

INFLUÊNCIA DE MATERIAL PARTICULADO NA INTENSIDADE DA IRRADIÂNCIA GLOBAL HORIZONTAL NA CIDADE DE ILHA SOLTEIRA – SP

João Vitor de Oliveira – jotocampo557@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas

Samira de Azevedo Santos Emiliavaca

Alan Rodrigues de Sousa

Bruno do Nascimento e Silva

André Luiz de Oliveira Lira

Instituto SENAI de Inovação em Energias Renováveis

Lorena Santos da Silva

Vitória Régia Silva de Souza

Cláudio Moisés Santos e Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas

Resumo. A energia solar fotovoltaica está em constante expansão no Brasil e no mundo, impulsionada por avanços tecnológicos, redução de custos e preocupações ambientais. À medida que a demanda por energia cresce, maximizar a captura do potencial energético da radiação solar torna-se crucial. Porém, mesmo em dias em que a incidência solar deveria ser plena, os módulos fotovoltaicos não recebem toda a irradiância esperada, resultando na subutilização de sua capacidade. Este estudo tem como objetivo investigar se a presença de materiais particulados (MP) na atmosfera, como Partículas Totais em Suspensão (PTS) e partículas com diâmetro inferior a 10 micrômetros (MP10), exerce influência na intensidade da radiação solar que atinge os módulos fotovoltaicos no município de Ilha Solteira, localizado no interior de São Paulo. Os dados diários de radiação solar foram minuciosamente coletados por meio de um piranômetro classe A, superando o padrão estabelecido pela Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE) e outro piranômetro classe B, conforme estabelece a EPE. Paralelamente, foram adquiridos dados relativos à concentração de materiais particulados, incluindo Partículas Totais em Suspensão e partículas com diâmetro inferior a 10 micrômetros, por meio de Amostradores de Grandes Volumes (AGVs) especificamente projetados para essa finalidade. O período de coleta de dados abrangeu um ano, compreendendo de 01 de setembro de 2021 a 31 de agosto de 2022. Durante esse extenso período, uma série de medições detalhadas apontou para uma influência significativa desses materiais na intensidade da irradiância solar no município de Ilha Solteira.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Material Particulado, Irradiância.

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera terrestre atua como uma salvaguarda contra os raios ultravioleta prejudiciais à vida e estabiliza as variações extremas de temperatura entre o dia e a noite. Segundo Lutgens *et al.* (1995), essa barreira é composta por uma variedade de gases, incluindo oxigênio, nitrogênio, dióxido de carbono e outros gases em proporções menores. Embora esses gases sejam frequentemente associados a questões de poluição e problemas respiratórios, eles também desempenham um papel na modulação da incidência de radiação solar em áreas específicas, o que, por sua vez, pode afetar sutilmente as medições da irradiância solar incidente (Ye *et al.* 2021).

Devido ao aumento da demanda por energia elétrica, a utilização de fontes de energia renovável, como a energia solar fotovoltaica, tem sido constantemente ampliada e otimizada. No entanto, o custo associado a essas fontes é significativo, tornando fundamental o cálculo das taxas de energia esperada e energia efetivamente medida. Isso é essencial para determinar o potencial energético do sistema e calcular o tempo necessário para recuperar o investimento inicial. No setor da medição do recurso solar, inúmeros fatores, como a presença de nuvens e, especialmente em áreas urbanas, poluição, podem causar reduções na produção de energia (Alvarenga *et al.* 2020). Um estudo recente realizado por Quelopana e Delgado (2022) evidenciou que a presença de material particulado teve um impacto negativo no desempenho de módulos fotovoltaicos próximos a operações de mineração.

É imprescindível ter uma compreensão sólida de como a radiação solar interage com a atmosfera da Terra, passando por processos de absorção e espalhamento, que naturalmente resultam em uma redução na irradiância solar que chega na superfície (Gómez *et al.* 2018). Esse fenômeno de espalhamento envolve tanto a difusão quanto a reflexão da radiação, com os aerossóis desempenhando um papel fundamental nesse contexto, dado que essas partículas têm a capacidade de afetar o equilíbrio da radiação. Quando o tamanho de algumas partículas se encontra na mesma ordem de grandeza do

comprimento de onda da luz visível, elas operam como dispersores altamente eficazes da radiação solar, e a extensão desses efeitos varia consideravelmente de acordo com suas propriedades (Castro, 2015).

A literatura recente abordou de forma limitada os efeitos dos materiais particulados em relação à intensidade da irradiância. Embora haja alguns estudos, como o de Moses *et al.* (2023), que mencionam a presença desses materiais particulados, poucos deles se aprofundam na relação com a irradiância.

Assim o objetivo deste estudo é investigar a partir da medição de materiais particulados medidos na cidade de Ilha Solteira-SP, se esses totais presentes na atmosfera desempenham um fator atenuante na intensidade da irradiância global horizontal comparando a quantidade de irradiância solar medida em dias de céu claro e avaliar se a atenuação causada pela presença do material particulado representa um fator significativo a ser levado em consideração ao analisar a produção de energia solar por meio de módulos fotovoltaicos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo é o município de Ilha Solteira/SP, onde foi instalada uma estação solarimétrica pertencente ao ISI-ER para monitoramento do potencial do recurso solar e do material particulado na região na Universidade Estadual Paulista - UNESP. As coordenadas de latitude e longitude da estação do ISI-ER são: 20°23'53.83"S e 51°21'22.16"O. Dados de precipitação e irradiância global horizontal de uma estação agrometeorológica instalada na UNESP também foram utilizados. A estação agrometeorológica da UNESP tem as seguintes coordenadas geográficas: 20 25' 24.4" S e 51 21' 13.1" O. Na Fig. 1, são apresentados um mapa de localização do município de estudo e uma imagem que mostra o local onde os equipamentos foram instalados, respectivamente.

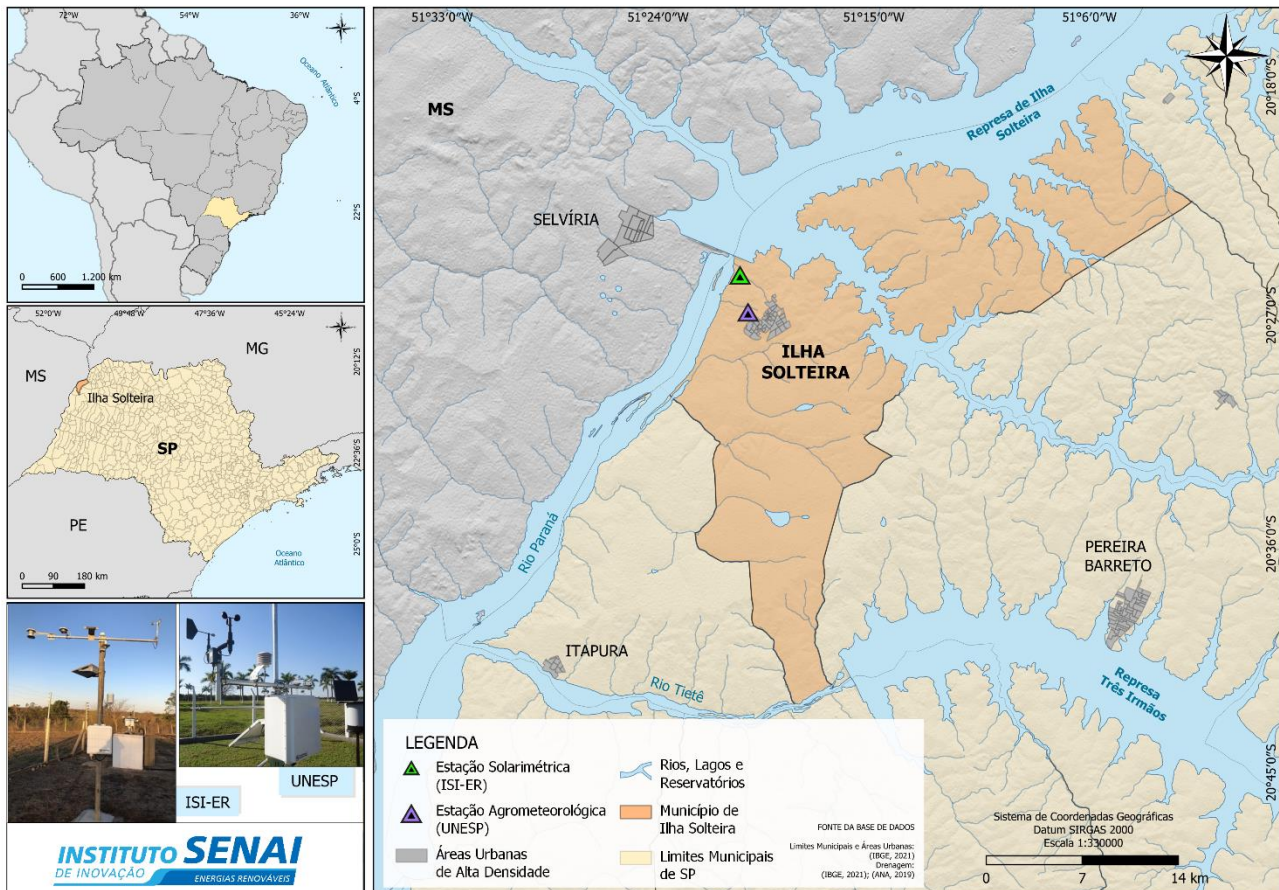


Figura 1 - Mapa de Localização do município de estudo contendo o ponto de localização da estação solarimétrica e de medição de particulado do ISI-ER e da estação agrometeorológica, instaladas na Unesp em Ilha Solteira/SP.

2.2 Dados

Foram utilizados para análise, dados de Material Particulado (MP) na atmosfera em $\mu\text{m}/\text{m}^3$, sendo estes Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Material Particulado com um diâmetro inferior a 10 micrômetros (MP10), ambas as medições são bastante relevantes para constatar a qualidade do ar. Os dados de PTS e MP10 foram coletados

respectivamente a partir Analisadores de Grandes Volumes (AGVs) RVEQ-143 e MP10-2018-C10.0051 instalados no local de medição. O RVEQ-143 coleta certo volume de ar ambiente que passa através de um filtro, instalado dentro de uma casinhola de abrigo, durante um período de 24 horas. A vazão do equipamento e a geometria da entrada da casinhola favorecem a coleta de partículas de diâmetro aerodinâmico de até 25-50 μm . Enquanto que o MP10-2018-C10.0051, modelo de AGV MP10 (equipamento e cabeça), coleta uma certa quantidade de ar ambiente através de um filtro que é aspirado pelo moto-aspirador para o amostrador por uma entrada na cabeça, onde ocorre a separação por impactação. A cabeça é dotada de um conjunto de boqueiras que aceleram o ar de coleta para dentro de uma câmara de impactação, onde partículas maiores que 10 μm ficam retidas numa camada de silicone. A fração de ar com partículas menores que 10 μm (MP₁₀) é carregada para fora da câmara e dirigida para um filtro de coleta de fibra de vidro, onde ficam retidas as partículas.

Além dos dados de material particulado, foram utilizados dados de Irradiação Global horizontal (Ig1) em $\text{kW}/\text{m}^2/\text{dia}$ medidos por um piranômetro CMP 11 - Kipp & Zonen, classificado pela norma ISO 9060:2018 como Classe A. Durante a campanha e medição o piranômetro esteve devidamente alinhado e calibrado. A medição dos dados foi realizada a cada segundo e registrada num *datalogger* CR1000X a cada 1 minuto, os valores médios, máximos, mínimos e desvio padrão. O piranômetro foi instalado na estação solarimétrica pertencente ao ISI-ER no campus da UNESP em Ilha Solteira. Dados de Irradiação Global Horizontal (Ig2) em kWh/m^2 coletados na estação agrometeorológica da UNESP em Ilha Solteira por um piranômetro Licor LI200X-L18 também foram utilizados. Na Fig. 2, é apresentada a estação solarimétrica pertencente ao ISI-ER, os amostradores de grandes volumes e a estação agrometeorológica instalados no local de medição.

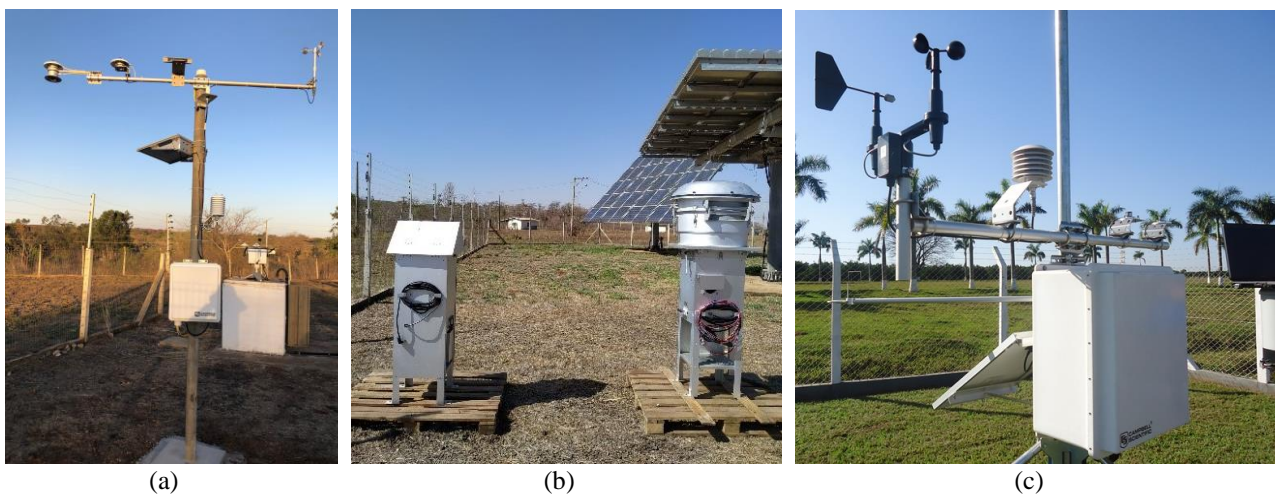


Figura 2 – (a) Estação solarimétrica instalada em Ilha Solteira/SP, (b) amostradores de grandes volumes usados sendo o AGV (PTS) à esquerda e o AGV (MP10) à direita e (c) estação agrometeorológica da UNESP Ilha Solteira/SP.

Para complementar as análises também foram utilizados dados de Irradiação Global Horizontal de céu claro (Igcc) do *Copernicus Atmosphere Monitoring Service* (CAMS).

O período de dados analisados foi de 01/09/2021 até 31/08/2022, totalizando um período de um ano de dados. Foram escolhidos para análise apenas os dias de medição classificados como dias de céu claro, ou céu aberto, segundo o definido por Suehrcker e McCormic (1989). A ideia nesse caso, consistiu de eliminar a possibilidade de atenuação da radiação solar pela presença de nuvens e investigar apenas a possibilidade de atenuação pela presença de material particulado na atmosfera.

Para quantificar, comparar e analisar os dados foram desenvolvidos algoritmos numéricos desenvolvidos em linguagem de programação *Python* e gráficos em planilhas eletrônicas do *software* Excel.

2.3 Climatologia

Para a análise da climatologia da área de estudo foram utilizados dados da estação agrometeorológica da UNESP do período de agosto de 1991 a novembro de 2023. O clima de Ilha Solteira é classificado como Aw (A – clima quente e úmido; w – chuvas de verão) pelos critérios de KÖPPEN, classificado como tropical chuvoso de bosque, o sendo marcado por chuvas de verão e estiagem no inverno. A temperatura média anual é de 25,3 °C, com média das máximas anuais atingindo 32,4 °C e a média das mínimas anuais de 19,8 °C, e o índice Pluviométrico, 1.275 mm anuais. Na Fig. 4 é possível observar a climatologia da temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação para a cidade de Ilha Solteira.

Na Fig. 3 (a), apresenta-se o gráfico climatológico da precipitação em Ilha Solteira. A mediana da chuva atingiu 219,6 mm em janeiro, mas diminuiu progressivamente ao longo dos meses, chegando a 3,8 mm em julho, e então aumentando em agosto para 14,5 mm, e aumentando com o passar dos meses. Um padrão semelhante é evidenciado na Fig. 3 (b) e (c), que representam, respectivamente, a temperatura e a umidade relativa do ar. A temperatura média de

janeiro foi de 26,55 °C, diminuindo ao longo do ano e atingindo o mínimo em julho (21,95 °C). Além disso, os meses com maior umidade apresentam semelhanças com os padrões de chuva e temperatura. Na Fig. 3 (d), os meses com maiores velocidades do vento correlacionam-se com a época mais chuvosa e quente da cidade, delineando um padrão distintivo definindo-se como o período chuvoso (outubro a março) e o período seco (abril a setembro) do município. A presença de poucos *outliers* sugerem uma distribuição geralmente simétrica nos dados, sendo a umidade a variável que se destaca pela maior variabilidade.

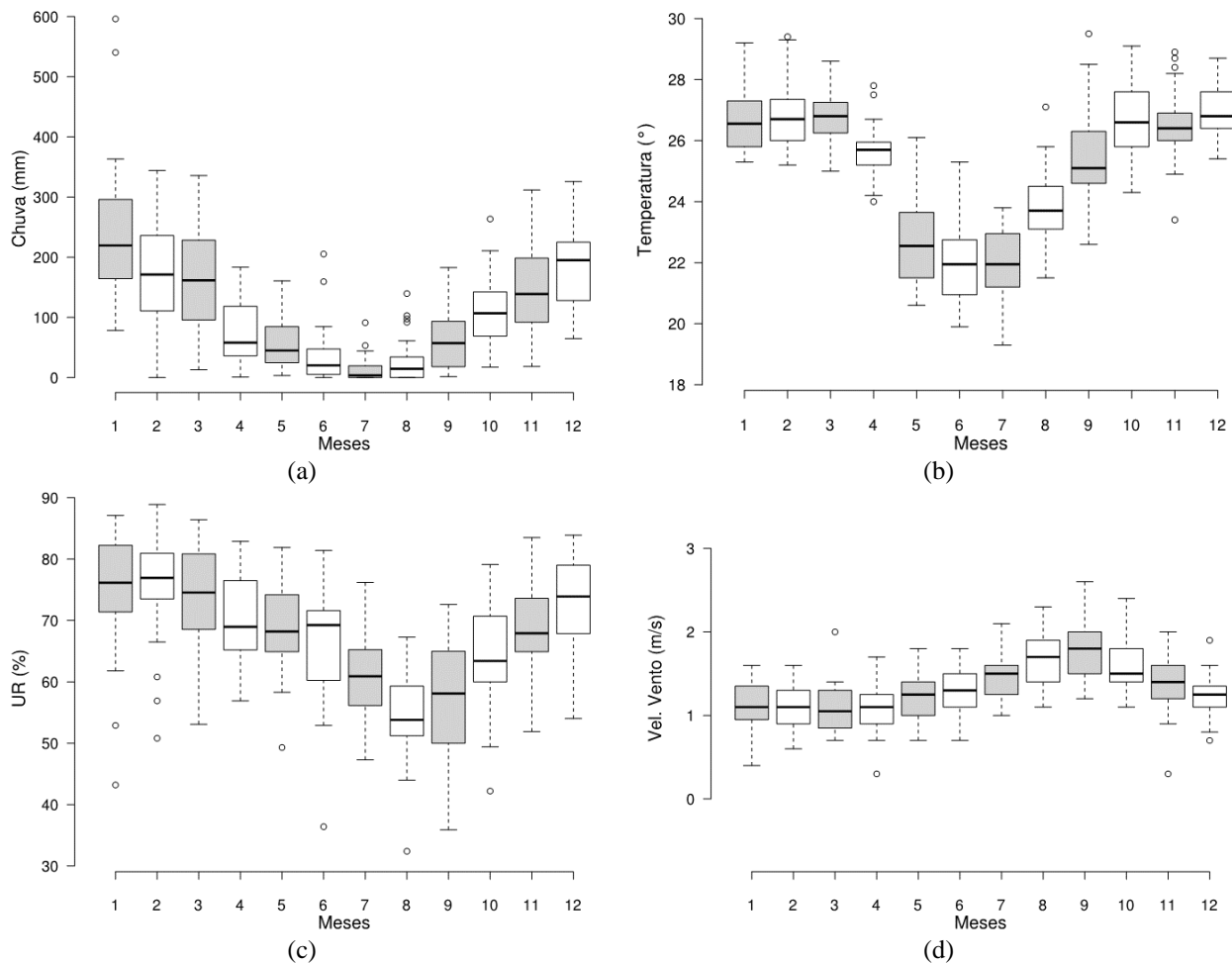


Figura 3 – Séries climatológicas de (a) precipitação, (b) temperatura do ar, (c) umidade relativa do ar e (d) velocidade do vento referente ao período de 1991 a 2023 coletadas pela estação agrometeorológica da UNESP Ilha Solteira/SP.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao analisarmos o perfil da irradiação global horizontal medida pelos piranômetros CMP11 e LI200 (I_g CMP11 e I_g LI200) verificamos uma discrepância em relação à intensidade do potencial do recurso solar (Fig. 4). Verifica-se que o padrão de variabilidade registrado entre os dois tipos de piranômetros são bem correlacionados, contudo a diferença na intensidade das medições é bastante elevada. No mês de setembro de 2021 verifica-se uma diferença de 18,1%, todavia esse valor chega aos 31,7% no mês de junho de 2022. Em relação ao perfil de irradiação global horizontal de céu claro (I_{gcc}) verifica-se que em relação ao piranômetros CMP11, a diferença entre as medições varia entre 8,5% no mês de julho de 2022 a 27,3% em outubro de 2021. Ao analisarmos as diferenças de medição entre o piranômetros LI200 e a I_{gcc} notamos que os percentuais são muito mais elevados, variando de 31,3% em setembro de 2021 a 46,2% em outubro de 2021. Verifica-se que a precisão dos equipamentos influencia drasticamente na determinação do potencial de energia solar da região. Esses resultados também demonstram a precisão do equipamento de medição utilizado pode ter uma influência significativa na atenuação da radiação solar medida, outros fatores importantes como calibração dos equipamentos e a frequência da manutenção dos mesmos podem influenciar para que os resultados apresentados sejam tão discrepantes. Vale salientar que a campanha de medição que utilizou o piranômetro CMP11 garantiu que o

equipamento estivesse calibrado e foram realizadas manutenções preventivas na estação para garantir a maior confiabilidade dos dados.

Diante do crescimento exponencial da indústria fotovoltaica analisar outros fatores que possam causar atenuação da radiação solar é imprescindível. Ao analisarmos os quantitativos de material particulado coletados na cidade de Ilha Solteira (Fig. 5), verificou-se inicialmente que a frequência de ocorrência de material particulado do tipo PTS ocorre em maior número entre os totais de 50 a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dia. Sendo a maior frequência os valores de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dia. Em relação ao material particulado do tipo MP10 a frequência de ocorrência é maior entre 10 a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dia. Estudos recentes, como os de Vieira *et al.* (2022) e Yamamoto *et al.* (2023), investigam a influência de material particulado na atmosfera como um possível atenuador da radiação solar e seus impactos.

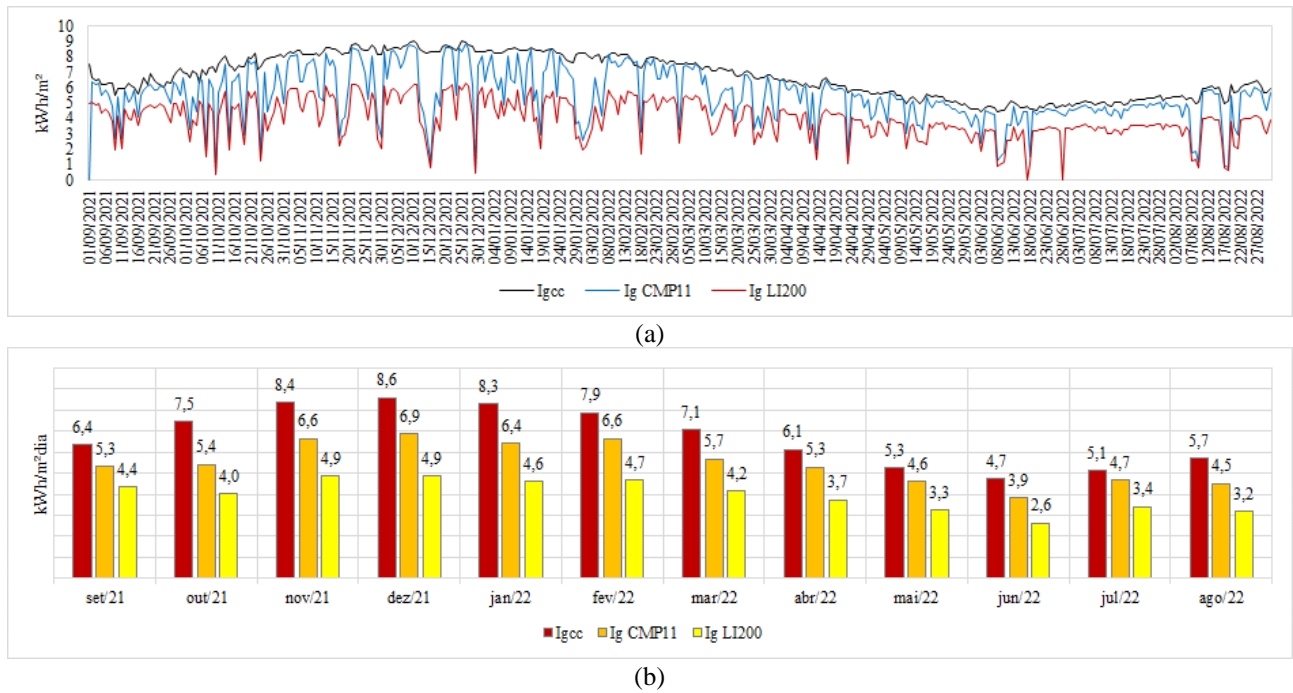


Figura 4 – (a) Perfis de irradiação global horizontal medidas por um piranômetros CMP11, por um piranômetros LI200 e perfil de irradiação global horizontal de céu claro obtida do CAMS e (b) potencial do recurso solar mensal a partir dos dados coletados pelo piranômetros CMP11, LI200 e de céu claro obtida do CAMS para o período de setembro de 2021 a agosto de 2022 em Ilha Solteira/SP.

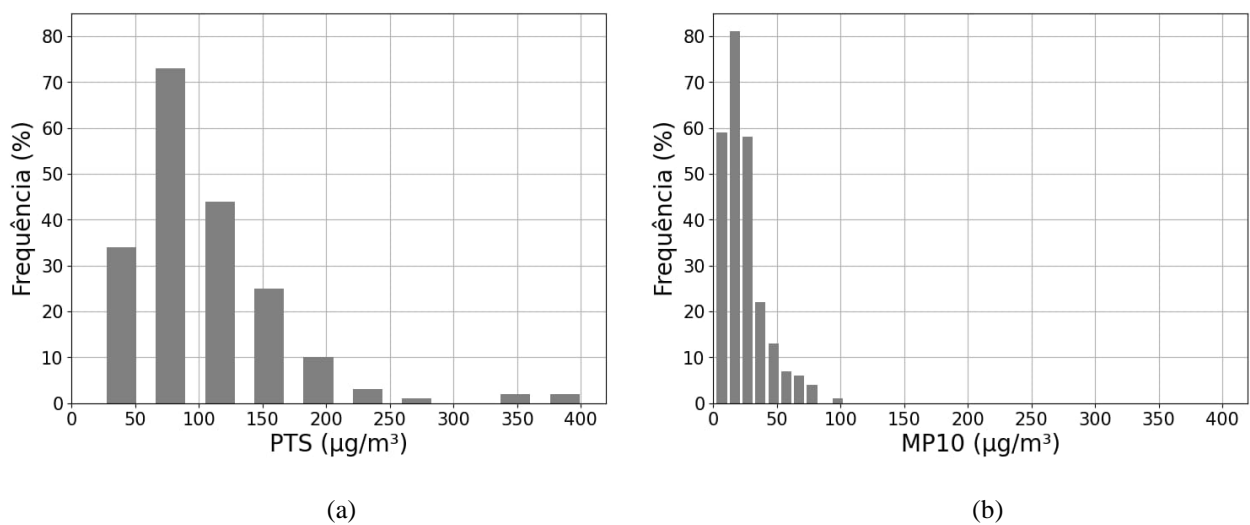


Figura 5 - (a) Distribuição de frequência do PTS e (b) do MP10 na atmosfera de Ilha Solteira do período de setembro de 2021 a agosto de 2022.

Na Fig. 6 é possível observar que o maior acumulado de MP10 ocorreu no mês de setembro de 2021. Segundo o Boletim Mensal da Qualidade do Ar para o Estado de São Paulo emitido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo CETESB, no mês de setembro de 2021, destacou-se pela ocorrência de altas concentrações de material particulado nas estações do interior do estado, sobretudo, em razão das situações meteorológicas que propiciaram condições para formação de diversos focos de queimadas em áreas urbanas e rurais, além de ocorrência de ventos fortes que ressuspenderam a poeira do solo. Como consequência foram observados vários dias de qualidade moderada em diversas localidades do estado de São Paulo, atingindo, em alguns dias, as qualidades ruim e muito ruim, por MP10 ou MP2,5. Além disso, em função da ocorrência de dias com altas taxas de insolação e altas temperaturas, houve também condições propícias para a formação de ozônio, chegando a registrar vários dias com qualidades ruim ou muito ruim para esse poluente (CETESB, 2021).

Os altos valores de concentração de particulado registrados no mês de setembro concordam com os resultados obtidos por Machado *et al.*, (2019) que realizou uma avaliação espacial e sazonal das concentrações de partículas totais em suspensão na cidade de Ribeirão Preto, também no Estado de São Paulo e verificou as concentrações de PTS foram significativamente maiores nos meses da estação seca em relação aos meses da estação chuvosa e verificou que esse resultado está de acordo com evidências científicas sobre a interferência da sazonalidade na concentração de partículas atmosféricas (Magalhães *et al.*, 2010; Gao *et al.*, 2014 e Cazier *et al.*, 2016).

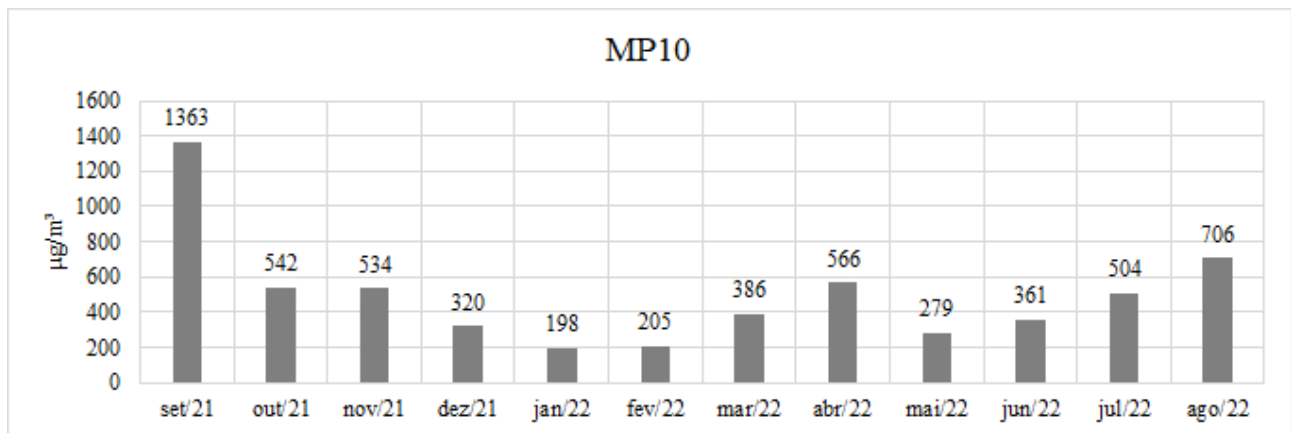


Figura 6 – Totais de material particulado do tipo MP10 coletados na estação instalada na UNESP de Ilha Solteira do período de setembro de 2021 a agosto de 2022.

Ao analisarmos o dia 19/09/2021 com registro da maior concentração de particulado no mês de setembro de 2021, verificou-se que os amostradores registraram 406,69 µg/m³ dia de material particulado do tipo PTS e 71,70 µg/m³ dia de material particulado do tipo MP10. O dia 19 de setembro foi marcado por ser um dia de céu claro, o que permitiu descartar o efeito atenuador da presença de nuvens. Verificou-se que nesse dia (Fig. 7a) a irradiância global horizontal medida pelo piranômetro CMP11 em relação ao perfil de irradiância global horizontal de céu claro obtida do CAMS apresentou uma atenuação de cerca de 10%. Diferente do dia 20/10/2021 (Fig. 7b) onde os registros de concentração de particulado na região são bem inferiores 71,01 µg/m³ dia de material particulado do tipo PTS e 11,36 µg/m³ dia de material particulado do tipo MP10. O dia 20 de outubro também foi considerado um dia de céu claro. Diante desses resultados observa-se que a atenuação da irradiância global horizontal pode estar relacionada à presença de elevadas concentrações de material particulado.

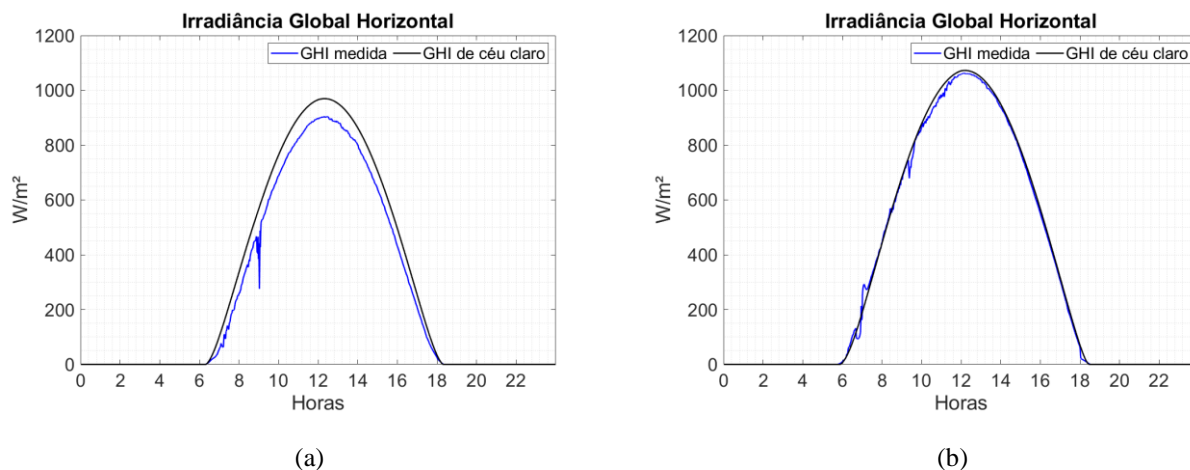


Figura 7 – Perfis de irradiância global horizontal medida e de céu claro para o dia (a) 19/09/2021 e para (b) o dia 20/10/2021.

4. CONCLUSÃO

Com base nas informações apresentadas, este trabalho concluiu que diferentes precisões do instrumento podem apresentar diferentes quantidades da radiação solar e que este fato pode estar relacionado à precisão do equipamento, a ausência de manutenções frequentes e a necessidade de calibração do instrumento usado. Concluiu também que a diferença nas medições entre piranômetros de classes diferentes reportou diferenças que variaram de 18 a 31% e que em relação ao perfil de céu claro essa diferença é ainda maior em relação aos piranômetros de classe inferior. Verificou-se que os valores de irradiância registrados em dias de céu claro raramente coincidem com as projeções esperadas. Essa discrepância levanta a possibilidade de que a presença de material particulado possa estar exercendo uma influência significativa nesses valores. Mesmo quando a concentração de partículas na atmosfera era baixa em alguns dias, a energia medida não atingiu os níveis projetados para céu claro, sugerindo que o material particulado poderia estar desempenhando um papel na obstrução de uma fração da radiação solar que chega à superfície terrestre. Em dias com altos níveis de material particulado, constatou-se uma perda significativa de energia solar, que pode chegar a cerca de 10%. Tal atenuação na irradiância que chegar na superfície terrestre afetará diretamente nos projetos das usinas fotovoltaicas e, principalmente, a projeção da energia gerada por essas usinas. Uma vez que, sistemas simples de predição da radiação solar, não consideram a atenuação da irradiância pela presença de particulado na atmosfera. Ademais, a presença de particulados de grandes volumes na atmosfera pode contribuir para a deposição de sujidades nos módulos, funcionando como uma barreira para a penetração da radiação.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao seu orientador da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), e o mesmo em conjunto aos demais autores agradecem ao ISI-ER pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho e à CTG Brasil pelo custeio da bolsa de pesquisa no âmbito do projeto ANEEL PD-10381-0620/2020.

REFERÊNCIAS

- Acosta Quelopana, Alejandro Marcelo; Rodríguez Delgado, José Julián. Análisis del impacto ocasionado por el material particulado en el desempeño energético de paneles fotovoltaicos en zonas cercanas a operaciones mineras. 2022.
- Alvarenga, Laryssa Souza; Luchini, Matheus Bassani; Guimarães, Warley Teixeira. Avaliação do desempenho da geração fotovoltaica na região metropolitana da grande Vitória diante da poluição atmosférica. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS. 2020.
- Cams. Copernicus Atmosphere Monitoring Service. 2023. Disponível em: <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-solar-radiation-timeseries?tab=overview>. Acesso em: 15 de out. de 2023.
- Castro, Silvia Garcia de. Análise espacial e temporal da precipitação, do material particulado e da radiação global em municípios paulistas. 2015.
- Cazier, F.; Ganeyray, P.; Dewaele, D.; Nouali, H.; Verdin, A.; Ledoux, F.; Hachimi, A.; Courcot, L.; Billet, S.; Bousima, S.; Shirali, P.; Garçon, G.; Coucot, D.; J. Environ. Sci. 2016, 44, 45.
- Climate-Data.org. Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/americas-do-sul/brasil/sao-paulo/ilha-solteira-34894/>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- Climatempo. Ilha Solteira, SP: Climatologia. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/2333/ilhasolteira-sp>. Acesso em: 15 out. 2023
- Da Silva, Matheus Tolentino. Simulações numéricas da sensibilidade de detecção de aerossóis ultrafinos no topo da troposfera Amazônica pela técnica lidar. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- De Souza Gonçalves, Bianca Regina; Rogrigues, Núbia Beatriz Fonseca; Ribeiro, Christian Ricardo. Poluição Atmosférica e Saúde Humana no Estado de São Paulo: Uma Revisão Sistemática de Teses e Dissertações. Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde, v. 19, p. e1911, 2023.
- De Souza, Ariane Fernanda Evangelista. Caracterização de material particulado atmosférico na cidade de Limeira-SP. 2015. Tese de Doutorado. [sn].
- De Souza, Maria Clara R. *et al.* A Influência dos Compostos Orgânicos Voláteis nas Mudanças Climáticas: Uma breve revisão. 2023.
- Echer, E.; Souza, M. P.; Schuch, N. J. The beer's law applied to the earth's atmosphere. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 23, p. 276-283, 2001.
- Gao, J.; Tian, H.; Cheng, K.; Lu, L.; Wang, Y.; Wu, Y.; Zhu, C.; Liu, K.; Zhou, J.; Liu, X.; Chen, J.; Hao, J.; Atmos. Environ. 2014, 99, 257. 58.

- Gomes, Heliofábio Barros *et al.* Temperatura da superfície e albedo na região de Ilha Solteira, São Paulo. Mercator (Fortaleza), v. 16, 2017.
- Gómez, J. M. *et al.* A irradiância solar: conceitos básicos. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, 2018.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 20 de outubro de 2023.
- Lutgens, F. K., Tarbuck, E. J., & Tusa, D. (1995). The atmosphere (Vol. 462). Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall.
- Machado, G. P., Alves, R. I., Senhuk, A. P., Fregonesi, B. M., Zagui, G. S., Nadal, M., ... & Segura-Muñoz, S. I. (2019). Avaliação espacial e sazonal das concentrações de partículas totais em suspensão e elementos metálicos associados no ar de uma cidade do sudeste brasileiro. Química Nova, 42, 28-35.
- Magalhães, L. C.; Nalini Junior, H. A.; Lima, A. C.; Coutrim, M. X.; Quim. Nova 2010, 33, 519-57.
- Moses, Sonya R. *et al.* Seasonal variations of microplastic pollution in the German River Weser. Science of The Total Environment, v. 902, p. 166463, 2023.
- Seinfeld, John H.; Pandis, Spyros N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. John Wiley & Sons, 2016.
- Suehrcke, H.; McCormick, P. G. Solar radiation utilizability. Solar energy, v. 43, n. 6, p. 339-345, 1989.
- Vera, Luis Horacio; Massen Prieb, César Wilhelm; Krezinger, Arno. Comparação do desempenho de módulos fotovoltaicos após seis anos de operação. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 10, 2006.
- Vieira, Érick Vinicius Ramos. Variação sazonal do aerossol e suas propriedades ópticas em São Paulo. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- Wallace, John M.; Hobbs, Peter V. Atmospheric science: an introductory survey. Elsevier, 2006.
- Yamamoto, Ana Letícia Campos *et al.* Projeções globais de fluxos de radiação UV para o século XXI: avaliações sob presença de aerossóis e nuvens. 2023.
- Ye, Sheng *et al.* Quantitative effects of PM concentrations on spectral distribution of global normal irradiance. Solar Energy, v. 220, p. 1099-1108, 2021.

INFLUENCE OF PARTICULATE MATTER ON THE INTENSITY OF HORIZONTAL GLOBAL IRRADIANCE IN THE CITY OF ILHA SOLTEIRA - SP

Abstract. Photovoltaic solar energy is constantly expanding in Brazil and worldwide, driven by technological advancements, cost reduction, and environmental concerns. As the demand for energy continues to grow, maximizing the capture of the solar radiation's energy potential becomes crucial. However, even on days when solar incidence should be at its maximum, photovoltaic modules do not receive the expected irradiance in full, resulting in the underutilization of their capacity. This study aims to investigate whether the presence of particulate matter (PM) in the atmosphere, such as Total Suspended Particles (TSP) and particles with a diameter less than 10 micrometers (PM10), influences the intensity of solar radiation reaching the photovoltaic modules in the municipality of Ilha Solteira, located in the interior of São Paulo. Daily solar radiation data were meticulously collected using two class A pyranometers, following the standards established by the Energy Research Company (EPE). Simultaneously, data on the concentration of particulate matter (PM), including Total Suspended Particles (TSP) and particles with a diameter less than 10 micrometers (PM10), were obtained using Atmospheric Vortex Generators (AVGs) specifically designed for this purpose. The data collection period spanned one year, from September 1, 2021, to August 31, 2022. Over this extensive period, a series of detailed measurements pointed to a significant influence of these materials on the solar irradiance intensity in the municipality of Ilha Solteira.

Keywords: Solar Photovoltaic Energy, Particulate Matter, Irradiance.