessário assim um estudo voltado a uma visão mais econômica de forma a identificar se de cada método

utilizado vale mais apenas de ser empregado em comparação com o ganho de produção de energia que esse vai adquirir.

Referências

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Micro e Minigeração Distribuída. Disponível em: < <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida> >. Acesso em: 28 jun. 2023.

BARBOSA, E. R.; FARIA, M. S. F.; GONTIJO, F. B. **Influência da sujeira na geração fotovoltaica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7. 2018, Gramado. Anais [...].

BRAGA, Marília et al. **Avaliação de desempenho de diferentes tecnologias fotovoltaicas em Irecê, BA**. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR 2018, Gramado. Anais [...].

BUGS, R. C. **Radiasol 2 - Software para geração de dados horários de radiação solar**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: < <https://www.ufrgs.br/labsol/download/> >. Acesso em: 28 Jun. 2023.

CAMPOS, M. A. N. **Estudo técnico e econômico sobre a influência de transformador acoplado a micro geração distribuída fotovoltaica**. 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/34905>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

CANDINE, Marcos Vinicius da Silva et al. **Análise de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos, Considerando a Influência da Sujeira na Região Sul de Goiás: Estudo de Caso no Instituto Federal de Goiás- Campus Itumbiara**. In: XVI CONFERÊNCIA DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA ELÉTRICA, 7. 2018, Uberlândia. Anais [...].

CHAGAS, J. M. N.; BOAVENTURA, M. A. **Desenvolvimento de um sistema de microgeração distribuída fotovoltaica para complemento de demanda energética de um condomínio em Foz do Iguaçu/PR**. 2021. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/26191>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

COSTA, S. C. S.; DINIZ, A. S. A. C.; KAZMERSKI, L. L. **Solar energy dust and soiling R&D progress: Literature review update for 2016**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [s. l.], v. 82, n. abril, p. 2504–2536, 2018.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Fontes de Energia**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia#FONTES-RENOVAVEIS>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

FRAGA, M. M. et al. **Analysis of the soiling effect on the performance of photovoltaic modules on a soccer stadium in Minas Gerais, Brazil**. Solar Energy, [s. l.], v. 163, n. October 2017, p. 387-397, 2018.

HICKEL, B. M. et al. **Análise da influência do acúmulo de sujeira sobre diferentes tecnologias de módulos FV: revisão e medições de campo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7. 2016, Belo Horizonte. Anais [...].

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Dado de Irradiação para o Estado de Minas Gerais** . Disponível em: < <https://www.gov.br/inpe/pt-br> >. Acesso em: 28 jun. 2023.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos** . Disponível em: < <https://bdmep.inmet.gov.br/> >. Acesso em: 28 jun. 2023.

LOPES, Isabele Queiroz de Oliveira. **Estudo de um sistema de geração distribuída a partir de uma usina fotovoltaica de 2.408 kWp conectado a um sistema elétrico de média tensão.** 2022. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Disponível em: <<http://icts.unb.br/jspui/handle/10482/46084>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

MORAES, Jeovanna C. S.; MAGALHÃES, Isabela L; PIMENTEL, Sérgio P.; MARRA, Enes G. **Análise comparativa dos efeitos da sujidade e do sombreamento em sistemas fotovoltaicos instalados em telhado.** In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, IX, 2022, Florianópolis. **Anais...** Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1110>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

OLIVEIRA, L. F. M. **Ampliação da unidade fotovoltaica do parque ambiental Encantos do Sul. Engenharia Elétrica-Tubarão,** 2018. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4192/1/TCC%20-%20Amplia%C3%A7%C3%A3o%20da%20Unidade%20Fotovoltaica%20do%20PAES%20-%20V2_6.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2023.

ROMANHOLO, P. V. V. et al. **Sujidade depositada sobre módulos fotovoltaicos instalados em Goiânia: morfologia e composição química.** In: Congresso Brasileiro de Energia Solar, 7. 2018, Gramado. Anais [...].

SOARES JÚNIOR, J. G.; CRUZ, S. R.; AMARAL, L. S. **Impacto da sujidade sobre o desempenho de sistemas fotovoltaicos.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7. 2018, Gramado. Anais [...].

SPARK, WEATHER. **Clima e condições meteorológicas médias em Guaxupé no ano todo.** Disponível em:< <https://pt.weatherspark.com/y/30342/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Guaxup%C3%A9-Brasil-durante-o-ano#Sections-Precipitation> >. Acesso em: 28 jun. 2023.

TONOLO, Édwin Augusto et al. **Análise do efeito do acúmulo de sujeira nos sistemas fotovoltaicos da UTFPR – CAMPUS CURITIBA.** 2018. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7. 2018, Gramado. Anais [...].