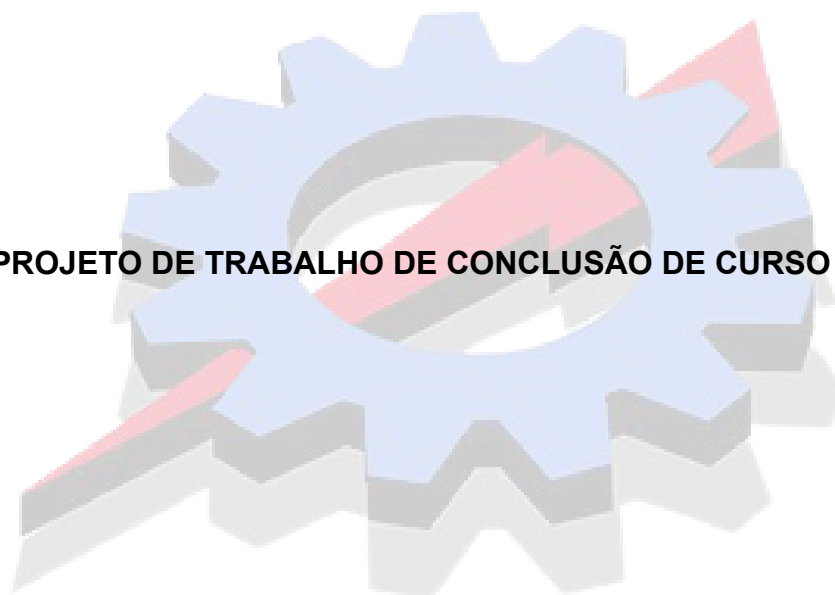


ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME SCHMIDT

TÉCNICO EM ELETROMECAÂNICA

PROJETO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO TÉCNICO



**DISPOSITIVO AUTOMATIZADO PARA MANUTENÇÃO DE PLACA
FOTOVOLTAICA**

HENRIQUE TORRES

VINÍCIUS ESSWEIN

YGOR SANTOS

SÃO LEOPOLDO

2025

HENRIQUE TORRES
VINÍCIUS ESSWEIN
YGOR SANTOS

**DISPOSITIVO AUTOMATIZADO PARA MANUTENÇÃO DE PLACA
FOTOVOLTAICA**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso Técnico apresentado ao Curso de Eletromecânica da Escola Técnica Estadual Frederico Guilherme Schmidt como requisito para aprovação nas disciplinas do curso sob orientação da professora Ceris Diane e coorientação do professor Adriano Santos.

SÃO LEOPOLDO
2025

RESUMO

A energia solar fotovoltaica é uma fonte renovável que vem crescendo no Brasil, impulsionada pelo bom clima, avanços tecnológicos e políticas de incentivo. A sujeira que se acumula nas placas reduz a eficiência, pode causar pontos quentes e acelerar o desgaste dos painéis, prejudicando a produção de energia elétrica. A limpeza manual dos módulos é necessária, mas apresenta riscos, como choque elétrico e acidentes em altura, tornando a manutenção um desafio constante. Para resolver esse problema, este projeto propõe o desenvolvimento de um dispositivo automatizado para limpeza de placas solares, que utiliza sensores e mecanismos que não precisam de intervenção direta de pessoas. Com esse sistema, os módulos conseguem operar com maior eficiência, duram mais tempo e geram mais energia. A automatização garante uma manutenção mais segura e confiável, reduzindo a exposição dos trabalhadores aos riscos e evitando falhas operacionais. A solução oferece uma forma prática de cuidar das placas solares, garantindo que os sistemas funcionem corretamente e que os proprietários tenham um bom retorno do investimento realizado. Além disso, promove maior regularidade na manutenção e ajuda a manter o desempenho ideal dos módulos ao longo do tempo.

Palavras-chave: dispositivo automatizado; limpeza de placas; energia solar; sensores; manutenção.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Curvas características I-V de módulos fotovoltaicos em diferentes condições de temperatura e operação.	18
Figura 2 – Diagrama de um sistema fotovoltaico com baterias, controlador de carga e bomba automatizada.	18
Figura 3 – Processo de limpeza automatizada das placas solares com sistema de escova e água pressurizada.	19
Figura 4 – DESENHO TÉCNICO MECÂNICO	21
Figura 5-Desenho Elétrico	23
Figura 6- Fluxograma De Funcionamento	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estado da arte

14

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DAMPF	Dispositivo Automatizado Para Manutenção De Placa Fotovoltaica
ABVED	Associação Brasileira das Empresas de Vendas Diretas
ALCA	Aliança de Livre Comércio das Américas
BSR	Business for Social Responsibility
Comp.	Complemento
Ex.	Exemplo
FGV	Fundação Getulio Vargas
IBASE	Instituto Brasileiro de Análises Sociais e Econômicas
ONGs	Organizações Não-Governamentais
OSC	Organização da Sociedade Civil

LISTA DE SÍMBOLOS

W – watt	10
N – Newton	20
Hz – hertz	30
cm- centímetro	
A- Ampere	
mA- miliampere	
ZI- Zincado	20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO	10
1.2 PROBLEMA	11
1.3 OBJETIVOS	11
1.3.1 Objetivo Geral	11
1.3.2 Objetivos Específicos	11
1.4 JUSTIFICATIVA	12
2 ESTADO DA ARTE	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
4 METODOLOGIA	20
4.1 TIPO DE PESQUISA	20
4.2 FUNÇÃO DOS COMPONENTES	20
4.3 ESQUEMA ELÉTRICO	23
4.4 PROGRAMAÇÃO	25
5 CRONOGRAMA	25
6 RECURSOS	27
7 RESULTADOS ESPERADOS OU PARCIAIS	28
REFERÊNCIAS	29
ANEXOS	31

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um elemento indispensável na sociedade moderna, presente em praticamente todas as atividades humanas, desde as mais simples, como aquecer água, até processos industriais complexos. Entretanto, muitos consumidores desconhecem ou não se preocupam com a origem e os impactos da energia que utilizam diariamente (PEREIRA, 2019). Até o final da década de 1970, o consumo energético no Brasil era mais limitado, com destaque para eletrodomésticos como ferros de passar e televisores. Com o passar dos anos, a ampliação do acesso a diversos equipamentos elevou significativamente a demanda por energia elétrica (MEHL, 2011).

Esse aumento de consumo, aliado à predominância de fontes não renováveis como petróleo e carvão mineral, gerou preocupações ambientais e econômicas (SILVA; CARMO, 2017). As fontes fósseis, além de finitas, contribuem para o agravamento do aquecimento global e para desequilíbrios climáticos. Por esse motivo, cresce o interesse por fontes renováveis, como a energia solar, que se destaca pela sustentabilidade, disponibilidade e potencial de expansão (RENEWABLES GLOBAL, 2020).

No Brasil, a energia solar fotovoltaica tem se consolidado como alternativa viável e estratégica. O país possui excelentes condições climáticas, com elevada incidência solar ao longo do ano, o que favorece o aproveitamento dessa tecnologia. Estados como Goiás, por exemplo, apresentam de 2000 a 2500 horas de insolação por ano, acima da média nacional (PORTAL SOLAR, 2021). Apesar do crescimento desse setor, sua participação na matriz energética ainda é modesta quando comparada às fontes tradicionais, como hidrelétricas e termelétricas (BEN, 2020).

Com o avanço da tecnologia e a popularização dos sistemas solares, as instalações fotovoltaicas vêm crescendo exponencialmente em ambientes residenciais, comerciais e industriais. Contudo, esse crescimento demanda novas soluções técnicas, especialmente no que se refere à manutenção dos módulos fotovoltaicos, já que a sujeira acumulada pode comprometer significativamente o desempenho dos painéis. A poeira sobre as placas funciona como uma barreira, dificultando a captação da radiação solar e reduzindo a conversão de energia (RIBEIRO MOURA, 2020).

A limpeza periódica dos módulos é essencial, geralmente recomendada entre 4 e 6 meses, variando conforme as condições ambientais. No entanto, a manutenção em telhados e locais elevados envolve riscos à segurança do trabalhador, mesmo com o uso de equipamentos de proteção (JHONATAN HECKLER 2020). Para mitigar esses riscos e otimizar a eficiência dos sistemas, surgem alternativas baseadas em automação e robótica, que já são aplicadas com sucesso em diversas áreas da engenharia. A automação da limpeza dos painéis solares é uma dessas soluções promissoras, reduzindo a exposição humana a situações perigosas e aumentando a durabilidade e o rendimento das instalações (CONIC SEMESP, 2021).

Nesse contexto, este projeto tem como objetivo desenvolver um dispositivo automatizado para a manutenção e limpeza de placas fotovoltaicas. A automação desse processo elimina a necessidade de intervenção direta de técnicos especializados, reduzindo riscos ocupacionais e garantindo uma manutenção eficiente e segura dos módulos solares. Além disso, a utilização de um sistema automatizado permite que a limpeza seja realizada nos momentos mais adequados, como no início da manhã ou no final da tarde, quando a temperatura dos módulos é mais baixa, evitando choques térmicos que poderiam danificar o vidro das placas.

Portanto, o desenvolvimento de um dispositivo automatizado para a limpeza de placas fotovoltaicas surge como uma solução inovadora, prática e segura, que atende às necessidades de um mercado em plena expansão. Ao reduzir a dependência de mão de obra especializada e minimizar os riscos relacionados ao trabalho em altura, o equipamento proporciona não apenas segurança operacional, mas também maior regularidade na manutenção, promovendo o desempenho ideal dos módulos e aumentando a vida útil do sistema. Além disso, ao garantir que os painéis operem com eficiência máxima, o dispositivo contribui diretamente para a geração sustentável de energia e para o retorno financeiro do investimento realizado pelos proprietários. Trata-se, portanto, de uma solução que alia tecnologia, sustentabilidade e economia, consolidando-se como uma ferramenta essencial para o futuro da energia solar.

1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO

Desenvolvimento de um dispositivo automatizado voltado para a manutenção de placas fotovoltaicas.

1.2 PROBLEMA

É possível criar um dispositivo para a manutenção e limpeza de resíduos acumulados nas placas fotovoltaicas?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um dispositivo automatizado para manutenção de placas fotovoltaicas para a remoção de resíduos indesejados que interferem no rendimento da placa fotovoltaica.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um sistema automatizado que elimine a necessidade de um técnico subir em grandes alturas para a limpeza de placas fotovoltaicas.
- Aprimorar a eficiência da limpeza por meio do uso da energia gerada pelas placas solares e da água da chuva;
- Desenvolver um sistema mecânico para limpeza das placas solares.

1.4 JUSTIFICATIVA

A manutenção de módulos fotovoltaicos é um fator crítico para garantir a eficiência na geração de energia elétrica. Estudos de Marques et al (2019) demonstram que o acúmulo de sujeira na superfície dos painéis reduz a absorção da irradiação solar, impactando diretamente o desempenho do sistema. Além disso, a ausência de limpeza adequada pode ocasionar sombreamento parcial, formação de pontos quentes e estresse térmico, fatores que aceleram a degradação dos módulos e reduzem sua vida útil.

A limpeza manual dessas estruturas, embora necessária, apresenta desafios operacionais relevantes, como a exposição dos trabalhadores a riscos elétricos e a acidentes em altura. Em situações de falha de isolamento, os módulos fotovoltaicos podem conduzir corrente elétrica, transformando a atividade de manutenção em um procedimento de alto risco. Considerando que correntes superiores a 75 miliamperes (mA) podem ser letais, torna-se essencial eliminar a intervenção humana direta na limpeza dos painéis, assegurando, assim, a segurança dos profissionais envolvidos.

2 ESTADO DA ARTE

O avanço das tecnologias de geração de energia fotovoltaica tem colocado em evidência a importância da manutenção preventiva dos módulos solares, especialmente no que diz respeito à limpeza e ao controle térmico. O acúmulo de poeira, poluição atmosférica e dejetos de aves compromete diretamente a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, podendo reduzir significativamente a capacidade de geração. Além disso, o superaquecimento das células solares, comum em regiões de alta irradiação solar, afeta negativamente a conversão da luz em eletricidade. Embora existam métodos manuais e equipamentos industriais voltados à limpeza de grandes usinas, o cenário é diferente quando se trata de instalações residenciais, onde soluções práticas, automatizadas e de baixo custo ainda são escassas.

Nesse contexto, o trabalho de Moura (2020) apresenta uma proposta relevante ao desenvolver um sistema automatizado que alia limpeza e arrefecimento em um único dispositivo. O projeto utiliza um sistema de jateamento de água controlado por Arduino, com atuação programada por sensores, e inclui uma bandeja de alumínio com água posicionada na parte posterior das placas solares, promovendo a troca térmica passiva. Os testes realizados demonstraram um aumento considerável na eficiência de geração, tanto pela remoção da sujeira quanto pela redução da temperatura dos módulos. Além disso, o sistema permite o reaproveitamento da água aquecida para fins domésticos, como banhos ou uso em torneiras.

Com base nisso, o presente projeto propõe uma solução inovadora ao integrar, em um único sistema, a limpeza automatizada com jato pressurizado, o resfriamento passivo por meio de reservatório traseiro e a possibilidade de reutilização da água aquecida. Essa proposta se destaca entre os dispositivos já existentes por sua aplicabilidade em ambientes urbanos e por oferecer baixo custo, eficiência energética e sustentabilidade. A tabela a seguir apresenta um comparativo entre diferentes soluções existentes e o sistema proposto neste trabalho.

Tabela 1. Estado da Arte

Pesquisa	Autoria	Ano de publicação
----------	---------	-------------------

Sistema automatizado de limpeza e arrefecimento de placas fotovoltaicas para melhoria de eficiência	Felipe Ribeiro Moura	2020
O USO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	RAYCAM EVARISTO DE OLIVEIRA COSTA	2020

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 PANORAMA ATUAL DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL

A energia solar fotovoltaica tem experimentado um crescimento exponencial no Brasil nas últimas décadas, impulsionada por políticas de incentivo, avanços tecnológicos e aumento da conscientização ambiental. A Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, que regulamentou o sistema de compensação de energia, foi um marco para a democratização do acesso à geração distribuída. O país apresenta uma das melhores condições de irradiação solar do mundo, com potencial de geração de energia até mesmo em regiões menos ensolaradas, como o Sul do Brasil. Além disso, os custos de instalação têm caído significativamente, tornando a energia solar uma alternativa cada vez mais viável tanto para residências quanto para estabelecimentos comerciais e indústrias. O crescimento de micro e minigeradores conectados à rede elétrica demonstra o avanço da adesão da população à sustentabilidade energética.

3.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é uma das fontes de energia renovável mais promissoras e sustentáveis atualmente disponíveis. Ela se baseia na conversão direta da radiação solar em energia elétrica, utilizando materiais semicondutores, geralmente o silício, em células fotovoltaicas. A crescente preocupação com os impactos ambientais das fontes fósseis e o aumento da demanda energética tornaram a energia solar uma alternativa viável e estratégica para o Brasil. Com alta incidência solar durante a maior parte do ano, o território brasileiro apresenta condições ideais para a expansão desta tecnologia.

3.3 O PRINCÍPIO DO EFEITO FOTOVOLTAICO

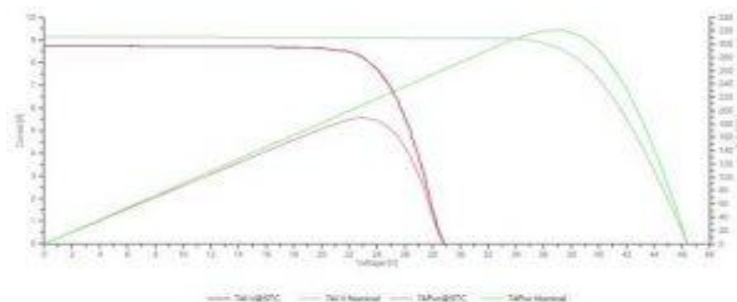
O funcionamento dos módulos fotovoltaicos baseia-se no efeito fotovoltaico, observado pela primeira vez por Edmond Becquerel em 1839. Esse efeito ocorre quando a luz solar incide sobre materiais semicondutores, provocando o

desprendimento de elétrons e a geração de uma corrente elétrica contínua. As células fotovoltaicas são construídas por junções tipo p-n que, ao serem excitadas pela luz solar, permitem a circulação de corrente elétrica. Essa corrente é então convertida de contínua para alternada por inversores, tornando-a adequada para o consumo doméstico ou industrial.

3.4 Fatores que Influenciam na Eficiência Dos Painéis Fotovoltaicos

A eficiência dos painéis solares é diretamente impactada por fatores ambientais e operacionais. Entre os principais elementos que comprometem o desempenho estão a sujeira acumulada na superfície das placas (como poeira, poluição, dejetos de pássaros e folhas), a inclinação inadequada dos módulos, a intensidade da irradiação solar e, principalmente, a temperatura dos módulos. Temperaturas elevadas reduzem a eficiência de conversão, dado o aumento na resistência interna dos materiais semicondutores. A curva I-V dos módulos demonstra a variação da potência em função da tensão e da corrente, sendo o ponto de máxima potência (PMP) o mais desejável.

FOTO DA CURVA I-V MENCIONADA ACIMA



FONTE: CANAL SOLAR 2020

3.5 A Necessidade da Limpeza e do Arrefecimento dos Painéis

A sujeira acumulada nos módulos fotovoltaicos pode causar perdas de até 30% na geração de energia (Sakô et al., 2019). Além da queda na eficiência, a ausência de manutenção pode causar danos permanentes aos módulos, como

manchas e formação de fungos. Da mesma forma, a elevação excessiva da temperatura dos painéis, especialmente em regiões com alta irradiação e pouca ventilação, pode levar à degradação dos materiais e à perda de desempenho. Por isso, estratégias como limpeza regular e arrefecimento ativo têm sido adotadas para manter os módulos operando próximos à sua capacidade nominal.

3.6 Automatização da Limpeza: Soluções Tecnológicas

A automatização da limpeza de placas solares surge como uma resposta tecnológica à necessidade de manutenção constante dos sistemas fotovoltaicos. Sistemas automatizados baseados em microcontroladores como o Arduino são capazes de acionar jatos d'água, escovas ou sistemas de sopro com base em sensores de poeira, umidade, radiação solar e temperatura. Esses sistemas oferecem praticidade, economia de recursos hídricos e maior segurança, eliminando a necessidade de intervenções humanas em locais de difícil acesso, como telhados. Estudos demonstram que a adoção de sistemas automatizados pode aumentar significativamente a produção energética e reduzir o tempo de retorno do investimento (payback).

3.7 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

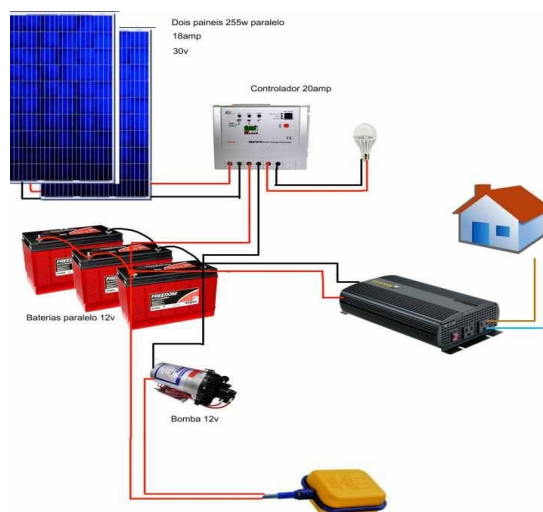
Pesquisas como a de Moura (2020) demonstraram, por meio da construção e validação de protótipos funcionais, a viabilidade da integração entre sistemas de limpeza e arrefecimento aplicados a módulos fotovoltaicos, conciliando baixo custo de implementação com desempenho operacional satisfatório. A adoção de dispositivos de monitoramento, como sensores, bem como de atuadores eletromecânicos, a exemplo de válvulas solenóides e bombas hidráulicas, associada ao emprego de bandejas de arrefecimento com reaproveitamento da água aquecida, configura uma solução tecnicamente consistente e economicamente sustentável, sobretudo em instalações de pequena e média escala, como as residenciais. Além disso, o retorno sobre o investimento, aliado ao incremento na eficiência energética e à redução dos efeitos de degradação e desgaste dos módulos, sustenta a viabilidade técnica e econômica da automatização desses processos em larga escala.

Figura 1 – Curvas características I-V de módulos fotovoltaicos em diferentes condições de temperatura e operação.



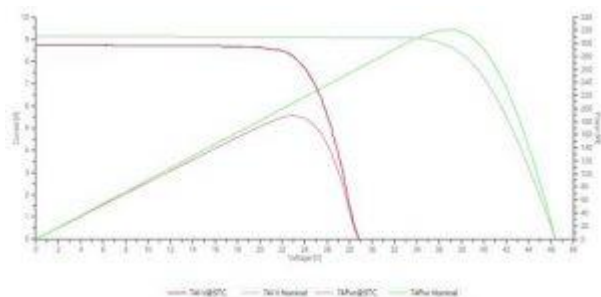
FONTE:ASG solar(2019)

Figura 2 – Diagrama de um sistema fotovoltaico com baterias, controlador de carga e bomba automatizada.



FONTE:Neosolar(2016)

Figura 3 – Processo de limpeza automatizada das placas solares com sistema de escova e água pressurizada.



FONTE:Canal Solar(2020)

4 METODOLOGIA

4.1 TIPO DE PESQUISA

Tipo de pesquisa quantitativa e descritiva.

4.2 FUNÇÃO DOS COMPONENTES

Neste projeto será usado $\frac{1}{2}$ barra ferro cantoneira $\frac{1}{8} \times \frac{5}{8}$ da Gerdau ela será cortada com 36,5 cm e 23,5 cm, assim será feito um esquadro onde a placa solar será encaixada. Ao lado deste esquadro será soldado uma barra de ferro chato 3/16 x 1" da Gerdau, para ser soldado o Motor De Automação Industrial, Caixa De Engrenagens Helicoid, que fará a barra roscada rodar, assim a porca irá trabalhar indo tanto para baixo quanto para cima, fazendo com que um pedaço de tubo 20 x 30 x 1.25 ZI, com um pedaço de polímero retire os resíduos de cima da placa fotovoltaica como poeiras, folhas, areia e entre outros. Para detectar a umidade será usado um sensor de umidade que fará com que o protótipo funcione.



FIGURA 04: DESENHO TÉCNICO MECÂNICO

- 1 As cantoneiras de $\frac{1}{8} \times \frac{5}{8}$ formam um esquadro retangular.
- 2 O ferro chato $\frac{3}{16} \times 1"$ é soldado ao lado da cantoneira que fica de comprido.
- 3 No ferro chato $\frac{3}{16} \times 1"$ Será soldado o motor helicoid.
- 4 No motor Será trocado o eixo principal dele por uma barra roscada $\frac{5}{16}"$.

5 Na barra roscada será colocado uma porca 5/16" para ser a forma de locomoção do braço mecânico onde Será soldado um polímero que fará a limpeza por completa da placa.

4.3 ESQUEMA ELÉTRICO

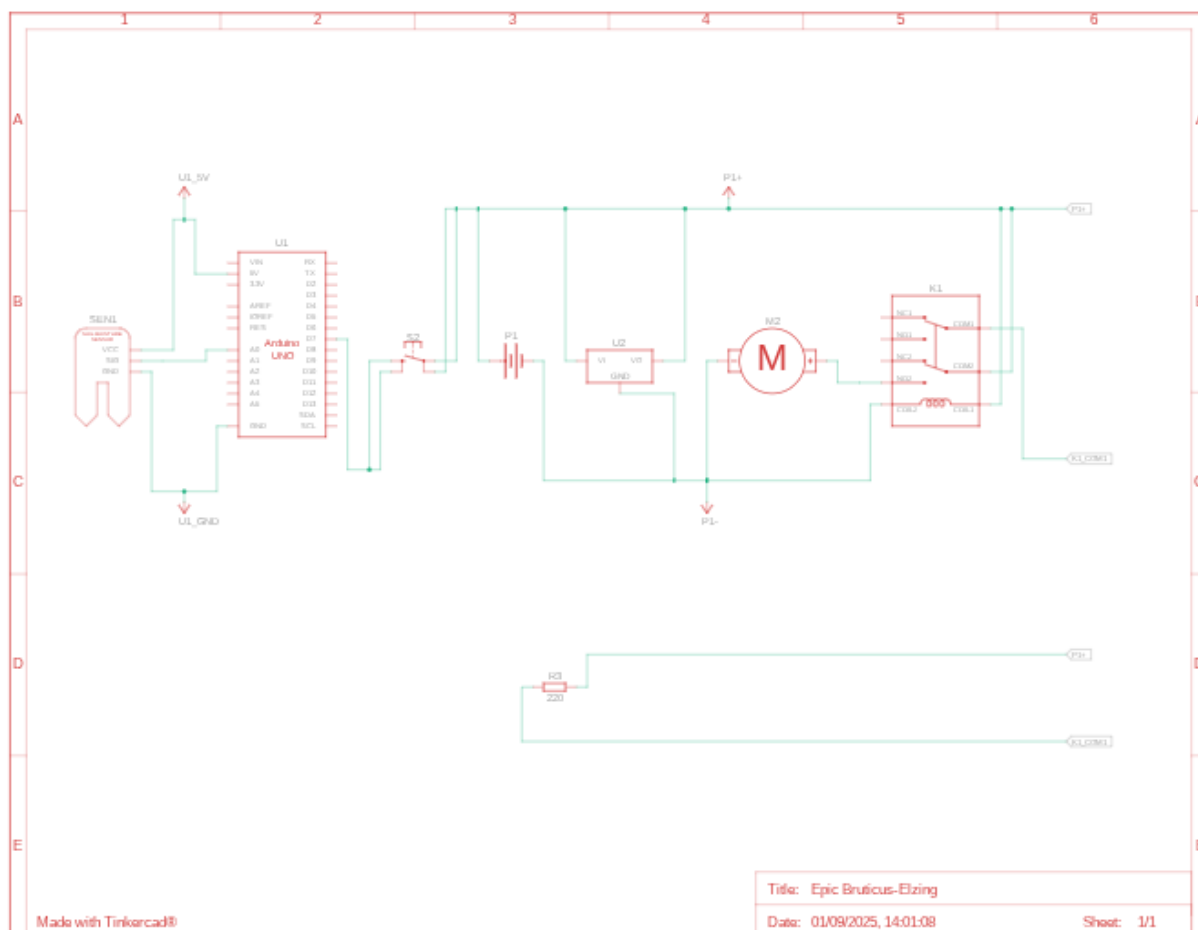


FIGURA 05 : ESQUEMA ELÉTRICO

1. Componentes Utilizados

Sensor de umidade;

Módulo relé;

Arduino Uno;

Motor de passo.

2. Esquema Elétrico Básico

2.1. Sensor de umidade do solo resistivo:

VCC conectado ao pino 5V do Arduino;

GND conectado ao pino GND do Arduino;

Saída analógica conectada ao pino A0 do Arduino.

2.2. Módulo relé:

VCC conectado ao pino 5V do Arduino;

GND conectado ao pino GND do Arduino;

Pino IN conectado ao pino digital 7 do Arduino.

2.3. Motor de passo (sem driver):

Os quatro fios do motor de passo conectados diretamente aos pinos digitais 8, 9, 10 e 11 do Arduino;

GND do motor conectado ao GND do Arduino;

Alimentação do motor conforme especificação (pode ser 5V do Arduino, se suportado).

3. Funcionamento

O Arduino realiza a leitura do valor do sensor de umidade no pino analógico A0. Caso o valor da umidade esteja abaixo de um limite pré-estabelecido, o Arduino ativa o módulo relé por meio do pino digital 7. O relé pode ser utilizado para acionar

[illegible]

6 RECURSOS

Material	Valor unitário	Quantidade	Valor total	Fonte	Data
Motor De Automação Industrial, Caixa De Engrenagens Helicoid	R\$ 70,22	1	R\$ 70,22	Mercado Livre	
Barra Roscada	R\$12,00	1	R\$12,00	Ferragem	
Fonte 12V 5A 36W Estabilizada Bivolt	R\$ 25,99	1	R\$ 25,99	mercado Livre	
Protoboard	R\$ 28,23	1	R\$ 28,23	Mercado Livre	
Drive para motor de passo ponte H L298n-arduino	R\$ 20	1	R\$ 20	Mercado livre	
módulo relé 5V 2 canais Arduino Raspberry pi automação lot	R\$ 18,05	1	R\$ 18,05	mercado livre	
Placa compatível com arduino uno Atmega 328 smd com cabo USB	R\$ 42,90	1	R\$ 42,90	Mercado livre	
Cabo jumper 10 cm Macho X Fêmea	R\$ 13,76	1	R\$ 13,76	Mercado livre	
5 X sensor detector de chuva arduino, pic,mcu,automação	R\$ 56,49	1	R\$ 56,49	Mercado livre	
Valor final: R\$288,09					

7 RESULTADOS ESPERADOS OU PARCIAIS

O resultado final do nosso trabalho será um protótipo que faz sozinho a limpeza das placas fotovoltaicas, sem precisar que um técnico suba para fazer o serviço. Com isso, vamos garantir mais segurança, evitando que o profissional corra risco de queda, leve choque da placa ou precise gastar com EPIs. Também esperamos diminuir os custos de manutenção, já que não será mais necessário contratar mão de obra especializada para esse tipo de trabalho.

O protótipo vai ser montado com os materiais que já definimos: motor de automação, barra roscada, fonte 12V, protoboard, drive para motor de passo, módulo relé, placa Arduino, cabos jumper e sensores de umidade. O sistema vai funcionar de forma automática, controlado pela placa Arduino e acionado pelos sensores. A ideia é que ele use a própria energia gerada pela placa solar para se manter em funcionamento. Esperamos que o dispositivo seja prático, barato e que funcione em diferentes tipos de painéis solares.

Nos aspectos sociais e econômicos, o dispositivo vai ajudar a reduzir gastos e aumentar a vida útil das placas. No lado ambiental, ele vai colaborar com a sustentabilidade, já que a limpeza será feita sem precisar de muitos recursos externos.

Sabemos que podem aparecer alguns desafios, como o ajuste dos sensores, a adaptação a diferentes locais e a manutenção das peças eletrônicas. Mesmo assim, acreditamos que os resultados são possíveis de alcançar e que o dispositivo será útil para resolver o problema da limpeza das placas de forma prática e segura.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. M. de; SILVA, R. P. da; OLIVEIRA, J. C. de. Dispositivo automatizado para limpeza de placas solares fotovoltaicas. 2021. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em:

<http://aete.ubm.br:8081/repositorio/bitstream/handle/123456789/247/TCC%20-%20DISPOSITIVO%20DE%20LIMPEZA%20PARA%20PLACA%20SOLAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso 10 de julho 25.

LOREN, F. S. Análise do impacto da sujeira na geração de energia fotovoltaica e desenvolvimento de um protótipo para limpeza automatizada. 2021. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021. Disponível em:

https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/72/o/TCC_Loren_final_corrigido.pdf. Acesso 10 de julho 2025.

MOURA, F. R. Sistema automatizado para limpeza de painéis fotovoltaicos. 2020. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2020. Disponível em: <https://engeletrica.ufms.br/files/2021/07/TCC-MK-Felipe-Ribeiro-Moura-2020.pdf>. Acesso 15 de Agosto 2025.

SANTOS, A. B.; COSTA, C. D. Estudo e desenvolvimento de um sistema de limpeza para placas solares. In: CONGRESSO NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (CONIC-SEMESP), 21., 2021, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: SEMESP, 2021. p. 1-8. Disponível em: <https://conic-semesp.org.br/anais/files/2021/1000008036.pdf>. Acesso 20 de setembro 2025.

COSTA, Raycam Evaristo de Oliveira. O uso de placas fotovoltaicas: uma revisão bibliográfica. 2020. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2020.

MOURA, Felipe Ribeiro. Sistema automatizado de limpeza e arrefecimento de placas fotovoltaicas para melhoria de eficiência. 2020. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2020. Disponível em: <https://engeletrica.ufms.br/files/2021/07/TCC-MK-Felipe-Ribeiro-Moura-2020.pdf>. Acesso 7 de maio 2025.

SAKÔ, E. Y.; SILVA, J. L. de S.; MESQUITA, D. d. B.; CAMPOS, R. E.; MOREIRA, H. S.; VILLALVA, M. G. Concepts and Case Study of Mismatch Losses in Photovoltaic Modules. In: IEEE BRAZILIAN POWER ELECTRONICS CONFERENCE, 15.; IEEE SOUTHERN POWER ELECTRONICS CONFERENCE, 5., 2019, Santos. Anais [...]. New York: IEEE, 2019. p. 1-6. DOI: 10.1109/COBEP/SPEC44138.2019.9065311.

ANEXOS

```
#include <Stepper.h>

const int sensorUmidadePin = A0;

const int relePin = 8;

// Definições do motor de passo

const int passosPorVolta = 2048; // para 28BYJ-48

Stepper motor(passosPorVolta, 9, 11, 10, 12);

const int limiteUmidade = 400; // ajuste conforme seu sensor

void setup() {

    pinMode(relePin, OUTPUT);

    digitalWrite(relePin, LOW); // relé desligado inicialmente

    Serial.begin(9600);

    motor.setSpeed(10); // velocidade em RPM

}

void loop() {

    int valorUmidade = analogRead(sensorUmidadePin);
```

```
Serial.print("Umidade: ");

Serial.println(valorUmidade);


if (valorUmidade < limiteUmidade) {

    // Solo seco, liga o relé e o motor

    digitalWrite(relePin, HIGH);

    motor.step(512); // gira o motor (ajuste o número de passos conforme
necessário)

} else {

    // Solo úmido, desliga o relé e para o motor

    digitalWrite(relePin, LOW);

}


delay(2000); // espera 2 segundos antes da próxima leitura

}
```