

Robô Limpador de Painel Solar

Mauricio Alencar Maciel, Vitor Lima Leocadio, Victor Da Silva Joaquim, Wesley Sousa Da Silva, Mauricio Caldora Costa

Departamento de Engenharia Elétrica

Universidade Anhembi Morumbi (UAM)

Resumo — O crescimento da geração de energia solar no Brasil e no mundo foi notório nos últimos anos, em 2021 foi possível medir um investimento de mais de 21 bilhões de reais na geração de energia solar, representando um crescimento de 60% em relação ao ano de 2020. Como resultado desse crescimento, surgiram novas pesquisas na área, incluindo a busca por um melhor aproveitamento da eficiência energética nos painéis solares, como, por exemplo, a limpeza dos painéis solares. Com o objetivo de aprimorar a eficiência dos módulos, através da limpeza periódica e semiautomatizada, um protótipo de robô limpador de painéis fotovoltaicos foi desenvolvido. Os resultados esperados com a aplicação do protótipo incluem explorar a capacidade máxima dos painéis fotovoltaicos na coleta e transformação da energia solar em energia elétrica com a facilidade e praticidade na limpeza dos módulos.

Palavras-Chave — Energia Solar, Automação, Limpeza.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o crescimento e o desenvolvimento do sistema de energia solar no mundo vêm se expandindo progressivamente. Dados apurados entre 2010 e 2019 revelam um aumento de 20% em sua capacidade desde 2010, alcançando um total de 586,4 TW. Nesse contexto, o Brasil corresponde a uma parcela de 10,8 TW, o que representa 1,8% da capacidade mundial [1] [2].

Conforme o planejamento do governo brasileiro para o período entre 2021 e 2030, estima-se que a capacidade de geração poderá atingir 21 TW, representando um crescimento de 163% em relação à capacidade nacional (2,3% mundial) [2] [3]. No cenário atual, a liderança na geração de energia solar está sob a jurisdição do estado de Minas Gerais, seguido por São Paulo e Rio Grande do Sul.

Um painel solar possui um rendimento médio de aproximadamente 80% de sua capacidade de geração nominal. No entanto, diversos fatores podem contribuir para a redução de sua eficiência, e vários estudos destacam os impactos da sujeira, como relatado no documento 'Soiling Losses – Impact on the Performance of Photovoltaic Power Plants 2022', publicado pelo IEA-PVPS (Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica da Agência Internacional de Energia) [11], sendo o acúmulo de poluição em sua superfície um dos principais. Esse acúmulo de sujeira forma uma camada que bloqueia a passagem dos raios solares até os módulos de geração de energia, resultando na diminuição da eficiência global dos painéis solares [4][5]. De acordo com o NREL (National Renewable Energy Laboratory), a sujeira pode levar a uma

redução de 25% a 30% na eficiência dos painéis solares em locais com baixa incidência de chuvas e onde a limpeza não é realizada regularmente [11].

Os estudantes do campus do Pici da UFC, em Fortaleza, Ceará, Brasil, publicaram na revista Tecnologia os resultados de um experimento concluindo que a sujeira naturalmente depositada na superfície dos módulos fotovoltaicos afeta diretamente a eficiência dos módulos. Durante um período de 17 dias sem chuva, estimou-se uma redução de 11,71% na produção de eletricidade dos módulos fotovoltaicos.[5]A recomendação da limpeza da superfície dos painéis solares é que seja feita com água e/ou sabão neutro com periodicidade de 15 dias. Chuvas acima de 1mm também podem restaurar a eficiência dos painéis solares. [4][5]

O desenvolvimento de um robô limpador de painel solar representa um avanço significativo na conservação dos painéis solares, proporcionando um método eficaz e confiável para manter a superfície das placas livre de sujeira e poeira, o que resulta em uma melhor produção de eletricidade. O robô possui um sistema embarcado capaz de executar ciclos de limpeza semiautomáticos, utilizando escovas com cerdas para remover partículas de forma eficiente, sem a necessidade de produtos químicos corrosivos ou água. Isso não apenas preserva a integridade dos painéis solares, mas também garante que operem em seu nível máximo de eficiência [13].

Além dos benefícios financeiros e da geração de energia limpa fornecida por uma usina de energia solar, a introdução de um robô limpador de painéis solares também se alinha com os princípios da sustentabilidade e do desempenho ambiental. Essa tecnologia reduz a necessidade de produtos químicos ao meio ambiente. Além disso, a manutenção eficaz dos painéis garante que continue a gerar energia limpa e renovável, promovendo uma transição mais sustentável para fontes de energia limpa [13].

II. PROBLEMA DE PESQUISA / OBJETIVOS

Com o aumento exponencial na utilização de energia fotovoltaica em todo o mundo, a busca por manter uma produção eficiente e livre de perdas tem se intensificado. O principal fator que compromete a eficiência dos painéis solares é o acúmulo de poeira, sendo que elementos como a angulação do painel podem influenciar nesse aspecto. A Figura 1 ilustrará os principais fatores que contribuem para o acúmulo de poeira:

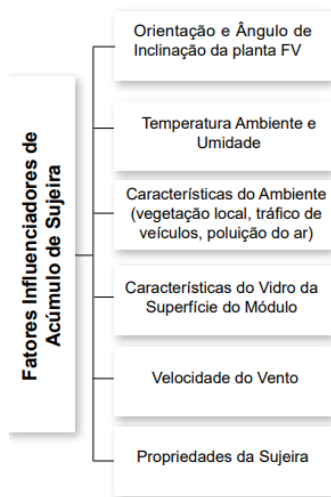


FIGURA 1 - PRINCIPAIS FATORES QUE CONTRIBUEM PARA O ACÚMULO DE POEIRA. Fonte: Adaptado de Jamil et al., 2017.

Com isso, a necessidade de um robô limpador de painéis solares ocorre em um momento oportuno, podendo manter as vantagens que o módulo solar proporciona.

A falta de limpeza periódica nos painéis solares é prejudicial para o rendimento de energia produzida, pois atrapalha no desempenho esperando por seus investidores. Caso a limpeza das placas não seja realizada de maneira correta, com a utilização de materiais macios, sedosos e produtos químicos adequados, podem ser gerados arranhões e deformações permanentes na superfície dos painéis, fazendo com que a produção de energia seja menor.

Outro problema grave que pode ser gerado recorrente ao acúmulo de sujeira na superfície do módulo solar é chamado de “hot spots” (pontos quentes). Como o próprio nome já diz, os pontos quentes são áreas nos painéis com altas temperaturas podendo atingir mais de 60°C, danificando as células fotovoltaicas e na maioria dos casos, comprometendo todo o painel solar. Este problema se torna pior se os painéis estiverem conectados a um inversor, pois o inversor sempre usa como padrão o módulo solar com menos eficiência, neste caso, a energia produzida pelos painéis seria de 0 kWh [6].

Alguns fabricantes ressaltavam que, durante o período chuvoso, a limpeza dos módulos fotovoltaicos deve ocorrer a cada 40-50 dias. Essa recomendação reflete a necessidade de eliminar o acúmulo de sujeira resultante das condições climáticas úmidas, garantindo a eficiência contínua do sistema solar. Para regiões com menor índice pluvial ou condições mais secas, a frequência de limpeza deve ser aumentada. O manual sugere um intervalo de 20-30 dias para assegurar que os módulos permaneçam livres de poeira e sujeira, fatores que podem impactar significativamente o desempenho da geração de energia solar. Os fabricantes enfatizam a importância de os clientes avaliarem a situação real de suas regiões específicas, uma vez que as condições climáticas locais podem variar consideravelmente. Portanto, é crucial ajustar a frequência de limpeza de acordo com as necessidades específicas do ambiente em que os módulos estão instalados.

Além disso, a orientação dos fabricantes destaca que o trabalho de limpeza em cada subdivisão deve estar alinhado com a

estrutura elétrica do layout da usina. Essa abordagem estratégica visa maximizar a eficácia da limpeza, considerando a interconexão elétrica dos módulos. Em resumo, ao seguirmos as recomendações dos fabricantes, a quantidade de limpeza nos módulos fotovoltaicos deverá variar de 7 a 12 vezes ao ano.

III. PESQUISA TEÓRICA

Durante a pesquisa, foi possível encontrar projetos que empregam diversas técnicas para solucionar um mesmo problema: a remoção da sujeira de painéis fotovoltaicos, visando uma maior incidência de raios solares e, por consequência, uma conversão de energia mais eficiente no processo.

A primeira solução encontrada é o método manual, como pode ser visto na figura 2.



FIGURA 2 - LIMPEZA MANUAL. Fonte[8]- (GRANDO et al., 2017).

Este método consiste em utilizar um kit semelhante a uma vassoura, composto por um suporte para proporcionar aderência e uma escova na extremidade. Contudo, esse método pode expor o operador a riscos, uma vez que a limpeza exige o uso do conjunto em locais elevados, exigindo escadas. Além disso, em locais com grandes instalações de painéis, é necessário contratar mais de uma pessoa para realizar toda a limpeza das placas, resultando em um custo elevado de mão de obra [8].

Outra solução encontrada para o problema atual é o Ecoppia E4, um robô totalmente autônomo. O Ecoppia é capaz de realizar a limpeza gerando um fluxo de ar por meio de suas escovas. Em conjunto com essa ação, as partículas de sujeira são removidas dos painéis, e o dispositivo se movimenta ao longo deles através de dois trilhos fixados na parte superior e inferior, conforme mostrado na Figura 3.



FIGURA 3 - ROBÔ ECOPPIA E4. Fonte Ecoppia E4[7].

Toda a parte de controle do Ecoppia é realizada por um controlador dedicado para o robô, alimentado por um painel solar que acompanha o conjunto da solução vendida. Isso amplia ainda mais a autonomia do robô, mas também impacta seu preço [7].

Portanto, ao considerar essas referências de métodos de limpeza de painéis solares, foi possível chegar à solução proposta, que envolve o desenvolvimento de um robô com uma estrutura mecânica inspirada no Ecoppia E4.

A construção do protótipo tem como princípio o baixo custo-benefício, com uma estrutura simples, eficiente e resistente. Para a limpeza, o protótipo foi projetado de maneira que sua escova cobrisse completamente toda a placa solar. Dessa forma, a ampliação da área de contato das escovas abrange toda a superfície do painel, proporcionando maior eficiência na limpeza. A operação do protótipo ocorre por meio de um microcontrolador, Arduino Uno, conhecido por seu excelente desempenho e ótimo custo-benefício.

O robô contará com motores DC em sua saída, conectados a rodas para realizar a movimentação. Além disso, será equipado com dois sensores ultrassônicos em sua extremidade, que se comunicarão com o Arduino para identificar o fim do painel fotovoltaico, desligando os motores e evitando a queda do robô.

IV. METODOLOGIA

A estrutura do robô foi cuidadosamente concebida com materiais robustos, sendo predominantemente composta por ferro, proporcionando a necessária resistência para a movimentação suave sobre os painéis sem causar danos.

A escolha cuidadosa dos componentes assegura a eficiência e a durabilidade do robô em condições operacionais desafiadoras. O sistema de controle do robô é composto por um microcontrolador Arduino Uno, que gerencia operações como a ativação da escova e sua movimentação através de motores de corrente contínua e demais funcionalidades assim como representado pelo fluxograma da Figura 04.

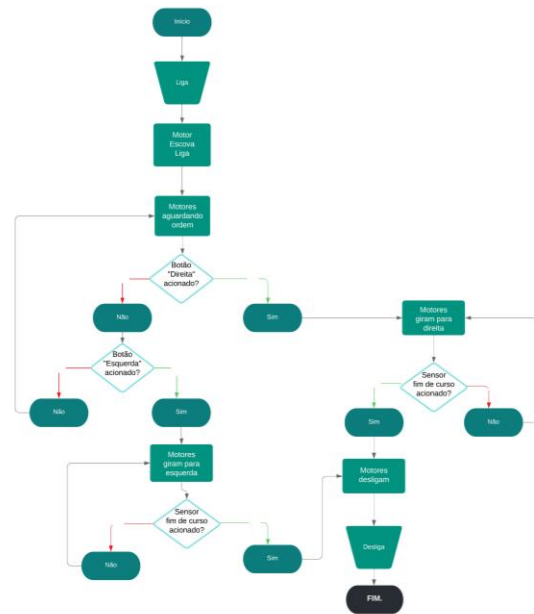


FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DE FUNCIONAMENTO. Fonte: Os autores. Projeto de Robô Limpador de Painéis Solares. 2023. Fotografia.

O protótipo do robô incorpora uma escova confeccionada com microfibras resistentes, proporcionando um movimento rotativo eficaz na remoção de partículas de sujeira. Além disso, possibilita a limpeza a seco, eliminando a necessidade de água no processo. Essa abordagem inovadora visa otimizar a eficácia da limpeza, reduzindo qualquer impacto ambiental associado ao uso de produtos químicos.

O robô contará com um sistema semiautomatizado que exigirá assistência humana para posicioná-lo nos trilhos do painel solar e iniciar a operação por meio de sua interface de interação com o usuário. Após o início do ciclo de limpeza, ele completará todo o painel executando sua limpeza, ao chegar ao último painel, os sensores ultrassônicos, que funcionam como guia para a limpeza, não captando a leitura do painel solar, farão com que o robô desligue e aguarde um novo ciclo de limpeza, como representado pelo fluxograma da Figura 04.

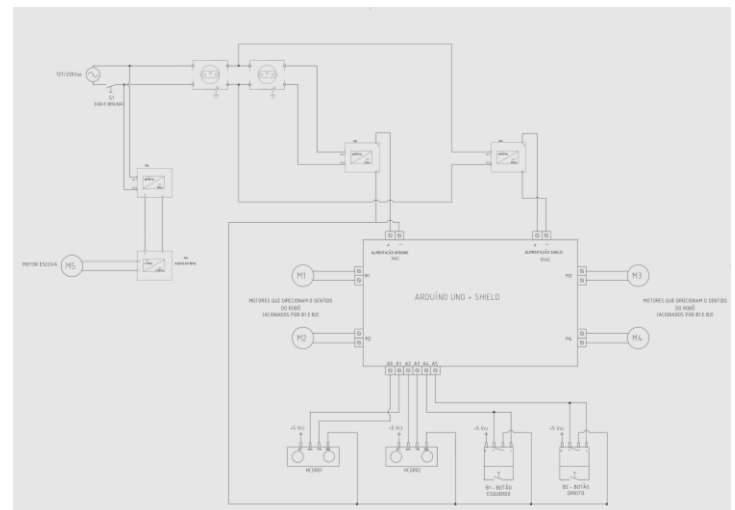


FIGURA 5 - DIAGRAMA DE LIGAÇÃO. Fonte Os autores. Projeto de Robô Limpador de Painéis Solares. 2023. Fotografia.

O robô terá dimensões de 650 mm x 250 mm x 200 mm, com base no painel solar AS-7M144-HC 545W, que servirá como referência para a criação do protótipo. Sua estrutura será predominantemente construída com perfil de ferro, assegurando uma base que evitará danos às placas solares, pois o robô se movimentará sobre elas. Além disso, o ferro, conhecido por sua robustez e resistência a condições adversas, apresenta-se como uma escolha substancial para garantir durabilidade expandida em ambientes diversos.

A estrutura do robô foi protegida por uma camada de tinta. De acordo com o material de sua estrutura, ele resistirá a impactos e à exposição às temperaturas, garantindo a integridade estrutural ao longo do tempo. As Figuras 6 e 7 apresentam uma configuração da estrutura do robô.

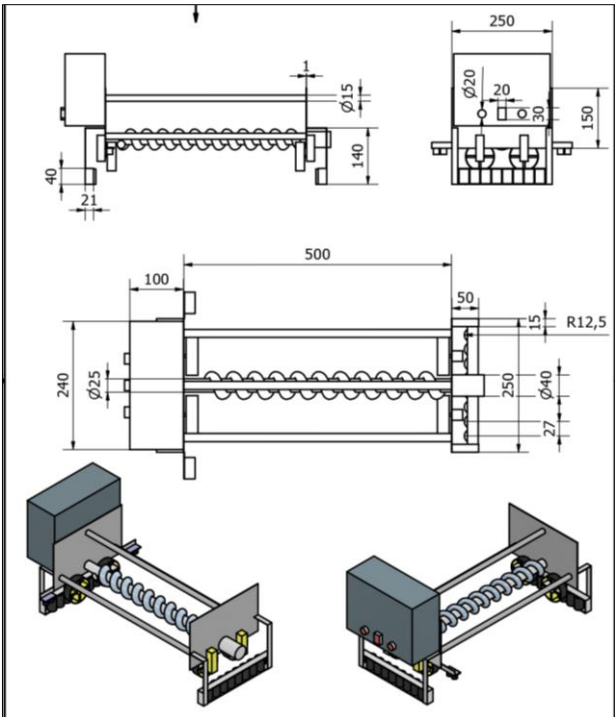


FIGURA 6 - PROTÓTIPO DE ROBÔ EM 2D E 3D. Fonte: Os autores. Projeto de Robô Limpador de Painéis Solares. 2023. Fotografia.

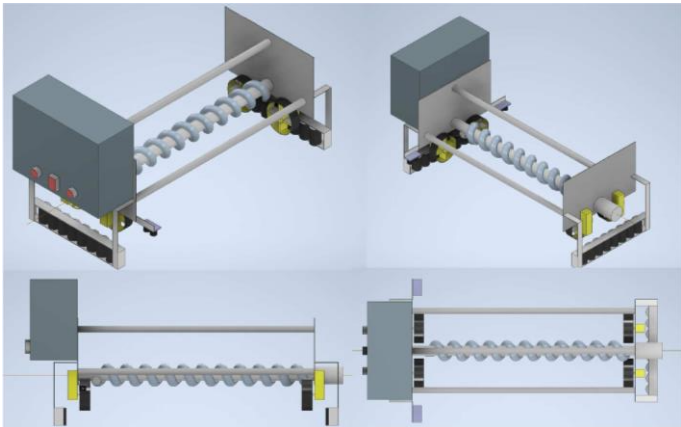


FIGURA 7 - VISTA ROBÔ LIMPADOR EM 3D. Fonte Os autores. Projeto de Robô Limpador de Painéis Solares. 2023. Fotografia.

O projeto do Robô Limpador de Placas Solares busca otimizar a eficiência na manutenção de sistemas fotovoltaicos, promovendo a limpeza regular das placas para maximizar a geração de energia. A escolha dos materiais, tanto os adquiridos como os generosamente doados, é estratégica para o desenvolvimento bem-sucedido do protótipo. A seguir, a Figura 8 apresenta o protótipo em sua versão final e a Tabela 1 relaciona os materiais que compõem o robô:

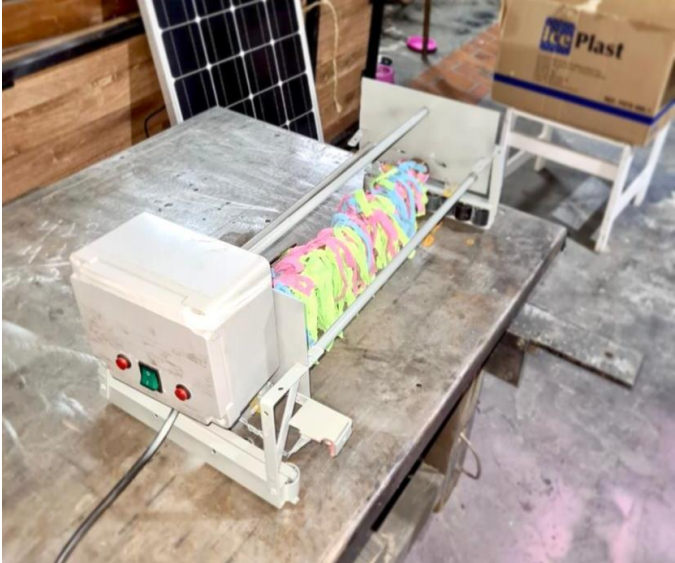


FIGURA 8 - PROTÓTIPO ROBÔ LIMPADOR DE PAINÉIS SOLARES. Fonte: Os autores. Projeto de Robô Limpador de Painéis Solares. 2023. Fotografia.

Item	Quantidade	Valor Unitario
Motor DC 12V	4(uni)	R\$ 15,00
Roda 68mm	4(uni)	R\$ 5,00
Caixa De Passagem Steck Cinza 234x174x90mm	1(uni)	R\$ 50,00
Placa Arduino Uno R3 Atmega328p	1(uni)	R\$ 65,00
Motor Shield L293D Driver Ponte H para Arduino	1(uni)	R\$ 20,00
Fonte 12 Volts 2a	2(uni)	R\$ 18,00
CABO MANGA 4X26 AWG BLINDADO	5(m)	R\$ 3,00
Chave Liga/Desliga - Verde com led	1(uni)	R\$ 12,00
Chave Push Button	2(uni)	R\$ 2,00

com Trava

Trilho Roletado Flow Rack para 45 Kg	50(cm)	R\$ 30,00
Mão Francesa 15 Cm Reforçada	4(uni)	R\$ 15,00
Microfibras kit com 4 unidades	1(uni)	R\$ 25,00
Cano PVC Marrom 50 cm x 1"	1(m)	R\$ 10,00
Chapa de Aço Fina a Frio 15cmx25cmx1mm	2(uni)	R\$ 20,00
Motor Dc 6-18VDC C4557 johnson electric	1(uni)	R\$ 30,00
Módulo Sensor de Distância Ultrassônico HC- SR04	2(uni)	R\$ 10,00
Tinta Spray Cinza Uso Geral 350ml	1(uni)	R\$ 18,00
Tubo de Aço Carbono Redondo 15mm x 0,50mm x 50cm	3(uni)	R\$ 9,00
Elevador de tensão	1(uni)	R\$ 18,00

TABELA 1- LISTA DE MATERIAIS. Fonte: Os autores. Projeto de Robô Limpador de Painéis Solares. 2023. Fotografia.

V. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Ao integrar o robô limpador no ciclo de manutenção, foram conduzidas análises financeiras para avaliar seu impacto econômico, para essa análise, consideramos uma usina solar com capacidade de 1 MW ao longo de um período de 12 meses. Onde simulamos uma perda de 25% de perdas em seu rendimento e uma taxa de R\$100,00/MWh [14].

	Energia Gerada (MWh)	Receita (R\$)
Valores ideais	8,760MWh	R\$ 876.000
Sem Limpeza	6,570MWh'	R\$ 657.00
Com Limpeza	8,541MWh	R\$ 854.100

TABELA 2- SIMULAÇÃO DE RECEITA. FONTE: OS AUTORES. PROJETO DE ROBÔ LIMPADOR DE PAINÉIS SOLARES. 2023. FOTOGRAFIA.

Esses resultados destacam a viabilidade econômica do uso do

robô limpador, proporcionando não apenas uma redução significativa nas perdas associadas à sujeira, mas também uma eficiente otimização da produção de energia solar.

A condução do teste de eficiência na limpeza de uma placa solar por meio de um robô solar é um procedimento crucial para avaliar o desempenho e a utilidade prática do dispositivo. Este teste, realizado com o auxílio de uma balança de cozinha e um quilo de farinha de trigo, foi dividido em quatro etapas distintas, cada uma representando uma fase do ciclo de limpeza. A Figura 9 apresenta algumas etapas do procedimento.

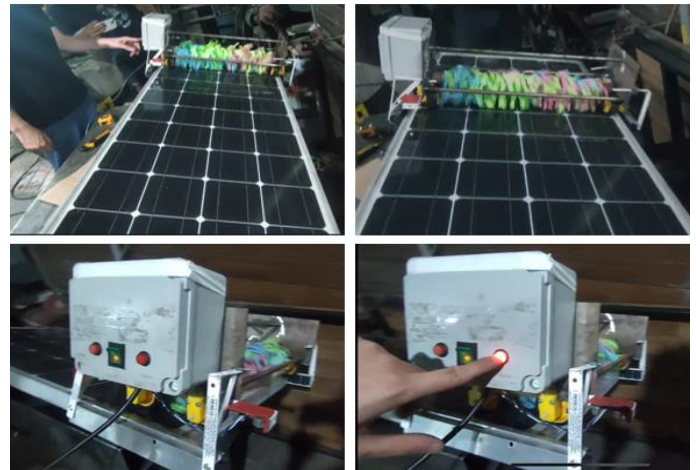


FIGURA 9 - PROCESSO DE LIMPEZA. Fonte: Os autores. Projeto de Robô Limpador de Painéis Solares. 2023. Fotografia.

Na primeira etapa, espalharam-se duzentos e cinquenta gramas de farinha de trigo de maneira uniforme por toda a superfície da placa solar. Essa distribuição simula a acumulação de sujeira ao longo do tempo. O robô precisou realizar três ciclos de limpeza até atingir a limpeza total da placa; os resíduos restantes foram coletados e pesados na balança, cujo resultado foi avaliado.

Na segunda etapa, repetiu-se o processo, adicionando mais duzentos e cinquenta gramas de farinha para representar uma nova camada de sujeira. O robô executou quatro ciclos de limpeza, coletou os resíduos e registrou a quantidade de farinha removida em cada ciclo.

O mesmo procedimento foi repetido nas etapas três e quatro, cada uma com adições adicionais de duzentos e cinquenta gramas de farinha e entre três e quatro ciclos de limpeza. Durante todo o teste, a balança de cozinha foi utilizada para medir a quantidade total de farinha removida, proporcionando uma avaliação quantitativa da eficiência de limpeza do robô conforme demonstrado na Tabela 2 a seguir:

Etapa	Quantidade de Farinha Aplicada na placa (g)	Nº de Ciclos de Limpeza	Quantidade de Farinha Restante na placa (g)
1	250	3	39
2	250	4	41

3	250	4	44
4	250	4	43
Total			167(g)

TABELA 3 - SIMULAÇÃO DE EFICIÊNCIA. Fonte: Os autores. Projeto de Robô Limpador de Painéis Solares. 2023. Fotografia.

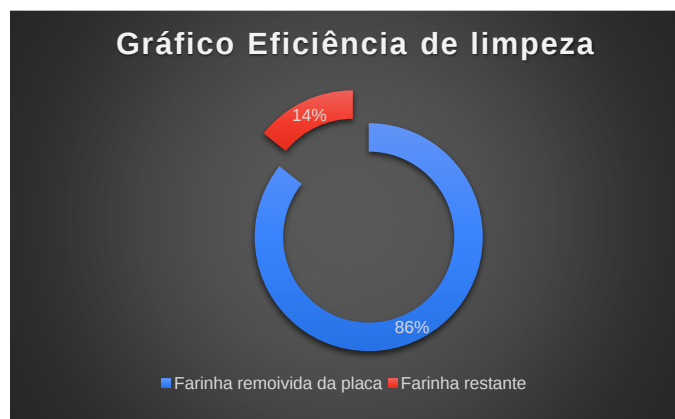


GRÁFICO 2 - EFICIÊNCIA DE LIMPEZA. Fonte: Os autores. Projeto de Robô Limpador de Painéis Solares. 2023. Fotografia.



FIGURA 10 - TESTE DE EFICIÊNCIA DE LIMPEZA. Fonte: Os autores. Projeto de Robô Limpador de Painéis Solares. 2023. Fotografia.

Ao final do experimento, os resultados foram consolidados, evidenciando a capacidade do robô solar em eliminar a sujeira simulada das placas solares. A média de perda de farinha por ciclo proporcionou uma compreensão nítida da eficiência do dispositivo em diversas condições de sujeira, corroborando os cálculos previamente apresentados. Os dados indicam um aproveitamento de 83,3% de eficiência na remoção da sujeira, validando a eficácia do robô no processo de limpeza.

VI. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um robô limpador de painéis solares surge como uma solução inovadora e eficaz para otimizar a eficiência na geração de energia solar. Em um contexto global

de crescimento exponencial no uso de energia fotovoltaica, a manutenção eficiente dos painéis torna-se imperativa para garantir uma produção consistente e livre de perdas.

O estudo demonstrou que a sujeira acumulada nos painéis pode causar perdas significativas na eficiência, impactando diretamente a produção de eletricidade limpa. A análise financeira realizada revela que a falta de limpeza periódica pode resultar em perdas anuais substanciais. A implementação do robô limpador, com uma eficiência de limpeza de aproximadamente 90%, mostrou-se economicamente viável, proporcionando uma receita líquida otimizada.

Os resultados obtidos durante o teste de eficiência, utilizando farinha de trigo como sujeira, confirmam a capacidade do robô em remover a sujeira simulada das placas solares. A média de perda de farinha por ciclo forneceu uma compreensão clara da eficiência do dispositivo em diversas condições de sujeira, validando os cálculos e reforçando a eficácia do robô no processo de limpeza.

Além dos benefícios financeiros, a introdução do robô limpador alinha-se aos princípios da sustentabilidade, reduzindo a necessidade de produtos químicos no meio ambiente. A manutenção eficaz dos painéis não apenas preserva a integridade dos equipamentos, mas também contribui para uma transição mais sustentável em direção a fontes de energia limpa. Diante disso, o projeto do robô limpador de painéis solares não apenas representa um avanço tecnológico, mas também desempenha um papel crucial na promoção da eficiência e sustentabilidade na geração de energia solar. O sucesso deste protótipo indica um caminho promissor para a implementação mais ampla de soluções similares, impulsionando o setor de energia renovável em direção a práticas mais eficientes e amigáveis ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- [1] BEZERRA, Francisco Diniz (org.). **Caderno Setorial ETENE: energia solar**. ENERGIA SOLAR. 2021. BANCO DO NORDESTE. Disponível em: <https://198.17.121.65/s482-dspace/handle/123456789/834>. Acesso em: 11 abr. 2022.
- [2] PEREIRA, Enio Bueno *et al* (org.). **Atlas Brasileiro de Energia Solar: atlas brasileiro de energia solar**. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2017. Realização por LABREN; CCST; INPE. Disponível em: https://cenariosolar.editorabrasilenergia.com.br/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_compressed.pdf. Acesso em: 12 abr. 2022.
- [3] GOV.BR. **Geração solar deve crescer acima de 60% em 2021**: dados do boletim mensal de energia de agosto apontam que a expansão da energia eólica também deve ser expressiva, com aumento de 23% em relação a 2020. Dados do Boletim Mensal de Energia de agosto apontam que a expansão da energia eólica também deve ser expressiva, com aumento de 23% em relação a 2020. 2021. Gov.br. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/10/geracao-solar-deve-crescer-acima-de-60-em-2021>. Acesso em: 11 abr. 2022.
- [4] SOUZA, Tiago L. S. de; LIMA, Regina L. F. A.; LIMA JÚNIOR, Claudemiro de. **Dirt on photovoltaic modules and efficient energy generation in the Brazilian semiarid**: sujidade

- em módulos fotovoltaicos e eficiência na geração de energia no semiárido brasileiro. Sujidade em módulos fotovoltaicos e eficiência na geração de energia no semiárido brasileiro. 2021. Coordenado por CAPES. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/JbTxDPR5TYjtNnL8pZTwjQz/?lang=en#>. Acesso em: 12 abr. 2022.
- [5] CARVALHO, Danielly Norberto; DUPONT, Paulo César Marques de; MONTERO, Ivonne. Efeitos do acúmulo de sujeira no desempenho dos módulos fotovoltaicos: Efeitos do acúmulo de sujeira no desempenho dos módulos fotovoltaicos. 2019. Coordenado pelo UFC. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/56363> . Acesso em: 11 abr. 2022.
- [6] ANJOS, Ruben Serra dos. Análise E Simulação De Pontos Quentes Em Painéis Fotovoltaicos. 2016. Instituto Superior De Engenharia De Lisboa. Disponível em: [https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/6746/1/Dissertaçã o.pdf](https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/6746/1/Dissertaçã%20o.pdf). Acesso em: 24 abr. 2022
- [7] ECCOPIA (org.). Ecoppia E4 - Robbot cleaning solution. Disponível em: https://www.ecoppia.com/warehouse/temp/ecoppia/E4_Datash eet.pdf. Acesso em: 22 abr. 2022.
- [8] GRANDO, Marcel Tômas; MALETZ, Elias Rená; MARTINS, Daniel; SIMAS, Henrique; SIMONI, Roberto. Robots for Cleaning Photovoltaic Panels: State of the Art and Future Prospects. 2017. Disponível em: <https://doaj.org/article/918e944b3ed44630b23cab632299b37d>. Acesso em: 22 abr. 2022.
- [9] CALCA, Marcus Vinicius Contes et al. V10i6.15610 Uma perspectiva sobre o aproveitamento térmico e a conversão direta da energia solar em áreas rurais no Brasil: a perspective on thermal application and the direct conversion of solar energy in rural areas in brazil. A perspective on thermal application and the direct conversion of solar energy in rural areas in Brazil. 2021. Coordenado por FAPESP -Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15610/13906>. Acesso em: 12 abr. 2022.
- [10] CASSA, Caio V L; RODRIGUES, Gabriel C; PEIXOTO, Victor D s; BERNINI, Denise s D. ANÁLISE DA EXPANSÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: análise da expansão da energia solar fotovoltaica no brasil. ANÁLISE DA EXPANSÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL. 2021. Coordenado por Acadêmicos do curso de Engenharia de Produção – Faculdade Multivix. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2021/05/revista-esfera-tecnologia-v05-n01-artigo01.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2022.
- [11] IEA-PVPS (Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica da Agência Internacional de Energia). Soiling Losses – Impact on the Performance of Photovoltaic Power Plants 2022. [Local não aplicável]: IEA Photovoltaic Power Systems Programme (IEA PVPS), 2022. Disponível em: <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2023/01/IEA-PVPS-T13-21-2022-REPORT-Soiling-Losses-PV-Plants.pdf>. Acesso em: 14 out. 2023.
- [12] Sakô, Elson Yoití. Os Efeitos da Sujeira nos Módulos Fotovoltaicos. Canal Solar, 15 maio 2023. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/saiba-os-efeitos-da-sujeira-nos-modulos-fotovoltaicos/>. Acesso em: 15 maio 2023.
- [13] ARAÚJO, Ericka. Como deve ser realizada a limpeza dos painéis solares? Disponível em: <https://canalsolar.com.br/como-deve-ser-realizada-a-limpeza-dos-paineis-solares/>. Acesso em: 20 maio 2023.
- [14] Agência CanalEnergia. (2023). Mercado Livre: Consumo de energia cresce 10,7% em 12 meses. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53245958/mercado-livre-consumo-de-energia-cresce-107-em-12-meses> . Acesso em: 27 nov. 2023.