



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA EXATAS E TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

BRUNO DE LIMA MEDEIROS

**USO DE ROBÔS PARA A LIMPEZA PROGRAMADA DE PLACAS
FOTOVOLTAICAS**

ANGICOS-RN

2025

BRUNO DE LIMA MEDEIROS

**USO DE ROBÔS PARA A LIMPEZA PROGRAMADA DE PLACAS
FOTOVOLTAICAS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Interdisciplinar em ciência e tecnologia.

ANGICOS

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M488u Medeiros, Bruno de Lima.
Uso de robôs para a limpeza programada de
placasfotovoltaicas / Bruno de Lima Medeiros. -
2025.
38 f. : il.

Orientador: Damilson Ferreira dos Santos .
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2025.

1. Robôs de limpeza. 2. Eficiência energética.
3. Energia solar. I. , Damilson Ferreira dos
Santos, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Bruno de Lima Medeiros

USO DE ROBÔS PARA A LIMPEZA PROGRAMADA DE PLACAS FOTOVOLTAICAS

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em ciência e tecnologia.

Defendida em: 16/07/2025.

BANCA EXAMINADORA

 Documento assinado digitalmente
DAMILSON FERREIRA DOS SANTOS
Data: 17/07/2025 09:04:58-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Damilson Ferreira dos Santos (UFERSA)
Presidente

 Documento assinado digitalmente
TARCISIO ELOI DE ANDRADE JUNIOR
Data: 17/07/2025 09:52:50-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr Tarcísio Elói de Andrade Junior (UFERSA)
Membro Examinador

 Documento assinado digitalmente
ROBERTA PEREIRA DA SILVA
Data: 17/07/2025 11:12:32-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. Roberta Pereira da Silva (UFERSA)
Membro Examinador

RESUMO

A crescente adoção de sistemas fotovoltaicos tem impulsionado a busca por soluções inovadoras, eficientes e sustentáveis para otimizar a produção de energia solar. Nesse cenário, a utilização de robôs para a limpeza de painéis fotovoltaicos tem se destacado como uma alternativa tecnológica promissora. Esses dispositivos oferecem uma solução eficiente, econômica e ambientalmente responsável para remover sujeira, poeira e resíduos que podem comprometer a eficiência dos painéis solares. A acumulação de sujeira, poeira e resíduos nos painéis fotovoltaicos pode reduzir significativamente sua eficiência, especialmente em regiões sujeitas a altos níveis de poluição e poeira. Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto positivo da implementação de robôs de limpeza na manutenção e no desempenho de sistemas fotovoltaicos, evidenciando a viabilidade de tecnologias acessíveis e sustentáveis. A justificativa para a adoção desses robôs reside na necessidade de reduzir custos de manutenção, aprimorar a eficiência energética e oferecer uma alternativa ecológica aos métodos tradicionais de limpeza. Os resultados obtidos demonstraram que os robôs, operando de forma autônoma e empregando tecnologias de limpeza a seco ou reciclagem de água, asseguram uma manutenção contínua e eficaz dos painéis, prevenindo perdas de energia e promovendo a conservação de recursos hídricos. Dessa maneira, a implementação de robôs de limpeza contribui não apenas para o aumento da eficiência dos sistemas fotovoltaicos, mas também para a redução dos custos operacionais e para a expansão sustentável de projetos de energia solar.

Palavras-chave: Robôs de limpeza. Eficiência energética. Energia solar.

ABSTRACT

The growing adoption of photovoltaic systems has driven the search for innovative, efficient, and sustainable solutions to optimize solar energy production. In this context, the use of robots for cleaning photovoltaic panels has emerged as a promising technological alternative. These devices offer an efficient, cost-effective, and environmentally responsible solution to remove dirt, dust, and residues that can compromise the efficiency of solar panels. The accumulation of dirt, dust, and residues on photovoltaic panels can significantly reduce their efficiency, especially in regions exposed to high levels of pollution and dust. This study aimed to evaluate the positive impact of implementing cleaning robots on the maintenance and performance of photovoltaic systems, highlighting the feasibility of accessible and sustainable technologies. The justification for adopting these robots lies in the need to reduce maintenance costs, improve energy efficiency, and provide an eco-friendly alternative to traditional cleaning methods. The results demonstrated that the robots, operating autonomously and employing dry cleaning technologies or water recycling, ensure continuous and effective maintenance of the panels, preventing energy losses and promoting water resource conservation. In this way, the implementation of cleaning robots contributes not only to increased efficiency of photovoltaic systems but also to operational cost reduction and the sustainable expansion of solar energy projects.

Keywords: Cleaning robots. Energy efficiency. Solar energy.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
2.1. INTRODUÇÃO À ENERGIA SOLAR	9
2.1.1 RADIAÇÃO SOLAR.....	12
2.2 PLACAS SOLARES E SUA LIMPEZA.....	15
2.3 FATORES QUE MOTIVAM A FREQUÊNCIA DE LIMPEZA DE PLACAS SOLARES.....	18
3 METODOLOGIA.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica tem se consolidado como uma alternativa sustentável e eficiente para atender às demandas energéticas crescentes em todo o mundo. Com o avanço das tecnologias de geração de energia limpa, os sistemas fotovoltaicos têm sido cada vez mais adotados em projetos de infraestrutura e em iniciativas de energia renovável, tornando-se uma opção viável para reduzir a dependência de combustíveis fósseis. No entanto, para que esses sistemas alcancem sua máxima eficiência, a manutenção adequada das placas solares é essencial, pois a sujeira acumulada pode comprometer significativamente a captação de luz solar e, conseqüentemente, a produção de energia. Diante desse contexto, a automação de processos de limpeza das placas surge como uma solução promissora.

Os robôs de limpeza, especialmente desenvolvidos para sistemas fotovoltaicos, representam uma inovação tecnológica que visa otimizar a manutenção das placas solares. Equipados com sistemas de escovação, aspiração ou jatos de água, esses robôs têm capacidade de operar de maneira autônoma ou semiautônoma, realizando a limpeza sem a necessidade de intervenção humana constante. Em locais onde o acesso às placas é difícil ou perigoso, como grandes usinas solares em áreas remotas ou coberturas inclinadas de prédios, a utilização de robôs de limpeza reduz os riscos operacionais e garante a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Dessa forma, a automação da limpeza dos painéis solares se apresenta não apenas como uma alternativa prática, mas também como uma medida de segurança e economia a longo prazo.

A aplicação de robôs de limpeza em sistemas solares fotovoltaicos também está diretamente relacionada à sustentabilidade e à eficiência no uso de recursos. Em regiões com pouca disponibilidade de água, por exemplo, a limpeza automatizada pode ser configurada para reduzir o consumo hídrico, reutilizando a água empregada ou aplicando métodos de limpeza a seco. Essas características tornam a tecnologia dos robôs de limpeza uma solução atraente para atender às exigências ambientais e operacionais que acompanham o crescimento da energia solar.

Apesar dos benefícios oferecidos pelos robôs de limpeza de placas solares, ainda existem desafios consideráveis que dificultam sua implementação ampla. Entre esses desafios estão os altos custos iniciais de aquisição, a adequação das tecnologias a diferentes ambientes e a resistência por parte dos gestores que tradicionalmente utilizam métodos manuais. Além disso, a falta de regulamentação e padrões para o uso de robôs em sistemas solares também pode gerar dúvidas sobre a eficácia e o custo-benefício dessas soluções a longo prazo. Dessa forma, a questão que se coloca é: como os robôs de limpeza podem ser implementados de forma

eficaz e sustentável para melhorar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos em diferentes contextos?

A implementação de robôs de limpeza para sistemas solares é justificada, em primeiro lugar, pela necessidade de garantir a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, especialmente em regiões onde a incidência de poeira, areia e outras partículas é alta. A sujeira acumulada reduz a absorção de luz solar pelas placas, comprometendo a capacidade de geração de energia e, em consequência, o retorno financeiro dos investimentos em energia solar. Nesse contexto, os robôs de limpeza oferecem uma solução tecnológica que permite uma manutenção regular e eficaz, garantindo que a produção energética se mantenha em níveis otimizados.

Além disso, o uso de robôs de limpeza em placas solares é relevante para a sustentabilidade ambiental. Muitas tecnologias de robôs são projetadas para consumir menos água e energia, o que é fundamental em regiões áridas ou em áreas onde o uso de recursos naturais deve ser minimizado. Robôs de limpeza a seco, por exemplo, apresentam-se como uma solução sustentável, evitando o desperdício de água e contribuindo para a preservação dos recursos hídricos. Assim, a implementação desses robôs apoia os esforços de sustentabilidade do setor energético e ajuda a atender aos requisitos ambientais de projetos de energia limpa.

Por fim, a automação da limpeza de placas solares por meio de robôs representa um avanço importante na segurança e na eficiência operacional. Em grandes usinas solares ou instalações em locais de difícil acesso, a manutenção manual das placas pode ser perigosa e custosa, exigindo profissionais treinados e equipamentos de segurança. A introdução de robôs reduz a necessidade de trabalho humano em áreas de risco, além de possibilitar uma frequência de limpeza mais adequada às necessidades dos sistemas. Com isso, os robôs de limpeza emergem como uma inovação estratégica que promove a viabilidade técnica e econômica dos sistemas solares, especialmente em empreendimentos de grande escala e em ambientes desafiadores.

Este trabalho, teve como objetivo analisar a eficácia e a sustentabilidade da utilização de robôs de limpeza em sistemas solares fotovoltaicos, considerando seus impactos na eficiência energética e na viabilidade operacional, tentando identificar as principais tecnologias e funcionalidades dos robôs de limpeza disponíveis no mercado para sistemas fotovoltaicos, avaliar o impacto da utilização de robôs de limpeza na eficiência energética das placas solares em diferentes condições ambientais e, também, investigar os principais desafios e barreiras para a implementação de robôs de limpeza em larga escala em usinas solares e instalações residenciais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1. A ENERGIA SOLAR

A energia solar é uma forma de energia renovável que é obtida a partir da luz do sol e transformada em energia elétrica. Essa energia pode ser utilizada para diversas finalidades, como para iluminar casas e edifícios, aquecer água, fornece energia para equipamentos eletrônicos e muito mais. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), a energia solar fotovoltaica é a fonte de energia que mais cresce no mundo, com um aumento médio anual de capacidade instalada de 42% entre 2010 e 2020.

Os sistemas de energia solar podem ser divididos em dois tipos principais: sistemas de aquecimento solar e sistemas fotovoltaicos. Os sistemas de aquecimento solar utilizam a energia do sol para aquecer água, enquanto os sistemas fotovoltaicos convertem diretamente a energia solar em eletricidade.

A energia solar é uma fonte de energia limpa e renovável, o que significa que ela não emite gases de efeito estufa ou outros poluentes atmosféricos que contribuem para a mudança climática. Além disso, a energia solar é uma fonte de energia abundante, especialmente em países próximos à linha do Equador, onde a incidência de luz solar é maior (IEA, 2021).

O Brasil tem um grande porte para produção e transmissão de energia elétrica, sendo este o Sistema Interligado Nacional (SIN). Esse sistema é coordenado e controlado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), sendo que é fiscalizado e regulado pela Agência Nacional da Energia Elétrica (ANEEL). A estrutura do SIN é constituída por quatro sistemas, a região do sul, sudeste, centro oeste, nordeste e parte da região norte, e.g. Amazonas, Roraima e Acre, pois uma parte ainda não está interligada ao sistema do SIN. A monitoria realizada pelo ONS no SIN visa verificar a demanda de energia das regiões, com análise desses dados, pode-se observar quais são as centrais geradoras que devem ser ligadas ou desligadas, além disso é possível realizar o controle do fluxo de energia. A

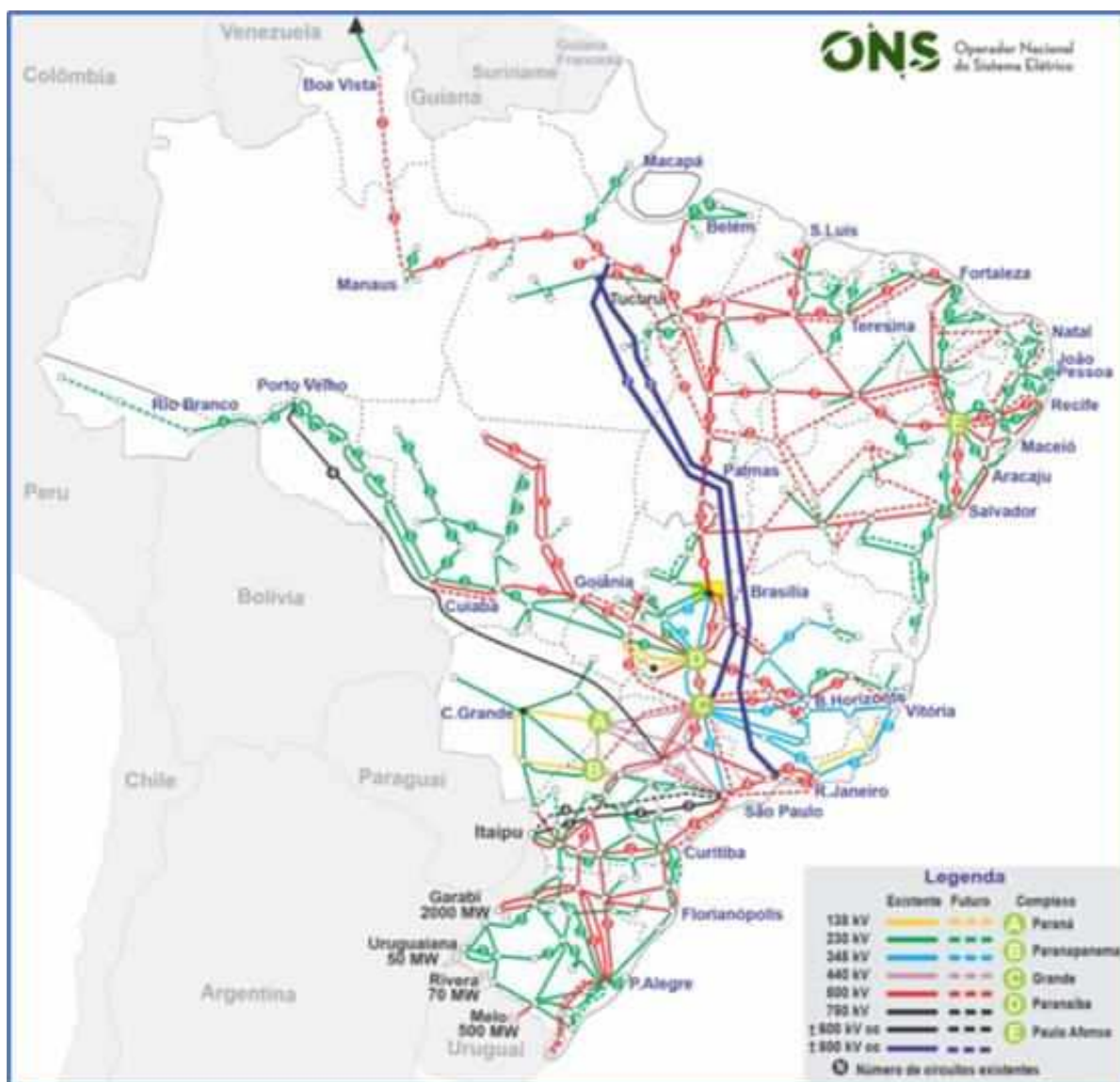


Figura 1 – Sistema interligado nacional (SIN).

A energia gerada pelo sol, é inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz. A utilização da energia solar é uma das alternativas energéticas mais promissoras e consiste em características que promovem soluções para os desafios do novo milênio, e.g., a utilização da energia solar em energia elétrica por meio dos módulos fotovoltaicos. Cabe salientar que o sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia, i.e., as fontes de energia encontradas no planeta Terra são em última instância derivadas da energia do sol, e.g., petróleo, carvão e gás natural, são oriundas de resíduos de plantas e animais que inicialmente se caracterizaram através da radiação solar e obtiveram energia necessária para o seu desenvolvimento (CRESESB, 2012).

A energia que emana do sol pode ser reaproveitada de duas formas: Energia térmica e Energia fotovoltaica. Na produção de energia solar térmica, um corpo absorve uma quantidade de energia em forma de calor proveniente da radiação solar incidente sobre o mesmo. A produção de energia solar fotovoltaica ocorre através da conversão direta dos fótons de luz em eletricidade pelo impacto dos módulos fotovoltaico que acontece por um processo bioquímico (PEREIRA, 2017).

2.1.1 Radiação solar

O sol produz anualmente para a atmosfera terrestre $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia, que corresponde a 10.000 vezes o consumo de energia da população mundial durante este período. Além de ser responsável pela preservação da vida na Terra, é a geradora de muitas fontes energéticas (CRESESB, 2012). A disponibilidade de radiação solar, também conhecida como energia total incidente na superfície da Terra, depende não apenas das condições atmosféricas, mas também da latitude, estação do ano, hora do dia, condições do céu (RIBEIRO, 2016, p.19).

A radiação solar é a energia emitida pelo Sol e que se propaga pelo espaço em forma de ondas eletromagnéticas. Essa radiação é composta por diferentes comprimentos de onda, que correspondem a diferentes tipos de radiação, como a luz visível, o infravermelho e os raios ultravioleta.

Os fatores ligados à radiação solar e afetam diretamente a vida na terra são:

- Irradiação solar: é a quantidade de energia radiante que incide em uma superfície por unidade de tempo e área. É medida em watts por metro quadrado (W/m^2).
- Ângulo de incidência: é o ângulo formado entre os raios solares e a normal (perpendicular) à superfície de recepção da radiação solar. O ângulo de incidência varia ao longo do dia e ao longo do ano, devido à posição do Sol no céu.
- Reflexão: é a porcentagem da radiação solar que é refletida pela superfície de recepção. Superfícies claras tendem a refletir mais radiação solar do que superfícies escuras.
- Absorção: é a porcentagem da radiação solar que é absorvida pela superfície de recepção. Superfícies escuras tendem a absorver mais radiação solar do que superfícies claras.
- Transmissão: é a porcentagem da radiação solar que atravessa a superfície de recepção. É importante considerar a transmissão ao projetar sistemas de captação de energia solar, como painéis solares.

O Brasil é um país que se encontra muito próximo à linha do Equador, com uma região Norte em destaque no seu eixo, no qual, está posicionado entre as linhas do Trópico de Câncer e do Trópico de Capricórnio, consideradas linhas tropicais, como pode ser analisado através da Figura 8, de maneira que é visto, o país, como umas das regiões que possui radiação solar com uniformidade, logo, as proporções para a produção desses raios solares durante o ano são duradouras por se encontrar nesta localidade (POLON, 2020).

Assim a proposta de investimentos em energia solar é vantajosa, pois os prejuízos são baixos, visto que, a energia fotovoltaica depende unicamente do sol para realizar a geração de energia elétrica. “A média anual de irradiação solar global no Brasil oferece uma boa uniformidade, com níveis nacionais de irradiância solar global muito maiores que os de países

que usam da tecnologia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica em grande escala, como a Alemanha” (INEP, 2017).

O Quadro 1 mostra a capacidade Instalada de fontes renováveis, a observar que teve um aumento de 3,9%, em 2021 referente a 2020. As fontes que apresentaram maior destaque, foram a eólica e a solar, apesar da capacidade instalada de geração térmica tenha apresentado crescimento de 4,2%.

Quadro 1 – Capacidade de Fontes Instaladas, Brasil – 2020/2021

Fonte	2020	2021	Δ 21/20
Hidrelétrica	109.271	109.350	0,10%
Térmica ²	43.057	44.866	4,20%
Eólica	17.131	20.771	21,20%
Solar	3.287	4.632	40,90%
Nuclear	1.990	1.990	0,00%
Capacidade disponível	174.737	181.610	3,90%

Fonte: Adaptado de Balanço Energético Nacional BEN (2022).

O aproveitamento da energia emanada pelo Sol, naturalmente inesgotável na escala de tempo, tanto como fonte calorífera quanto de luz, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios deste novo milênio (Marques, Fernando, 2019). É pela energia solar que temos o efeito da evaporação, dando origem ao ciclo das águas, que possibilita o represamento e a consequente geração de eletricidade (hidroeletricidade). A luz solar é utilizada nos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem tanto na superfície quanto na atmosfera.

O combate ao aquecimento global também está mudando o modo de pensar e agir das pessoas em todo mundo, que vem passando por uma reconfiguração orientada por uma economia de baixo carbono. A luz solar também proporciona a circulação atmosférica em larga escala, originando os ventos. Se analisarmos a história humana, veremos que o petróleo, carvão ou gás natural transformaram-se em opção energética a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, advinda da radiação solar.

Após a profunda crise do petróleo na década de 1970, tivemos um forte incentivo pela busca por fontes renováveis de energia para assim termos uma menor dependência de recursos finitos na natureza, sobretudo aqui no Brasil. Desde que o petróleo foi descoberto no final do século XIX, vem sendo consumido pela sociedade de uma forma abundante, principalmente na

esfera industrial e de consumo, como uma das principais fontes de energia. A busca por uma alternativa energética surge então como sendo um desafio a todos e justamente a energia solar, tema deste trabalho, passa a ser vista e avaliada como sendo uma opção para esta procura e será o objetivo geral desta pesquisa.

Essa tecnologia de obter-se energia mediante a captação e transformação de um meio absolutamente natural é ainda mais interessante quando analisada sob o ponto de vista das pessoas que residem no campo, local onde as dificuldades são ainda maiores por serem estes locais muitas vezes distantes ou fora dos centros de distribuição comercial de energia elétrica usual via cabos. Também sob a ótica da viabilidade economia que a energia solar propicia, muitas empresas ou até mesmo consumidores residenciais passam a ver com bons olhos este processo.

Esta mobilização adquire papel fundamental para atender as necessidades humanas sem comprometer as gerações futuras pois a energia solar não é uma fonte renovável de energia, mas sim uma fonte inesgotável de obtenção de energia.

A publicação feita pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Atlas Brasileiro de Energia Solar 2ª edição, 2017) mostra que o Brasil possui um grande potencial onde até mesmo no local menos ensolarado do Brasil é viável implantar sistemas de energia solar fotovoltaica. Ao longo do século, uma especial atenção de forma crescente está sendo dada ao estudo das possibilidades do aproveitamento pleno ou eficaz da energia solar, mas isto requer um conhecimento profundo e detalhado de quanta energia está realmente disponível e como ela se apresenta, ou seja, em que frequências e comprimentos de ondas podem ser utilizadas. Em muitos países houve incentivo governamental a fim de diversificar a matriz energética, e em linhas gerais houve aumento massivo dos sistemas conectados à rede. No Brasil, é previsto que o consumo de energia elétrica triplique até 2050 (EPE, 2014).

A tecnologia de células fotovoltaicas é vista como uma tecnologia de um futuro nada distante, natural e inesgotável, visto que se utiliza a radiação emitida pelo Sol, e esta pode ser convertida diretamente em eletricidade utilizando-se das tecnologias de células fotovoltaicas. Esta transformação de energia possui como vantagem a possibilidade de poder ser operacionalizada em todas as regiões do planeta, operar de forma absolutamente silenciosa e possuir durabilidade de 25 anos.

Este mercado alternativo da utilização de energia oriunda de células fotovoltaicas, em termos gerais é ainda uma fração do que poderia ser, sendo que existe uma parcela significativa da população mundial, cerca de 1 bilhão de habitantes ou aproximadamente 8% da população mundial atual, localizadas principalmente nas áreas rurais, que não têm acesso a eletricidade via cabos. O objetivo específico aqui nesta pesquisa é promover-se a sustentabilidade energética

mediante a obtenção da energia elétrica unicamente pela tecnologia da célula fotovoltaica. Os avanços relacionados à eficiência de conversão e custos de materiais, e ainda o conhecimento adquirido pela teoria física das células têm impulsionado a pesquisa de utilização de células solares produzidas com materiais diferentes e com maior poder de eficiência energética. Analisar as opções mais adequadas para conhecermos esta modalidade de obtenção energética é o principal foco e justificativa desta pesquisa.

2.2 PLACAS SOLARES E SUA LIMPEZA

As placas solares são os principais componentes dos sistemas fotovoltaicos e são responsáveis por converter a energia solar em energia elétrica. As placas solares são compostas por células fotovoltaicas que convertem a luz solar em eletricidade através do efeito fotovoltaico (IEA-PVPS, 2020).

A eficiência das placas solares é afetada por diversos fatores, incluindo a sujeira acumulada na superfície das placas. A sujeira pode reduzir a quantidade de luz solar que chega às células fotovoltaicas, diminuindo a quantidade de energia elétrica produzida pelas placas. Portanto, a limpeza das placas solares é importante para manter sua eficiência e maximizar a produção de energia elétrica (Bilal et al., 2020).

A limpeza das placas solares pode ser realizada de diversas maneiras, incluindo a utilização de água e detergentes suaves, escovas especiais e equipamentos de limpeza automatizados. É importante lembrar que a limpeza das placas solares deve ser realizada com cuidado para evitar danos às placas e garantir a segurança dos trabalhadores que realizam a limpeza. (Além disso, a frequência da limpeza das placas solares depende das condições locais, como o clima, a poluição e a presença de poeira e detritos na área. Em regiões com baixa incidência de chuva, a limpeza das placas solares deve ser realizada com mais frequência do que em regiões com alto índice de precipitação (Bilal et al., 2020).

Existem diferentes métodos de limpeza de placas solares, que variam de acordo com a técnica e equipamento utilizados. Os métodos de limpeza mais comuns são: a limpeza manual, a limpeza com jatos de água, a limpeza com equipamentos automatizados e a limpeza com sistemas autolimpantes (Bilal et al., 2020).

A limpeza manual é realizada com o uso de escovas macias e produtos de limpeza especiais. Esse método é adequado para pequenas instalações e em situações em que a sujeira acumulada é de fácil acesso. No entanto, a limpeza manual pode ser ineficiente em grandes instalações, pois é um processo demorado e requer mão de obra especializada. A limpeza com jatos de água é realizada com o uso de equipamentos que pressurizam a água e a direcionam para a superfície das placas solares. Esse método é eficiente na remoção de sujeira pesada, como

lama e detritos, e é adequado para grandes instalações. No entanto, a limpeza com jatos de água pode ser prejudicial para as placas solares se a pressão da água for muito alta (Bilal et al., 2020).

A limpeza com equipamentos automatizados é realizada com o uso de robôs e outros dispositivos automatizados. Esse método é eficiente na limpeza de grandes instalações, pois é um processo rápido e não requer mão de obra especializada. No entanto, a utilização de equipamentos automatizados pode ser cara e nem sempre é viável em áreas remotas.

A limpeza com sistemas autolimpantes é realizada com o uso de revestimentos especiais que ajudam a repelir a sujeira. Esse método é adequado para instalações em áreas com altos níveis de poluição e poeira e reduz a necessidade de limpeza manual ou com jatos de água. No entanto, os sistemas autolimpantes podem ser caros e sua eficácia depende das condições ambientais (Bilal et al., 2020). É importante ressaltar que a escolha do método de limpeza deve ser baseada nas condições locais, no tamanho e tipo de instalação e nas características das placas solares.

A limpeza de placas solares é uma questão crucial para a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, pois a acumulação de sujeira e poeira pode reduzir significativamente a capacidade de geração de energia. Oliveira e Soares et al (2022), relatam que a presença de partículas na superfície das placas solares atua como uma barreira que diminui a captação de luz solar, resultando em uma menor conversão de energia solar em elétrica. Nesse contexto, a manutenção e a limpeza adequadas das placas tornam-se essenciais para assegurar que os sistemas fotovoltaicos operem com eficiência próxima ao seu potencial máximo.

Com o crescimento da energia solar como fonte alternativa e sustentável, os estudos focados na limpeza automatizada dos sistemas fotovoltaicos têm se expandido, conforme apontam Junior et al. (2024). Esses autores observam que, em locais com alta incidência de poeira ou resíduos, como zonas urbanas e regiões desérticas, a sujeira se torna um desafio constante para a produção de energia solar. A implantação de sistemas de limpeza automatizada visa justamente mitigar esse impacto, garantindo que a sujeira não se torne um fator limitante para a geração de energia.

A implementação de tecnologias de limpeza automatizada para placas solares é uma proposta que visa otimizar a eficiência desses sistemas, como sugerem Costa et al. (2024). Os autores destacam a criação de robôs de limpeza, projetados para operar de maneira autônoma, sem a necessidade de intervenção humana constante. Essa abordagem não apenas contribui para a manutenção da eficiência, mas também reduz os custos de operação a longo prazo, dado que a necessidade de limpeza manual é eliminada ou minimizada, resultando em maior segurança e sustentabilidade para o processo de manutenção.

Além da questão da eficiência, a sujeira das placas solares pode levar a problemas técnicos, como o aumento da temperatura das células fotovoltaicas, afetando sua durabilidade, conforme discutido por Da Silva et al. (2023). Esses autores apontam que a presença de poeira e outros resíduos na superfície dos painéis causa um efeito conhecido como "hot spots", onde determinadas áreas das células aquecem excessivamente devido à obstrução da luz. A longo prazo, isso pode levar à degradação das células solares, impactando negativamente a vida útil dos módulos.

Moura (2020) argumenta que um sistema automatizado que combine limpeza e arrefecimento das placas fotovoltaicas pode ser uma solução eficaz para lidar com o problema do aquecimento e garantir a eficiência energética. Sistemas que utilizam água ou outros métodos de resfriamento, juntamente com a limpeza, são capazes de reduzir a temperatura das células durante o processo de remoção de poeira. Esse tipo de solução se mostra especialmente útil em regiões com altas temperaturas, onde a exposição solar intensa pode exacerbar o problema de aquecimento.

Oliveira e Soares (2022) et al. Salientam que métodos de limpeza manuais frequentemente consomem grandes quantidades de água, o que pode não ser viável em regiões áridas. Em contrapartida, os dispositivos automatizados são projetados para serem mais eficientes no uso de água, proporcionando uma solução que atende aos princípios de sustentabilidade ambiental e reduz o impacto sobre os recursos naturais.

Além de contribuir para a economia de água, os sistemas de limpeza automatizada para placas solares permitem uma frequência de manutenção mais elevada, como sugerido por Junior et al. (2024), a possibilidade de realizar limpezas regulares, sem a necessidade de interromper o funcionamento dos sistemas fotovoltaicos, maximiza a geração de energia ao longo do ano. Esse aspecto é particularmente relevante em instalações de grande escala, onde a limpeza manual seria demorada e dispendiosa.

Costa et al. (2024) também destacam a importância da automação como uma forma de garantir a segurança dos trabalhadores envolvidos na manutenção das placas solares. Em grandes usinas fotovoltaicas, o acesso às placas, muitas vezes localizadas em posições elevadas ou em áreas remotas, pode representar riscos significativos. Com a automação da limpeza, reduz-se a necessidade de intervenção humana em ambientes potencialmente perigosos, aumentando a segurança geral das operações.

No que se refere à viabilidade econômica, Da Silva et al. (2023) discutem que os custos iniciais de implementação de sistemas automatizados de limpeza podem ser elevados, mas os benefícios a longo prazo justificam o investimento. A redução nos custos operacionais e a manutenção da eficiência das placas solares resultam em maior rentabilidade para os sistemas

fotovoltaicos ao longo de sua vida útil. Assim, a implementação desses sistemas é apresentada como uma medida estratégica que favorece a sustentabilidade financeira e ambiental dos empreendimentos de energia solar.

Por fim, Moura (2020) enfatiza que o desenvolvimento de tecnologias de limpeza automatizada representa um avanço importante para o setor de energia solar. Com o aumento da demanda por fontes de energia renováveis e sustentáveis, soluções que ampliem a eficiência e a durabilidade dos sistemas fotovoltaicos são fundamentais para o sucesso da transição energética. Dessa forma, os sistemas de limpeza e arrefecimento automatizados surgem como ferramentas essenciais para otimizar o desempenho dos sistemas solares, contribuindo para a consolidação da energia solar como uma alternativa viável e eficiente.

2.3 FATORES QUE MOTIVAM A FREQUÊNCIA DE LIMPEZA DE PLACAS SOLARES

O tipo de sujeira acumulada também pode influenciar a frequência de limpeza de placas solares. Por exemplo, a presença de detritos, como folhas e galhos, pode exigir limpezas mais frequentes, pois podem bloquear a luz do sol e reduzir a eficiência da geração de energia. Já a presença de poeira e poluição, embora menos obstrutivas, podem ser mais difíceis de remover e, portanto, podem exigir limpezas mais frequentes.

O tipo de instalação também pode influenciar a frequência de limpeza de placas solares. Em instalações localizadas em áreas remotas, a limpeza manual ou com jatos de água pode ser a única opção viável, o que pode limitar a frequência de limpeza. Já em instalações em áreas urbanas, onde a poluição é mais comum, a limpeza pode ser necessária com mais frequência (Bilal et al., 2020).

Por fim, as normas regulatórias também podem influenciar a frequência de limpeza de placas solares. Em alguns países, as instalações de energia solar são obrigadas a seguir padrões de limpeza específicos, o que pode exigir limpezas mais frequentes do que o necessário. Em resumo, a frequência de limpeza de placas solares é influenciada por vários fatores, incluindo localização geográfica, condições climáticas, tipo de sujeira, tipo de instalação e normas regulatórias. É importante considerar todos esses fatores ao determinar a frequência de limpeza mais adequada para uma determinada instalação de energia solar. A frequência de limpeza de placas solares pode variar dependendo de vários fatores, como a localização geográfica, as condições climáticas, o tipo de sujeira, o tipo de instalação e as normas regulatórias (Bilal et al., 2020).

Um dos principais fatores que influenciam a frequência de limpeza de placas solares é a localização geográfica da instalação. Em áreas com altos níveis de poluição e poeira, as placas solares tendem a acumular mais sujeira e, portanto, podem precisar ser limpas com mais frequência do que em áreas com baixos níveis de poluição.

As condições climáticas também podem influenciar a frequência de limpeza de placas solares. Em áreas com baixa precipitação, a sujeira tende a se acumular mais nas placas solares e, portanto, a limpeza pode ser necessária com mais frequência do que em áreas com alta precipitação (Bilal et al., 2020).

O tipo de sujeira acumulada também pode influenciar a frequência de limpeza de placas solares. Por exemplo, a presença de detritos, como folhas e galhos, pode exigir limpezas mais frequentes, pois podem bloquear a luz do sol e reduzir a eficiência da geração de energia. Já a presença de poeira e poluição, embora menos obstrutivas, podem ser mais difíceis de remover e, portanto, podem exigir limpezas mais frequentes.

O tipo de instalação também pode influenciar a frequência de limpeza de placas solares. Em instalações localizadas em áreas remotas, a limpeza manual ou com jatos de água pode ser a única opção viável, o que pode limitar a frequência de limpeza. Já em instalações em áreas urbanas, onde a poluição é mais comum, a limpeza pode ser necessária com mais frequência (Bilal et al., 2020).

Por fim, as normas regulatórias também podem influenciar a frequência de limpeza de placas solares. Em alguns países, as instalações de energia solar são obrigadas a seguir padrões de limpeza específicos, o que pode exigir limpezas mais frequentes do que o necessário.

A frequência de limpeza das placas solares é influenciada por uma série de fatores ambientais, técnicos e operacionais que afetam diretamente a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Segundo Valente, Oliveira e Soares (2022), a acumulação de partículas na superfície das placas, como poeira, fuligem, poluentes e materiais orgânicos, representa uma barreira significativa à captação de luz solar. Esse acúmulo varia em função do ambiente onde o sistema está instalado, e áreas com alta incidência de poeira ou próximas a áreas industriais exigem maior frequência de limpeza para que o sistema mantenha seu nível ideal de eficiência. A presença de poluentes atmosféricos, em particular, contribui para uma camada de sujeira mais densa e aderente, tornando a limpeza mais desafiadora e necessária em intervalos menores.

O tipo de região e o clima local são fatores preponderantes na determinação da frequência de limpeza. Junior et al. (2024) argumentam que regiões áridas, onde a chuva é escassa, estão mais suscetíveis à formação de uma camada espessa de poeira sobre as placas, dado que a precipitação natural desempenha um papel importante na remoção de sujeira em regiões mais úmidas. Em contrapartida, locais com altos índices pluviométricos podem ter

menor necessidade de limpezas frequentes, uma vez que a água da chuva tende a remover as partículas de poeira. No entanto, regiões costeiras enfrentam o desafio adicional do acúmulo de sal nas placas solares, o que exige uma manutenção constante para evitar que o sal cause corrosão ou reduza a captação de luz solar.

Além das condições ambientais, o tipo de instalação fotovoltaica também influencia a frequência de limpeza. Sistemas montados em superfícies inclinadas tendem a acumular menos sujeira do que os instalados em superfícies planas, conforme observado por Costa et al. (2024). Em sistemas inclinados, a gravidade contribui para a remoção natural de poeira e resíduos, especialmente durante eventos de chuva. Por outro lado, em sistemas fotovoltaicos planos ou em locais protegidos de chuvas, a acumulação é mais uniforme e persistente, exigindo intervalos de limpeza mais curtos para manter a eficiência do sistema.

Da Silva et al. (2023) destacam ainda a influência da atividade humana nas proximidades das instalações solares. Em áreas urbanas, a poluição do ar gerada por veículos e indústrias pode intensificar a necessidade de limpezas frequentes, enquanto em áreas agrícolas, o pó levantado por máquinas e atividades de cultivo tende a se depositar rapidamente nas placas solares. Esses fatores reforçam a necessidade de um planejamento de limpeza que leve em consideração o tipo de uso do solo ao redor das instalações solares, ajustando a frequência de manutenção com base nas características e atividades locais.

Outro fator importante que interfere na frequência de limpeza é o custo operacional. Moura (2020) ressalta que a limpeza manual periódica pode ser onerosa em grandes usinas solares e, por isso, alternativas automatizadas têm sido estudadas para otimizar a frequência e reduzir os custos. O desenvolvimento de robôs de limpeza, que atuam automaticamente e de forma regular, permite uma manutenção constante sem a necessidade de altos investimentos em mão de obra ou de interromper o funcionamento das instalações. Dessa forma, a automação da limpeza se apresenta como uma alternativa econômica que pode determinar uma frequência ideal, ajustada conforme o acúmulo de sujeira, sem sobrecarregar o orçamento.

A presença de recursos naturais limitados, como água em regiões áridas, também impacta a frequência e os métodos de limpeza. Valente, Oliveira e Soares (2022) observam que, em locais onde a água é escassa, a limpeza com o mínimo consumo de água torna-se uma prioridade. A utilização de dispositivos e técnicas que empregam métodos secos ou que reutilizam a água empregada na limpeza inicial pode ser uma solução viável para assegurar a manutenção das placas solares sem comprometer os recursos hídricos locais. Em regiões onde a sustentabilidade é uma preocupação, a frequência de limpeza pode ser ajustada de modo a equilibrar a necessidade de manutenção com a preservação dos recursos naturais.

Por fim, o avanço da tecnologia e o desenvolvimento de novos materiais para as superfícies das placas solares podem influenciar diretamente a necessidade de limpeza frequente. Junior et al. (2024) indicam que materiais mais resistentes e com propriedades autolimpantes estão sendo desenvolvidos para minimizar a aderência de sujeira e reduzir a frequência de manutenção. Esses materiais visam prolongar os intervalos entre as limpezas, pois facilitam a remoção natural dos resíduos por fatores ambientais, como o vento e a chuva. A inovação na fabricação de superfícies fotovoltaicas, portanto, apresenta-se como uma solução que pode reduzir a necessidade de intervenções constantes e otimizar a operação dos sistemas solares.

Em resumo, a frequência de limpeza das placas solares depende de uma série de fatores inter-relacionados, incluindo a localização geográfica, o tipo de instalação, o impacto das atividades humanas locais, os custos de operação e o desenvolvimento tecnológico. A consideração desses elementos é essencial para garantir que as práticas de manutenção sejam sustentáveis, eficientes e ajustadas às características de cada instalação, conforme os estudos indicam (Valente et al., 2022; Costa et al., 2024; Moura, 2020). Dessa forma, o planejamento de limpeza deve ser personalizado para cada sistema fotovoltaico, visando maximizar a eficiência energética e prolongar a vida útil dos equipamentos.

A limpeza eficaz de placas solares é facilitada por diversas tecnologias que ajudam a remover a sujeira e maximizar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Abaixo estão algumas das principais tecnologias que tornam a limpeza mais prática e eficiente, referenciando os autores solicitados:

Uma das tecnologias mais avançadas para a limpeza de placas solares é o uso de robôs automatizados, que conseguem se mover sobre a superfície das placas, removendo poeira e resíduos de forma programada e sem intervenção humana. Costa et al. (2024) destacam que esses robôs são especialmente úteis em instalações de grande escala, onde a limpeza manual é trabalhosa e onerosa. Os robôs podem ser configurados para realizar a limpeza em horários regulares ou conforme a detecção de sujeira, permitindo uma manutenção constante e reduzindo o impacto da sujeira na eficiência dos painéis.

Em locais onde o uso de água é limitado, sistemas de limpeza a seco são uma solução viável e sustentável. Valente, Oliveira e Soares (2022) mencionam que esses sistemas usam escovas rotativas ou ar comprimido para remover poeira sem necessidade de água. A limpeza a seco é vantajosa em regiões áridas e em instalações onde a sustentabilidade dos recursos hídricos é uma prioridade, mantendo a eficiência das placas sem desperdício de água.

Para áreas onde a água é disponível, mas deve ser usada com moderação, sistemas de aspersão que reciclam a água utilizada na limpeza são uma alternativa sustentável. Segundo

Moura (2020), esses sistemas são instalados nas proximidades dos painéis e borrifam água periodicamente para remover sujeira. A água utilizada é recolhida, filtrada e reaproveitada, o que reduz o consumo total e minimiza o impacto ambiental. Esse tipo de sistema é especialmente útil em áreas onde a sujeira é intensa e a água escassa.

Sistemas que combinam limpeza e arrefecimento ajudam a reduzir a temperatura dos painéis enquanto removem sujeira. Da Silva et al. (2023) destacam que esses sistemas utilizam aspersores que borrifam uma fina camada de água sobre os painéis, não apenas limpando, mas também resfriando as células fotovoltaicas. O arrefecimento reduz o efeito dos "hot spots", que são áreas de superaquecimento, prolongando a vida útil das placas e mantendo a eficiência energética.

Uma solução de alta tecnologia que está sendo desenvolvida é o uso de materiais autolimpantes na superfície dos painéis. Junior et al. (2024) mencionam que esses materiais são revestidos com substâncias que impedem a aderência da poeira, facilitando a remoção natural por vento e chuva. A aplicação de nanorrevestimentos hidrofóbicos, por exemplo, impede que a água e a poeira se acumulem na superfície, reduzindo a necessidade de limpeza frequente e prolongando o tempo entre as intervenções de manutenção.

A utilização de sensores para monitorar o nível de sujeira acumulada é uma tecnologia inovadora que permite a automação das atividades de limpeza. Costa et al. (2024) indicam que esses sensores detectam quando a sujeira atinge um nível que compromete a eficiência do sistema e acionam automaticamente a limpeza. Esse sistema garante que a limpeza seja realizada somente quando necessário, otimizando os recursos e garantindo uma operação eficiente dos sistemas solares.

Em usinas solares de grande extensão ou áreas de difícil acesso, drones equipados com aspersores são uma tecnologia promissora para limpeza de painéis solares. Moura (2020) observa que os drones podem ser programados para sobrevoar as instalações, pulverizando água ou agentes de limpeza em áreas específicas, o que facilita a limpeza em locais elevados e em instalações espalhadas por terrenos amplos. Essa abordagem é vantajosa para usinas solares de grande escala e para instalações remotas, onde a logística para manutenção é mais complexa.

Outra tecnologia emergente para reduzir a necessidade de limpeza frequente é o uso de revestimentos fotocatalíticos que, em contato com a luz solar, promovem a decomposição de poluentes orgânicos na superfície das placas. Segundo Valente, Oliveira e Soares (2022), esses revestimentos, além de serem antiaderentes, utilizam uma reação química que degrada a sujeira sob a exposição solar, mantendo a superfície limpa por mais tempo. Isso reduz significativamente a frequência de manutenção e promove uma limpeza quase autônoma.

3 METODOLOGIA

Este estudo caracterizou-se como uma pesquisa qualitativa de natureza descritiva, com o objetivo de analisar os fatores que influenciam a frequência de limpeza de placas solares e as tecnologias que tornam esse processo eficaz. Para fundamentar teoricamente a pesquisa, foi realizado um levantamento bibliográfico em repositórios acadêmicos reconhecidos, como Scielo, IEEE Xplore e Google Acadêmico, priorizando estudos publicados entre 2020 e 2023. Essa delimitação temporal visou assegurar a atualidade das informações e contemplar os avanços recentes no campo da energia solar fotovoltaica.

A revisão da literatura concentrou-se em identificar pesquisas relevantes que abordassem a temática da limpeza de placas solares, enfatizando estudos que discutissem os fatores ambientais, técnicos e operacionais que afetam a necessidade de manutenção, bem como as tecnologias inovadoras empregadas para otimizar esse processo. Foram selecionados artigos de autores que contribuíram significativamente para a compreensão do tema, incluindo propostas de dispositivos de limpeza automatizados e análises do impacto da sujeira na eficiência dos sistemas fotovoltaicos.

A abordagem metodológica adotada foi qualitativa, permitindo uma análise aprofundada e interpretativa dos dados obtidos na literatura. O estudo descritivo buscou explorar as características e nuances relacionadas aos fatores que influenciam a frequência de limpeza, tais como condições climáticas, localização geográfica, tipo de instalação e avanços tecnológicos. Além disso, foram examinadas as diferentes tecnologias disponíveis para a limpeza de placas solares, avaliando sua eficácia e aplicabilidade em diversos contextos.

O processo metodológico envolveu várias etapas:

1. Definição da problemática e objetivos: Inicialmente, foram definidos o problema de pesquisa e os objetivos específicos, direcionando o foco do estudo para a compreensão dos fatores que afetam a necessidade de limpeza e as soluções tecnológicas disponíveis.
2. Busca sistemática da literatura: Utilizando palavras-chave como "*limpeza de placas solares*", "*sistemas fotovoltaicos*", "*eficiência energética*", "*tecnologias de limpeza*" e "*manutenção de painéis solares*", realizou-se uma busca abrangente em repositórios acadêmicos. Os critérios de inclusão consideraram estudos publicados entre 2020 e 2023, em português ou inglês, que abordassem diretamente os temas de interesse.
3. Seleção e análise dos artigos: Após a coleta inicial, os artigos foram avaliados quanto à relevância e qualidade metodológica. Em seguida, foi realizada a leitura analítica e crítica dos materiais selecionados, identificando os principais conceitos, resultados e discussões apresentados pelos autores.

4. Síntese e interpretação dos dados: Com base nas informações extraídas, procedeu-se à síntese dos dados, relacionando os diferentes fatores e tecnologias discutidos na literatura. A interpretação foi realizada de forma contextualizada, considerando as particularidades e complexidades inerentes ao tema.

A classificação do estudo como descritivo e qualitativo justifica-se pela natureza exploratória da pesquisa, que visou compreender e descrever os fenômenos relacionados à manutenção de placas solares sem a intenção de quantificar ou testar hipóteses. Essa abordagem permitiu captar as percepções, insights e experiências relatadas nos estudos analisados, proporcionando uma visão aprofundada sobre o assunto.

Em síntese, a metodologia adotada possibilitou uma compreensão abrangente dos fatores que influenciam a frequência de limpeza de placas solares e das tecnologias que contribuem para a eficácia desse processo. Os achados oferecem insights valiosos para pesquisadores, profissionais da área e demais interessados no aprimoramento dos sistemas fotovoltaicos, contribuindo para o avanço das práticas de manutenção e eficiência energética no setor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução das tecnologias de robôs autônomos para a limpeza de placas solares tem proporcionado avanços significativos na eficiência e sustentabilidade dos sistemas fotovoltaicos. Esses dispositivos são projetados para operar em diferentes contextos, adaptando-se às necessidades específicas das instalações, seja em grandes usinas solares, em edifícios comerciais ou em residências. Dada a variedade de ambientes em que são utilizados, esses robôs integram componentes avançados, como sensores, escovas motorizadas e sistemas de navegação inteligente, que permitem a execução de tarefas de limpeza de forma autônoma e eficiente. De acordo com Costa et al. (2024), a demanda por dispositivos que garantam a eficiência constante dos sistemas solares sem a necessidade de intervenção humana impulsionou o desenvolvimento de robôs capazes de operar em diferentes condições ambientais, oferecendo uma solução prática e inovadora para a manutenção das placas solares.

Entre as abordagens tecnológicas adotadas, os sistemas de limpeza a seco ganharam destaque, especialmente em áreas com escassez de água. Esses robôs utilizam escovas motorizadas, ar comprimido ou outras técnicas de remoção de poeira sem a necessidade de água, reduzindo o impacto ambiental e economizando recursos hídricos. Segundo Fan et al. (2022), a aplicação de sistemas de limpeza a seco em áreas desérticas é altamente benéfica, pois evita o uso excessivo de água em regiões onde este recurso é limitado. Além disso, a limpeza a seco minimiza o acúmulo de sujeira e detritos que poderiam comprometer a absorção de luz solar, aumentando assim a eficiência energética dos painéis.

Outro avanço importante a se destacar na tecnologia dos robôs de limpeza para placas solares é o desenvolvimento de dispositivos movidos a energia solar, permitindo uma operação mais sustentável e autônoma. Kumar et al. (2020) evidenciam que esses robôs são projetados para aproveitar a própria energia solar gerada pelos painéis, tornando-se uma solução completamente integrada e autossuficiente. O uso de energia solar não apenas elimina a necessidade de recarga externa, mas também contribui para uma redução nos custos operacionais e no consumo de energia elétrica. Esse tipo de robô é ideal para instalações de grande escala, onde a logística de manutenção e recarga seria mais complexa.

A capacidade dos robôs de operar em diferentes tipos de superfícies e inclinações é outro aspecto fundamental na manutenção das placas solares. Antonelli et al. (2020) ressaltam que as condições de instalação, como o ângulo das placas e a presença de obstáculos, exigem robôs que sejam adaptáveis e capazes de se locomover com segurança por diferentes terrenos. Robôs projetados com tecnologia de tração em esteiras ou com rodas específicas para superfícies

inclinadas conseguem percorrer toda a extensão das placas, realizando uma limpeza uniforme e eficaz. Essa adaptabilidade torna esses robôs uma escolha viável tanto para grandes fazendas solares quanto para instalações em coberturas urbanas.

A incorporação de sensores de poeira e detecção de sujeira nos robôs é outra inovação que contribui para a eficácia da limpeza de placas solares. Com sensores, os robôs conseguem identificar áreas com maior concentração de sujeira e ajustar automaticamente a intensidade e a frequência da limpeza, conforme necessário. Essa capacidade é destacada por Martos (2024), que enfatiza a importância do sensoramento preciso para garantir que os robôs realizem a manutenção das placas de maneira eficaz, mesmo em condições de sujeira extrema. A aplicação de sensores permite um uso otimizado dos recursos de limpeza, promovendo uma manutenção mais econômica e personalizada.

Alguns modelos de robôs também integram sistemas de navegação e mapeamento avançados, como câmeras e tecnologia de visão computacional, para identificar obstáculos e evitar colisões durante a operação. Esses sistemas tornam os robôs mais seguros e autônomos, minimizando a necessidade de intervenção humana e reduzindo os riscos associados à operação. De Andrade et al. (2021) descrevem que esses robôs são programados para calcular a rota ideal de limpeza, cobrindo toda a área das placas solares sem interrupções ou falhas. Essa navegação inteligente melhora a eficiência e assegura que as placas estejam sempre livres de resíduos que poderiam comprometer sua eficiência energética.

A automação também permite que os robôs sejam programados para realizar limpezas em intervalos regulares ou conforme a necessidade identificada pelos sensores de poeira. Valente, Oliveira e Soares (2022) explicam que essa programação automática permite uma manutenção frequente e ajustada às condições ambientais, maximizando a eficiência dos sistemas solares e reduzindo os custos associados a limpezas manuais ou intervalos de manutenção prolongados. A limpeza automatizada é especialmente benéfica em regiões onde a incidência de poeira ou poluição é alta, garantindo que os painéis permaneçam operacionais em seu máximo potencial.

Além das tecnologias de navegação e sensoramento, alguns robôs de limpeza incorporam sistemas de inteligência artificial (IA) para aprimorar suas funções de limpeza. A IA permite que os robôs aprendam e adaptem suas estratégias de limpeza com base nas condições encontradas em cada operação, tornando-se mais eficientes a cada uso. Dornas et al. (2024) afirmam que a IA nos robôs de limpeza representa um avanço significativo, pois permite que os dispositivos ajustem automaticamente seus métodos e padrões de limpeza, dependendo da localização e do nível de sujeira. Isso resulta em uma operação mais inteligente e autônoma, aumentando a eficácia e a precisão da limpeza.

A modularidade dos robôs de limpeza é outra característica que favorece sua utilização em diferentes tipos de instalações. Robôs modulares podem ser ajustados ou adaptados para se adequarem a painéis de tamanhos e formatos variados, tornando-os versáteis e adequados para diferentes configurações de instalação. Costa et al. (2024) enfatizam que a modularidade é um fator importante para reduzir custos e aumentar a funcionalidade dos robôs, pois permite que um único modelo seja utilizado em várias instalações com configurações distintas, sem a necessidade de adquirir robôs especializados para cada tipo de painel.

A implementação de tecnologias de autolimpeza em alguns robôs também contribui para a sua eficiência. Esses robôs são capazes de realizar manutenção em si mesmos, removendo a sujeira acumulada em suas escovas e partes móveis, o que aumenta sua durabilidade e reduz a necessidade de paradas para manutenção. Segundo Amin et al. (2023), a autolimpeza permite que os robôs operem continuamente sem sofrer uma redução de desempenho devido ao acúmulo de resíduos em suas partes. Essa característica é especialmente útil em instalações de grande escala, onde o tempo de inatividade pode resultar em perdas significativas de produtividade.

Em áreas urbanas, onde o espaço e o acesso podem ser limitados, os robôs compactos e portáteis ganham destaque, pois podem ser facilmente transportados e instalados em telhados e fachadas de edifícios. Bertolotti (2020) menciona que esses robôs menores são ideais para instalações fotovoltaicas urbanas, onde o acesso é restrito e a limpeza manual é menos viável. Os robôs portáteis representam uma solução prática e eficiente para manter a limpeza e a eficiência dos painéis em áreas densamente povoadas.

A sustentabilidade dos robôs de limpeza também é um aspecto importante. Muitos modelos são projetados para utilizar o mínimo de energia possível e são equipados com sistemas de recarga solar, o que os torna uma opção ambientalmente amigável. Segundo Antonelli et al. (2020), a possibilidade de recarregar os robôs diretamente a partir da energia solar captada pelos próprios painéis oferece uma vantagem significativa em termos de sustentabilidade, permitindo uma operação autossuficiente e minimizando o impacto ambiental.

Em síntese, a evolução dos robôs de limpeza para placas solares trouxe uma variedade de tecnologias que aprimoram a manutenção, eficiência e sustentabilidade dos sistemas fotovoltaicos. Os avanços em sensores, inteligência artificial, autolimpeza e modularidade garantem que esses dispositivos possam atender a uma ampla gama de necessidades e ambientes. Essas inovações permitem uma manutenção mais frequente e eficiente, aumentando a vida útil dos sistemas solares e maximizando sua produtividade.

4.1 CUSTOS ENVOLVIDOS

A análise de custo-benefício de sistemas de limpeza automatizados para painéis solares revela uma série de vantagens econômicas e operacionais que tornam esses sistemas atraentes, especialmente para instalações em larga escala e ambientes com muita poeira. Robôs de limpeza automatizados, apesar dos custos iniciais de investimento, oferecem benefícios que incluem manutenção consistente, redução de despesas com mão de obra, produção de energia otimizada e vida útil estendida para painéis solares. No entanto, entender as considerações financeiras e práticas envolvidas é essencial para avaliar se os sistemas de limpeza automatizados oferecem retorno sobre o investimento (ROI) suficiente em comparação aos métodos tradicionais.

Os sistemas de limpeza automatizados normalmente exigem um desembolso de capital inicial substancial, especialmente para robôs avançados equipados com sensores, recursos de IA e adaptabilidade modular. Esse custo pode ser significativo, mas para fazendas solares maiores ou instalações industriais, a economia de longo prazo em mão de obra e manutenção pode compensar essa despesa. A limpeza manual tradicional geralmente incorre em custos contínuos de mão de obra e requer várias limpezas por ano, especialmente em ambientes com muita poeira. A automação reduz ou elimina esses custos recorrentes e, uma vez implantados, os robôs podem operar de forma autônoma sem intervenção humana regular, reduzindo, em última análise, as despesas gerais de manutenção.

O principal benefício financeiro dos sistemas de limpeza automatizados está na capacidade de manter o desempenho ideal dos painéis solares. O acúmulo de sujeira e poeira nos painéis solares pode reduzir a produção de energia em até 20-40%, dependendo da localização e das condições ambientais. Os sistemas automatizados garantem uma limpeza regular e eficaz que ajuda os painéis a operar com eficiência máxima. Esse desempenho consistente maximiza a produção de energia, que está diretamente ligada à geração de receita para operadores de fazendas solares. Para instalações em regiões desérticas ou áridas, onde o acúmulo de poeira é rápido e frequente, a capacidade de limpar painéis sob demanda se traduz em ganhos substanciais na produção de energia e lucratividade ao longo do tempo.

Com sistemas de limpeza automatizados, a manutenção do painel solar pode ser programada durante os horários de menor movimento ou à noite, o que minimiza a interrupção e reduz a necessidade de desligar os painéis durante o horário operacional. Robôs automatizados que realizam limpeza de rotina sem interromper o funcionamento do sistema fornecem uma vantagem significativa em termos de continuidade, permitindo geração de energia quase

ininterrupta. Isso pode ser particularmente valioso em fazendas solares de grande porte, onde o tempo de inatividade afeta diretamente a produção e a receita.

Em regiões com recursos hídricos limitados, sistemas automatizados que usam tecnologia de lavagem a seco ou empregam mecanismos de eficiência hídrica apresentam uma solução ambientalmente sustentável. Embora sistemas de limpeza à base de água possam aumentar os custos operacionais, muitos sistemas automatizados são projetados para minimizar o consumo de água ou até mesmo usar métodos de lavagem a seco, como visto em alguns robôs avançados. Ao conservar recursos hídricos, esses sistemas não apenas economizam em custos de água, mas também se alinham com metas de sustentabilidade, o que pode ser um requisito em certos ambientes regulatórios.

A limpeza automatizada também reduz a necessidade de trabalho manual em ambientes potencialmente perigosos, como grandes fazendas solares, telhados e instalações em áreas remotas ou de difícil acesso. A limpeza manual nesses ambientes geralmente requer equipamentos de segurança, treinamento especial e custos de viagem, que aumentam significativamente. Ao minimizar a necessidade de envolvimento humano, os sistemas automatizados reduzem o risco de acidentes e lesões relacionadas ao trabalho, aumentando a segurança operacional e reduzindo a responsabilidade das empresas. Isso, por sua vez, diminui os custos de seguro e os riscos trabalhistas associados.

Apesar desses benefícios, o alto custo inicial dos sistemas de limpeza automatizados pode ser proibitivo para instalações menores ou regiões onde o acúmulo de poeira é um problema menor. Para pequenas configurações de painéis solares, a limpeza manual pode continuar sendo uma solução mais econômica, pois o ROI da automação pode levar anos para se materializar. Além disso, nem todas as instalações se beneficiam igualmente da automação; fatores como localização, frequência do acúmulo de poeira e custos de mão de obra local afetarão a viabilidade do sistema. Em ambientes com menos poeira ou regiões onde os custos de mão de obra são menores, a limpeza automatizada pode não fornecer vantagens financeiras significativas sobre a limpeza tradicional.

Embora os sistemas automatizados reduzam a frequência de intervenção manual, eles exigem sua própria manutenção e reparos ocasionais. Esses custos de manutenção podem variar dependendo da complexidade e da tecnologia do sistema. Robôs avançados com sensores, câmeras e recursos de IA podem exigir mais manutenção e substituição de peças ao longo do tempo, adicionando

4.2 TECNOLOGIAS DESENVOLVIDAS DE BAIXO CUSTO

Pereira (2017) observa que a viabilidade econômica de tecnologias de baixo custo é especialmente relevante em instalações de pequeno a médio porte, como mercados e edifícios residenciais, onde orçamentos limitados impedem investimentos em sistemas mais sofisticados.

Um exemplo prático é o uso de sistemas de limpeza a seco em robôs, que dispensa o uso de água, tornando a operação mais sustentável e econômica. Em regiões com escassez de recursos hídricos, como áreas desérticas e semiáridas, esses robôs representam uma solução viável. Estudos, como os realizados por Amin et al. (2023), indicam que robôs de limpeza a seco não apenas economizam água, mas também simplificam o design, reduzindo o custo de fabricação. Esses dispositivos geralmente utilizam escovas rotativas ou sistemas de ar comprimido para remover a poeira, o que se mostra eficaz na manutenção da eficiência das placas solares sem demandar infraestrutura complexa.

Outro fator que contribui para o baixo custo desses robôs é o uso de energia solar como fonte primária de alimentação. A energia gerada pelos próprios painéis pode ser utilizada para operar os robôs de limpeza, eliminando a necessidade de fontes externas de energia. Segundo Kumar et al. (2020), essa autossuficiência energética é vantajosa tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, pois reduz o consumo de eletricidade e simplifica a manutenção. A aplicação de painéis solares nos próprios robôs, adaptados a um sistema de carregamento autônomo, permite que eles operem de maneira contínua e sustentável.

O uso de sensores básicos e sistemas de navegação simples, como sensores de proximidade e escovas rotativas controladas mecanicamente, reduz os custos de produção desses robôs. Martos (2024) explica que sensores capacitivos de baixo custo são uma alternativa eficaz para sistemas de navegação em áreas pequenas, como coberturas de edifícios residenciais. Com esses sensores, os robôs são capazes de detectar bordas e evitar quedas, garantindo a segurança operacional e reduzindo a necessidade de tecnologia mais cara, como câmeras e sistemas de visão computacional.

A modularidade também contribui para a viabilidade econômica dos robôs de baixo custo, pois permite adaptar o mesmo modelo a diferentes tipos e tamanhos de instalação. De Andrade (2021) destacam que robôs modulares podem ser configurados para se ajustar a painéis fotovoltaicos de várias dimensões, o que evita a necessidade de desenvolver dispositivos específicos para cada instalação. A modularidade facilita a manutenção e reduz o custo de fabricação, pois peças e componentes podem ser substituídos de forma simples e barata, aumentando a vida útil do robô.

A utilização de materiais duráveis, mas de baixo custo, como plásticos recicláveis e ligas leves de alumínio, é outra estratégia eficaz para reduzir o preço de fabricação dos robôs de limpeza. Valente, Oliveira e Soares (2022) ressaltam que o uso de materiais recicláveis e acessíveis torna o produto final mais barato e ecológico. Além disso, a construção leve facilita o transporte e a instalação dos robôs, permitindo que eles operem em uma variedade de ambientes sem a necessidade de suportes ou infraestruturas adicionais.

Alguns modelos de robôs de baixo custo também utilizam sistemas de programação simplificados para automação das operações. Guida (2021) sugere que robôs programáveis com comandos básicos, como temporizadores e movimentos predefinidos, são suficientes para garantir uma limpeza eficiente. Esses sistemas de automação simplificados reduzem a necessidade de programação avançada e, portanto, os custos associados a software e controle. Com uma programação simples, o robô é capaz de operar em intervalos regulares, realizando a limpeza das placas solares sem a necessidade de monitoramento constante.

Os robôs de baixo custo geralmente são projetados para funcionar de forma autônoma, sem a necessidade de rede elétrica ou internet. Em áreas rurais ou remotas, onde a infraestrutura de energia e comunicação é limitada, essa autonomia representa uma vantagem considerável. Ribeiro (2016) discute que dispositivos que operam de forma independente são mais viáveis para pequenos sistemas solares residenciais, pois evitam custos adicionais com conectividade e permitem que o sistema funcione em locais com recursos limitados.

Outro elemento fundamental é a simplicidade do design mecânico, que prioriza funcionalidade sobre complexidade. Bertoletti (2020) explica que robôs com mecanismos simples, como rodas ou esteiras e escovas rotativas, são ideais para instalações fotovoltaicas pequenas e médias. Esse design facilita a manutenção e o reparo, permitindo que eventuais falhas sejam corrigidas rapidamente e com baixo custo. A simplicidade do design mecânico é essencial para reduzir o custo total e tornar o dispositivo acessível para proprietários de pequenas instalações solares.

Por fim, o uso de robôs de limpeza de baixo custo permite democratizar o acesso à manutenção automatizada de placas solares, especialmente em países em desenvolvimento ou regiões com menor poder aquisitivo. As tecnologias de baixo custo tornam viável a aplicação de robôs em uma gama maior de contextos, promovendo a eficiência energética e a sustentabilidade. Assim, soluções acessíveis e práticas em robôs de limpeza para placas solares contribuem não apenas para a economia dos usuários, mas também para o crescimento da energia solar como alternativa acessível e sustentável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os robôs de limpeza de placas fotovoltaicas representam um avanço significativo no campo da energia solar, proporcionando soluções inovadoras para a manutenção eficiente dos sistemas. Ao automatizar o processo de limpeza, esses dispositivos ajudam a manter o desempenho ideal das placas solares, uma vez que a sujeira e o acúmulo de poeira podem reduzir drasticamente a capacidade de captação de luz. A implementação de robôs de limpeza, portanto, não é apenas uma questão de conveniência, mas uma necessidade para garantir a produtividade contínua e maximizar o retorno sobre o investimento em sistemas fotovoltaicos.

Além da eficiência energética, os robôs de limpeza contribuem para a sustentabilidade ambiental, principalmente em regiões onde o uso de água deve ser cuidadosamente gerido. Com tecnologias que utilizam métodos de limpeza a seco ou sistemas de reciclagem de água, os robôs oferecem alternativas que minimizam o impacto ambiental, ao mesmo tempo em que asseguram a manutenção das placas. Essa abordagem sustentável alinha-se aos objetivos de preservação de recursos naturais, mostrando que a inovação tecnológica pode andar de mãos dadas com a responsabilidade ambiental.

Outro aspecto vantajoso dos robôs de limpeza de placas solares é a redução de custos operacionais e de mão de obra. A limpeza manual, especialmente em instalações de grande escala ou em locais de difícil acesso, pode ser dispendiosa e envolver riscos de segurança para os trabalhadores. Com a automação, os custos e riscos associados à limpeza manual são significativamente reduzidos. Isso é particularmente relevante para empresas e instituições que operam grandes usinas solares e buscam maximizar a produtividade e a segurança dos processos.

A versatilidade dos robôs de limpeza também é um ponto forte, pois eles podem ser configurados para operar em diferentes tipos de ambientes e condições climáticas. Modelos modulares, adaptáveis a diferentes tamanhos e inclinações de placas solares, permitem que os robôs sejam utilizados em uma ampla gama de instalações, desde usinas solares em áreas rurais até sistemas urbanos em telhados de edifícios. Essa adaptabilidade é crucial para atender às necessidades específicas de cada instalação, garantindo uma limpeza eficiente e personalizada.

A inovação no design e na construção dos robôs de limpeza de placas fotovoltaicas também é um fator que potencializa sua viabilidade. O desenvolvimento de dispositivos mais compactos e leves, além de materiais duráveis e de baixo custo, torna esses robôs mais acessíveis e fáceis de implementar. Além disso, o uso de sensores e sistemas de navegação simples, mas eficazes, permite que esses robôs realizem o trabalho com precisão, identificando

áreas com maior acúmulo de sujeira e adaptando a operação conforme necessário, o que aumenta sua eficiência.

Em um cenário de crescimento acelerado da energia solar, a automação da limpeza de placas fotovoltaicas com robôs permite que a tecnologia acompanhe a demanda e os desafios do setor. À medida que os sistemas solares se expandem globalmente, especialmente em regiões com alta incidência de poeira ou poluição, a utilização de robôs de limpeza se torna uma ferramenta estratégica. Isso não apenas aumenta a produção de energia renovável, mas também demonstra o valor da inovação em garantir que a infraestrutura necessária para a transição energética seja eficiente e duradoura.

Apesar dos benefícios evidentes, o uso de robôs de limpeza de placas solares ainda enfrenta desafios, como o custo inicial de aquisição e a necessidade de manutenção dos dispositivos. No entanto, com o avanço tecnológico e a adoção crescente dessa tecnologia, é provável que esses obstáculos sejam reduzidos ao longo do tempo. A tendência é que os robôs de limpeza se tornem cada vez mais acessíveis, tanto em termos de preço quanto de facilidade de uso, incentivando uma adoção mais ampla e diversificada no mercado de energia solar.

Em conclusão, os robôs de limpeza de placas fotovoltaicas representam uma solução promissora para aumentar a eficiência, reduzir custos e promover a sustentabilidade na geração de energia solar. À medida que o setor continua a evoluir, a integração de tecnologias automatizadas para manutenção torna-se essencial para garantir o desempenho contínuo dos sistemas fotovoltaicos. Dessa forma, a implementação de robôs de limpeza não só responde às necessidades operacionais, mas também contribui para a viabilidade e expansão da energia solar como uma fonte de energia limpa, sustentável e acessível.

REFERÊNCIAS

- AMIN, Ahmed et al. Designing and Manufacturing a Robot for Dry-Cleaning PV Solar Panels. **International Journal of Energy Research**, v. 2023, n. 1, p. 7231554, 2023.
- ANTONELLI, Michele Gabrio et al. Autonomous robot for cleaning photovoltaic panels in desert zones. *mechatronics*, v. 68, p. 102372, 2020.
- BERTOLETTI, André Luiz Primo. Uso de tecnologia fotovoltaica em fachadas prediais com vidro refletivo: um estudo de alternativa de retrofit. 2020.
- BILAL et al. **Exploring attitude and intention toward solar panel cleaning robots: Evidence from user insights**. 2020.
- COSTA, Mateus Oliveira et al. Proposta de Robô para Limpeza de Painéis Solares. 2024.
- CRESESB-CENTRO de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. 2012. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>
- DA SILVA, ROBERTO CRUZ et al. PROCESSO AUTOMÁTICO PARA LIMPEZA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO. **Projectus**, v. 8, n. 2, p. 67-85, 2023.
- DE ANDRADE, Jhonatan H. et al. Projeto de um Robô Limpador de Pannel Fotovoltaico. **Seminário de Iniciação Científica e Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão (SIEPE)**, p. e29135-e29135, 2021.
- DORNAS, Victor Seabra et al. Technological and marketing evaluation of solar panel cleaning robots. **Seven Editora**, 2024.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA EPE (Brasil). Balanço Energético Nacional BEN. In: Relatório de Síntese 2021: Ano base 2020. [S. l.], 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_Síntese_2021_PT.pdf
- FAN, Siyuan et al. A novel water-free cleaning robot for dust removal from distributed photovoltaic (PV) in water-scarce areas. **Solar Energy**, v. 241, p. 553-563, 2022.
- GOULART, A. C. M.; REZENDE, H. C. L. Impacto da limpeza em módulos fotovoltaicos. In: XV Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018. Anais... Belo Horizonte: ABENS, 2018.
- GUERRA, J. P. S. et al. Efeito da limpeza sobre a eficiência de módulos fotovoltaicos em condições reais de operação. *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 3, n. 2, p. 31-36, 2015.
- GUIDA, Sérgio Torres. Ensino de programação para crianças utilizando robôs programáveis. 2021.
- INEP – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80 p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Acesso em: 12 jul. 2025.

IEA-PVPS. **Trends in PV applications 2020**. [S. l.]: IEA-PVPS, 2020. Disponível em: https://iea-pvps.org/trends_reports/trends-in-pv-applications-2020/. Acesso em: 12 jul. 202

JUNIOR, Lucio Rogerio et al. Análise do impacto da sujeira e proposta de protótipo para limpeza automatizada em sistemas fotovoltaicos. **Revista de Engenharia, TI e Inovação**, v. 1, n. 1, p. 1-14, 2024.

KUMAR, S. Santosh et al. Solar Powered PV Panel Cleaning Robot. In: **2020 International Conference on Recent Trends on Electronics, Information, Communication & Technology (RTEICT)**. IEEE, 2020. p. 169-172.

MARTOS, Lucas Santana. Construção de um robô SCARA colaborativo com base em sensoriamento capacitivo de baixo custo. 2024.

MOURA, Felipe Ribeiro. Sistema automatizado de limpeza e arrefecimento de placas fotovoltaicas para melhoria de eficiência. 2020.

PEREIRA, Jennifer de Souza. Estudo da viabilidade da implantação de um sistema de energia solar em um mercado público no interior do Rio Grande do Norte. 2017. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal Rural do Semiárido Centro de Engenharias Curso de Engenharia de Energia, Mossoró, 2017. Cap. 1. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/5463>

RIBEIRO, Raylla Pereira. Estudo de caso: Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial. 2016. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Automação Industrial, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Unidade Araxá, Araxá/Mg, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1275>

RUIZ, N. F.; TOBIAS, E. (org.). Análise de investimento em projetos de energia solar fotovoltaica: geração centralizada. 2021.

VALENTE, Johnatan Wallace Soares Botelho; OLIVEIRA, Andreza Neves de Paula; SOARES, Alaine Monsorens Valente. DISPOSITIVO DE LIMPEZA PARA PLACA SOLAR. 2022.