



ACOMPANHAMENTO REMOTO E ANÁLISE DE INDICADORES DE PRODUTIVIDADE DOS SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

Lucas Deusdedit Damasceno Santos ¹; Gustavo Rafael de Souza Reis ²; Willian Marlon Ferreira ³; Alex de Andrade Fernandes ⁴;

1 Lucas Deusdedit Damasceno Santos, Bolsista (IFMG), Bacharelado em Engenharia Elétrica, IFMG Campus Ipatinga, Ipatinga - MG; lucasdeusdedit@gmail.com

2 Orientador: Pesquisador do IFMG, Campus Ipatinga; gustavo.reis@ifmg.edu.br

3 Orientador: Pesquisador do IFMG, Campus Ipatinga; willian.ferreira@ifmg.edu.br

4 Orientador: Pesquisador do IFMG, Campus Ipatinga; alex.andrade@ifmg.edu.br

RESUMO

Um sistema fotovoltaico é uma tecnologia que converte a luz solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas, composto principalmente por módulos solares e um inversor. O Instituto Federal de Minas Gerais possui 25 usinas fotovoltaicas que geram energia de forma sustentável e possuem potência instalada total de 867,88 kWp. Entretanto, o monitoramento contínuo desses sistemas tornou-se um desafio, devido à falta de equipes especializadas e disponibilidade nos *campi*. Para superar essa limitação, um projeto de pesquisa no IFMG foi desenvolvido visando o acompanhamento diário das usinas. Isso envolve a análise utilizando o software PVsyst, a implementação de dashboards para visualização dos indicadores de produtividade, medidas para agilizar o monitoramento e a prática de manutenção nas usinas.

PALAVRAS CHAVES:

Usinas fotovoltaicas. Monitoramento contínuo. Gestão. Indicadores de desempenho. Dashboards.

INTRODUÇÃO:

Um sistema fotovoltaico é uma tecnologia que converte a energia solar em eletricidade utilizável por meio de células fotovoltaicas. Os elementos fundamentais de um sistema fotovoltaico incluem os painéis solares, os inversores e, ocasionalmente, dispositivos de armazenamento de energia, como baterias. Os módulos solares capturam a luz solar e geram eletricidade, enquanto o inversor converte essa eletricidade para um formato que pode ser utilizado pelos dispositivos elétricos convencionais (MACHADO, MIRANDA, 2015).

Este trabalho consiste na análise do monitoramento de 25 usinas fotovoltaicas distribuídas nos campi do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) com capacidade instalada de 867,88 kWp. Com o intuito de avaliar a performance, identificar potenciais melhorias e contribuir para a gestão estratégica da energia gerada, este projeto visa fornecer uma visão abrangente



do panorama energético dessas instalações. Ao explorar os dados coletados e as estratégias implementadas ao longo do monitoramento, busca-se destacar a importância dessas práticas para a sustentabilidade e eficiência operacional.

Com o objetivo de obter um comparativo da geração real, efetuou-se um levantamento da produção teórica para calcular os indicadores de desempenho de todas as 25 usinas. Para a análise foram investigados os tipos de equipamentos empregados, a conferência dos projetos no software PVsyst e um levantamento detalhado da geração teórica que é utilizada na determinação dos indicadores de geração.

Uma das atividades deste trabalho consiste no monitoramento diário das usinas fotovoltaicas e envio de e-mails de alerta caso problemas de geração e/ou comunicação sejam detectados. Durante o ano, vários e-mails foram enviados para os responsáveis de cada campus a fim de notificar as anomalias encontradas durante o período de monitoramento. Com o intuito de facilitar o processo de envio, foram desenvolvidas planilhas automatizadas para enviar e-mails notificando sobre a geração mensal de cada *campi*.

Nos estudos conduzidos por RODRIGUES, RAMPINELLI e BREMERMAN (2022), KUMAR e SUDHAKAR (2015), e DE ARAÚJO CAVALCANTI et al. (2019), é perceptível o uso de metodologias eficientes para quantificar a geração das usinas fotovoltaicas. No entanto, nenhuma dessas abordagens apresenta uma proposta de notificação aos responsáveis das usinas fotovoltaicas. SANTOS e LIMEIRA (2022) também desenvolveram um sistema de notificações que determina, com base na luminosidade, se os módulos estão sujos ou limpos, enviando essas informações aos responsáveis. No entanto, o trabalho proposto não se concentra apenas em problemas específicos, mas sim em todo o conjunto de variáveis que podem afetar a geração de energia, para então enviar as informações de forma clara e objetiva, além de produzir um histórico de geração das usinas para avaliar a produção ao longo do ano. As notificações automatizadas realizadas neste trabalho oferecem aos responsáveis pela gestão das usinas uma visão em tempo real do desempenho e da produção de energia solar. Através de dashboards intuitivos, é possível acessar informações detalhadas sobre a geração de energia, incluindo dados sobre a produção atual, histórico de geração, e até mesmo alertas sobre possíveis falhas ou problemas operacionais. Essa transparência e acesso imediato aos dados permitem que os responsáveis tomem decisões rápidas e informadas para otimizar a operação das usinas fotovoltaicas. Por exemplo, ao identificar variações na geração de energia, os responsáveis podem ajustar a manutenção preventiva, otimizar a distribuição da energia gerada e até mesmo implementar medidas corretivas para maximizar a eficiência e minimizar perdas. Além disso, as notificações automatizadas garantem uma comunicação eficaz entre os diferentes envolvidos na operação e manutenção das usinas fotovoltaicas. Desde os técnicos responsáveis pela manutenção até os gestores e investidores, todos podem receber informações atualizadas e relevantes sobre o desempenho das instalações, permitindo uma coordenação eficiente de esforços e recursos.



METODOLOGIA:

Com o intuito de quantificar o desempenho das usinas fotovoltaicas foram utilizados indicadores de mérito que desempenham um papel crucial na avaliação e gestão eficiente de usinas fotovoltaicas, destacando seu desempenho e eficácia operacional. Os indicadores que se destacam nesse contexto são o *Performance Yield* e o *Performance Ratio*.

Segundo RODRIGUES, RAMPINELLI e BREMERMANN. (2022), o *Performance Yield* pode ser definido como um indicador que fornece uma medida quantitativa da eficiência global de uma usina fotovoltaica. Ele calcula a relação entre a energia elétrica real gerada pelo sistema ($E_{PV,AC}$) e a potência teórica máxima que poderia ser produzida em condições ideais ($P_{max,STC}$). Um *Performance Yield* elevado indica um alto nível de eficiência na geração de energia em relação às condições ideais (KUMAR e SUDHAKAR, 2015).

$$Y_f = \frac{E_{PV,AC}}{P_{max,STC}} \quad (1)$$

Onde $P_{max,STC}$ representa a potência nominal fotovoltaica, $E_{PV,AC}$ é a energia injetada no sistema durante o período de avaliação, e Y_f é expresso em kWh/kWp ou simplesmente em horas (KUMAR e SUDHAKAR, 2015).

O *Performance Ratio* (PR), ou Razão de Desempenho, é outro indicador bastante utilizado no âmbito de usinas fotovoltaicas, sendo crucial para avaliar a eficiência e o rendimento desses sistemas. Essa métrica é calculada como a razão entre a energia elétrica real gerada pelos módulos solares e a energia elétrica teórica máxima que poderia ser produzida em condições ideais. A energia elétrica real gerada refere-se à quantidade de eletricidade realmente produzida pelo sistema fotovoltaico em um determinado período de tempo, expressa em (kWh). Já a energia elétrica teórica máxima, representa a energia máxima teoricamente possível que o sistema poderia gerar em condições ideais. Isso leva em consideração a irradiação solar, a temperatura dos painéis, a disponibilidade da rede elétrica, o tamanho da área de abertura, a potência nominal e os valores de correção de temperatura. Um *Performance Ratio* próximo de um indica um desempenho eficiente, enquanto valores mais baixos podem indicar problemas no sistema que podem requerer manutenção ou otimização (KUMAR e SUDHAKAR, 2015).

$$P_R = \frac{E_{PV,AC}}{E_{AC,PV,Syst}} \quad (2)$$

Onde $E_{AC,PV,Syst}$, em kWh, é a geração de energia estimada dimensionada pelo PV Syst. E é frequentemente representada em porcentagem.

Os campi do Instituto Federal de Minas Gerais contam com um total de 25 usinas, contribuindo para uma capacidade total de geração de 867,88 kWp. No total são 34 inversores e 2663 módulos fotovoltaicos de diferentes modelos. Oito usinas foram recentemente projetadas e estão atualmente em operação. Os sistemas fotovoltaicos são supervisionados por plataformas distintas de forma que cada uma apresenta os dados de produção diária, mensal e anual.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Para confirmar a precisão da geração das usinas, empregou-se o software PVsyst com propósito de calcular a geração teórica dos sistemas. Para a execução do programa foram consideradas os dados meteorológicos de cada região, número, configuração e orientação dos módulos fotovoltaicos, potência requerida para o funcionamento do sistema, número de inversores e, por fim, o modelo de cada equipamento utilizado no projeto (DOS SANTOS, DE LIMA, 2022).

Para realizar o dimensionamento no PVsyst, inicialmente são inseridos dados meteorológicos específicos da região. O programa oferece a funcionalidade de um mapa interativo, permitindo a inserção da região desejada por meio de uma barra de pesquisa. Ao inserir a localização, o programa calcula todas as métricas necessárias que serão utilizadas como base para estimar a quantidade de energia solar que será recebida pelas usinas. Na Fig. 1 é possível observar os dados meteorológicos referentes a região de Itabirito calculado pelo PVsyst (DOS SANTOS, DE LIMA, 2022).

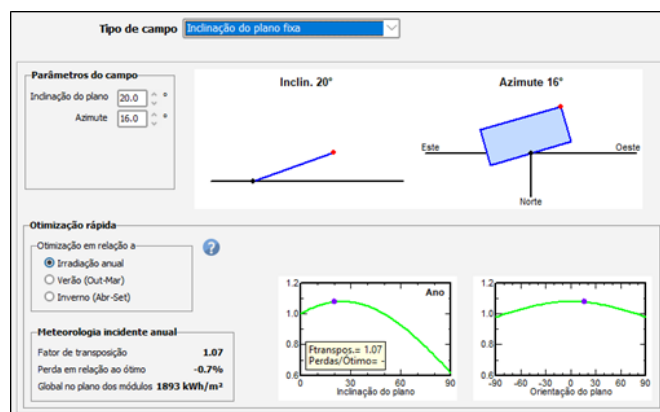
Fig. 1 Dados meteorológicos do programa PVsyst.

	Irradiação horizontal total	Irradiação difusa horizontal	Temperatura	Velocidade do vento	Turvação de Linke	Humidade relativa
	kWh/m ² /dia	kWh/m ² /dia	°C	m/s	[]	%
Janeiro	5.43	2.38	22.9	2.79	3.309	73.9
Fevereiro	5.65	2.50	23.0	2.70	3.317	72.5
Março	4.83	2.32	22.4	2.59	3.204	76.6
Abril	4.49	1.85	21.1	2.60	2.986	77.9
Maiο	4.01	1.57	19.2	2.40	2.848	73.9
Junho	3.89	1.27	17.9	2.40	2.768	75.1
Julho	4.13	1.25	17.8	2.59	2.802	68.6
Agosto	5.01	1.54	19.5	3.00	3.117	60.4
Setembro	5.18	1.97	20.7	3.20	3.960	62.3
Outubro	5.19	2.33	22.5	3.30	3.842	62.9
Novembro	4.88	2.58	21.5	3.01	3.448	78.6
Dezembro	5.28	2.26	22.4	2.80	3.378	77.8
Ano	4.83	1.98	20.9	2.8	3.248	71.7

Fonte: Autores.

Após calcular os dados meteorológicos são incluídas as orientações do sistema como inclinação do plano e azimute. Nessa opção, que pode ser observada na Fig. 2, o programa calcula a influência que a posição dos módulos fotovoltaicos pode causar no sistema destacando as perdas em função da orientação escolhida (DOS SANTOS, DE LIMA, 2022).

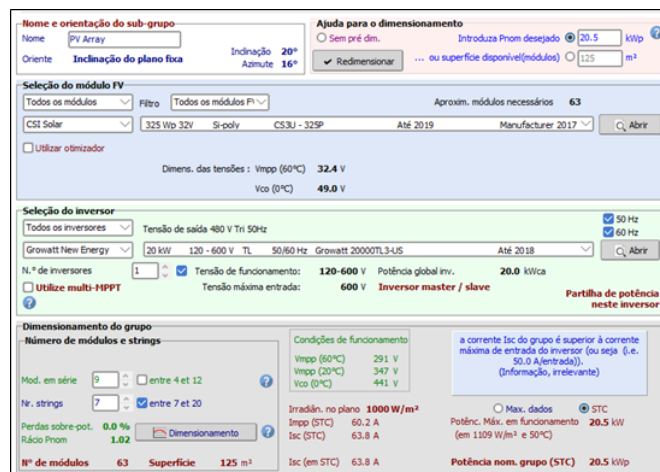
Fig. 2 Configuração da orientação do sistema fotovoltaico.



Fonte: Autores.

Por fim, como observado na Fig. 3, são adicionados os equipamentos juntamente com as suas respectivas configurações. Além disso o programa também oferece a possibilidade de ajustar opções mais avançadas, como as especificações individuais de cada dispositivo (DOS SANTOS, DE LIMA, 2022).

Fig. 3 Configuração dos sistemas fotovoltaicos.



Fonte: Autores.

Após configurar todo o sistema o programa possibilita gerar um relatório com os dados referentes a produção teórica anual do sistema, assim como todas as informações incluídas no projeto como: Dados meteorológicos, componentes, perdas e etc. Os relatórios gerados serviram como base para certificar se os projetos e memoriais descritivos feitos para cada campi estavam em conformidade com os dados gerados pelo programa, além de fornecer a informação base da geração teórica de cada usina. Na Fig. 4 é possível observar os dados teóricos para o Campus Ipatinga obtidos por meio do software PVsyst.

Fig. 4 Relatório de desempenho teórico do campus Ipatinga.

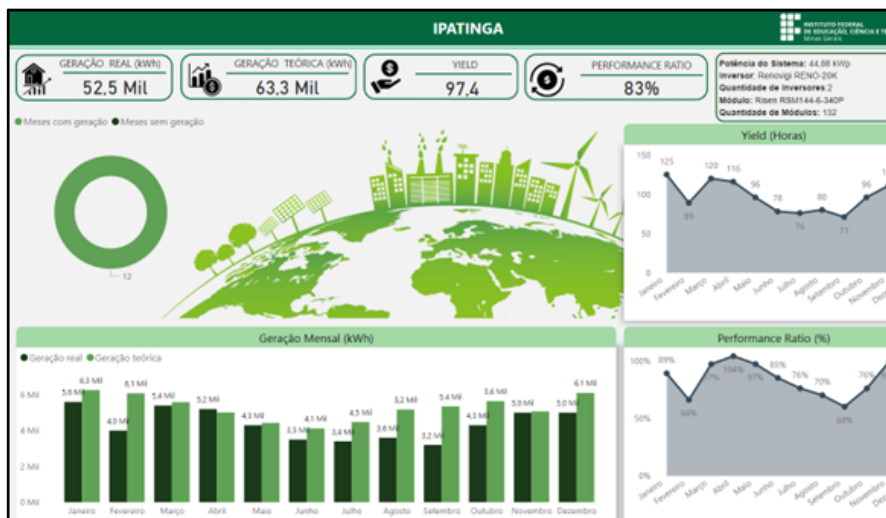
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR rácio
Janeiro	179.2	83.20	26.10	176.9	172.7	6.415	6.264	0.789
Fevereiro	171.9	81.80	26.40	171.6	167.7	6.226	6.082	0.790
Março	157.8	76.00	25.60	157.3	153.3	5.727	5.590	0.792
Abril	138.3	62.30	24.30	139.9	136.4	5.133	5.011	0.798
Mai	120.3	56.40	22.50	123.0	119.1	4.540	4.432	0.803
Junho	111.0	43.90	20.90	114.1	110.1	4.221	4.121	0.805
Julho	120.9	53.10	20.70	123.7	119.6	4.562	4.477	0.806
Agosto	141.1	58.80	21.90	143.3	139.6	5.303	5.179	0.805
Setembro	146.5	68.80	23.00	148.8	145.1	5.481	5.351	0.801
Outubro	158.7	83.00	24.20	157.9	154.1	5.782	5.643	0.797
Novembro	144.6	79.40	24.80	143.0	139.4	5.203	5.074	0.791
Dezembro	173.6	89.80	25.20	171.5	167.1	6.256	6.105	0.793
Ano	1765.9	836.49	23.79	1770.9	1724.1	64.870	63.330	0.797

Legendas
 GlobHor Irradiação horizontal total
 DiffHor Irradiação difusa horizontal
 T_Amb Temperatura ambiente
 GlobInc Incidência global no plano dos sensores
 GlobEff Global efetivo, corrigido para IAM e sombras
 EArray Energia efetiva à saída do grupo
 E_Grid Energia injetada na rede
 PR Índice de performance

Fonte: Autores.

Após certificar que os dados teóricos de cada usina estão consistentes com os relatórios e memoriais descritivos, foram elaborados dashboards utilizando o software *Power Business Intelligence (PBI)*, incorporando os dados mensais de geração de cada usina. A integração dos dados no PBI foi automatizada por meio do site do próprio PBI, permitindo a inserção da hora e data desejadas. Posteriormente, gerou-se os links dos relatórios para cada campus, os quais foram distribuídos de maneira automatizada para as respectivas usinas através da automação do Google Sheets. Este processo assegura que cada campus tenha acesso atualizado e direto às condições de desempenho de suas usinas, promovendo uma gestão mais eficaz e informada. Na Fig. 5 é possível observar como modelo o dashboard construído do campus Ipatinga.

Fig. 5 Dashboard de desempenho da usina do campus Ipatinga.



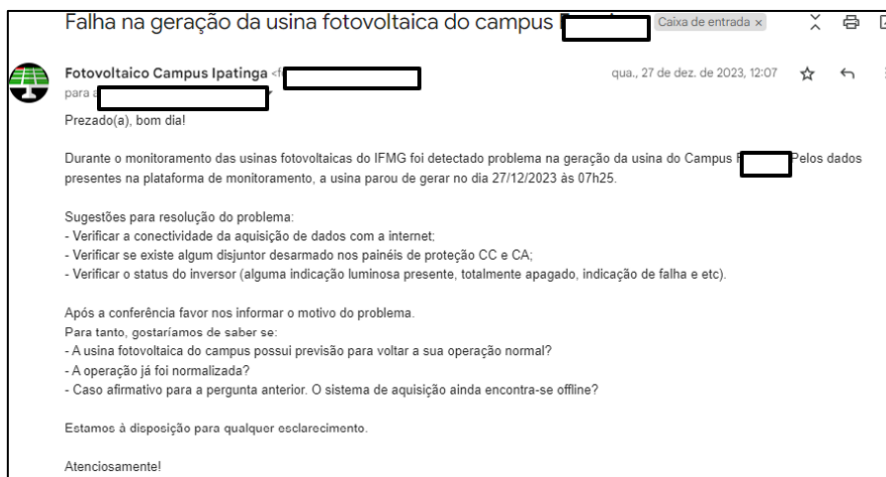
Fonte: Autores.

Ao longo do ano, diversas discrepâncias na geração de algumas usinas foram detectadas, resultando no envio de e-mails aos responsáveis de cada campus para notificá-los sobre os problemas

identificados na produção de energia dessas instalações. No total foram enviados 29 e-mails no decorrer do ano de 2023 notificando cada campus sobre problemas na geração e/ou comunicação das usinas. A Figura 6 mostra o e-mail com orientações gerais desenvolvido para envio aos campi, onde, os principais problemas foram destacados e as orientações passadas. Vale ainda destacar que o principal problema encontrado consiste em falha na internet dos campi. Dessa forma, a usina fotovoltaica não para de operar, mas o envio de dados é interrompido.

No dia 12 de janeiro de 2024 um relatório do ano de 2023, no formato de planilha, contendo os links de acesso aos dashboards desenvolvidos para todas as usinas fotovoltaicas e seu status de manutenção foi enviado para a gestão do IFMG. Neste relatório apontou-se itens a se observar nas 25 usinas do IFMG, como: acrescentar as usinas dos campi Arcos e Ribeirão das Neves ao portal comum às demais, inserir as usinas dos campi Ipatinga e Piumhi em um mesmo portal e corrigir problemas de manutenção observados.

Fig. 6 E-mail de alerta desenvolvido durante o projeto.



Fonte: Autores.

Uma série de atividades de manutenção na usina do campus Ipatinga foi desencadeada devido à constatação de falta de geração durante o processo diário de acompanhamento. Após uma análise, identificou-se que a produção de energia não estava atingindo os níveis esperados, o que levou à necessidade de intervenções imediatas.

A atividade de limpeza foi identificada como uma medida crucial para otimizar o funcionamento dos equipamentos, como painéis solares. Considerando esse contexto, em 05/01/2023 foi realizada a remoção de possíveis obstruções e acúmulos que estavam afetando a eficiência da geração. Esta intervenção visou restaurar as condições ideais para a captação de luz solar, maximizando assim a produção de energia.

No dia 09/01/2023, observou-se que o disjuntor de corrente alternada do segundo inversor começou a desarmar repetidamente. O disjuntor foi rearmado duas vezes, onde, a usina operou normalmente por alguns dias e o disjuntor voltou a desarmar. Posteriormente, a fase C do disjuntor abriu, resultando



em uma falha constante no funcionamento do segundo inversor. Para solucionar essa questão, no dia 06/02/2023, foi efetuada a substituição do disjuntor, restaurando assim o funcionamento normal da usina. Ademais, identificou-se atuação de alguns dispositivos de proteção contra surtos (DPS's) do lado de corrente contínua da usina fotovoltaica, resultando na substituição desses componentes em 19/05/2023. Além disso, foi aproveitada a oportunidade para conduzir um reaperto geral no painel.

CONCLUSÕES:

Considerando as informações apresentadas, o projeto de pesquisa visou oferecer uma contribuição significativa para a gestão eficiente das usinas fotovoltaicas em todo o IFMG. A capacidade de gerar alertas diante de potenciais anormalidades representou um resultado crucial, permitindo intervenções rápidas e eficazes. Este projeto também teve como propósito aprimorar a gestão ao oferecer suporte na implementação de estratégias de manutenção preventiva/corretiva e limpeza nas usinas fotovoltaicas, ações que, atualmente, estão presentes em apenas algumas unidades do IFMG.

Ao fornecer dados reais, o projeto contribui para o planejamento de investimentos futuros e otimização da gestão das usinas da instituição. Os resultados gerados incluem não apenas a identificação de irregularidades e aprimoramento da manutenção, mas também a validação do retorno sobre os investimentos realizados e a orientação para futuras decisões estratégicas na gestão das usinas fotovoltaicas do IFMG.

REFERÊNCIAS:

DE ARAÚJO CAVALCANTI, Álvaro et al. Performance evaluation of micro-and minidistributed photovoltaic systems using data envelopment analysis. **IEEE Journal of Photovoltaics**, v. 9, n. 6, p. 1806-1814, 2019.

DOS SANTOS, Leonardo Nery Carrijo; DE LIMA, Gerson Flávio Mendes. Dimensionamento prático de um sistema fotovoltaico—estudo de caso utilizando o software Pvsyst. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 20035-20047, 2022.

KUMAR, B. Shiva; SUDHAKAR, K. Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India. **Energy reports**, v. 1, p. 184-192, 2015. Acesso em: 25 maio 2023.

MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015.



seminário
de iniciação
científica

ISSN 2558-6052



RODRIGUES, Aline; RAMPINELLI, Giuliano Arns; BREMERMAN, Leonardo Elizeire. SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO ÂMBITO DA TARIFA BRANCA. In: **Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2022. p. 1-10.

SANTOS, Jhefsson Gabriel Targino da Silva e LIMEIRA, Waltemberg Silva. Sistema de Monitoramento de Impurezas aplicada à sistema de energia solar fotovoltaico. Repositório Universitário da Ânima (RUNA), 2022.