

# AUTOMATIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE PLACAS SOLARES: SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Deysiane Dandara Rodrigues de Sousa<sup>1</sup>, André Pedro Fernandes Neto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduanda do curso Engenharia de Produção, Universidade Federal Rural Do Semiárido – UFERSA, Mossoró. Email: deysianedandara@hotmail.com.

<sup>2</sup> Docente do curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal Rural Do Semiárido – UFERSA, Mossoró. Email: andrepedro@ufersa.edu.br.

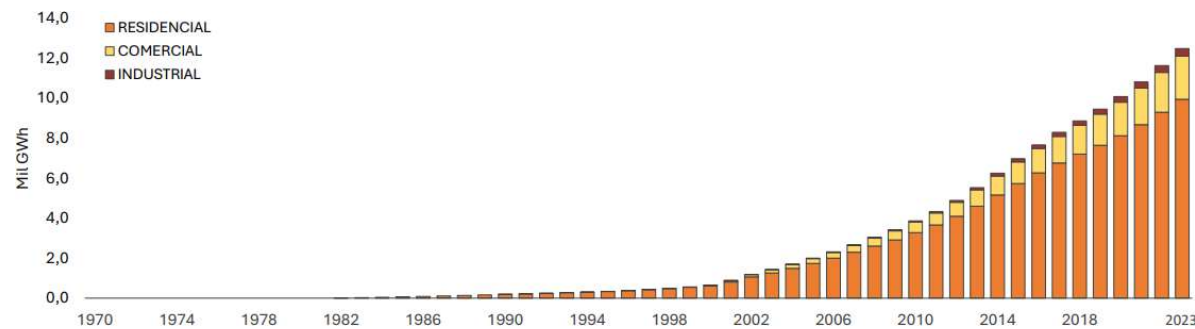
**Resumo:** Este artigo detalha o desenvolvimento de um sistema automatizado para a limpeza de placas solares, com o objetivo de otimizar a eficiência energética de sistemas fotovoltaicos de forma prática e sustentável. O acúmulo de sujeira, como poeira, poluição e detritos, pode reduzir significativamente a capacidade de geração de energia das placas. Para solucionar este problema, o sistema utiliza sensores capacitivos que detectam alterações na superfície das placas, acionando automaticamente um mecanismo de lavagem eficiente. Essa abordagem visa melhorar o desempenho energético, garantindo que as placas solares operem com máxima eficiência e contribuam para a sustentabilidade e economia.

**Palavras-Chave:** Sistema Automático; Placas Solares; Eficiência Energética.

## 1. INTRODUÇÃO

A energia solar é uma das principais alternativas energéticas sustentáveis da atualidade, ganhando destaque por ser uma fonte limpa, renovável e de baixo impacto ambiental [1]. Além de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, a energia solar contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, desempenhando um papel essencial no combate às mudanças climáticas [2]. Sua abundância em diversas regiões do mundo e a possibilidade de instalação descentralizada tornam essa tecnologia acessível e eficiente, promovendo a democratização do acesso à energia e o fortalecimento das economias locais [3]. Nos últimos anos, progressos tecnológicos notáveis fizeram com que os sistemas fotovoltaicos se tornassem mais acessíveis e eficazes, fortalecendo sua presença em casas, empresas e projetos de grande porte conforme o gráfico 1 abaixo:

Gráfico 1: Crescimento de fontes solares ao longo dos anos.



Fonte: EPE 2024.

No entanto, a correta manutenção dos painéis solares é crucial para assegurar o rendimento máximo e estender a durabilidade do sistema [4]. Contudo, um dos grandes desafios associados ao uso dessas tecnologias é o acúmulo de sujeira na superfície das placas solares, que reduz sua eficiência e, conseqüentemente, a geração de energia [5]. Elementos como poeira, poluição do ar, dejetos de pássaros e outros detritos podem formar obstáculos que dificultam a captação da luz solar, comprometendo a utilização desta fonte de energia tão promissora [6].

Para mitigar esse problema, é proposto um sistema automatizado de lavagem, equipado com sensores capazes de identificar o nível de sujeira e acionar mecanismos de limpeza [7]. Essa solução visa manter o desempenho ideal dos painéis, promovendo maior eficiência energética e contribuindo para o fortalecimento da energia solar como fonte sustentável [8].

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Universidade Federal Rural do Semi-Árido

UFERSA é uma instituição pública federal de ensino superior brasileira, localizada na região nordeste no estado do Rio grande do Norte. É uma das universidades pioneiras na adesão ao Sistema de Seleção Unificada (SISU) como forma integral de acesso aos cursos de graduação, desde a sua implantação em 2010 [9]. A UFERSA obteve sua primeira Usina Solar em 2012 com potência de 3,43 kWp e com objetivo principal de dar suporte a pesquisas em energia fotovoltaica. Em 2016 foi instalada a primeira Usina Solar para fins de produção com potência de 150,8 kWp, usina esta que foi adquirida com recursos de uma premiação recebida pela participação da UFERSA no Projeto Desafio da Sustentabilidade, promovido pelo Ministério da Educação. Hoje, a instituição é uma das líderes na geração de energia solar entre as universidades federais [10].



Figura 1 – Usina Solar Mossoró 02 – Campus Leste (UFERSA)

### 2.2 Energias Renováveis

Fontes de energia que pertencem a este grupo são consideradas inesgotáveis, pois suas quantidades se renovam constantemente ao serem usadas e são energias consideradas limpas [11]. Elas são a parte mais importante da transição para um sistema de energia que abandona os combustíveis fósseis, combatendo assim o aquecimento global.

As principais fontes de energia renovável são:

- Energia Solar: Obtida através da captação da luz do sol por meio de painéis solares, que convertem a radiação solar em eletricidade [28].
- Energia Eólica: Gerada a partir da força dos ventos, que movimentam as pás de aerogeradores conectados a turbinas, produzindo eletricidade [28]. Contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e possui baixo impacto ambiental [13].
- Energia Hidrelétrica: Aproveita o fluxo de água de rios e quedas d'água para movimentar turbinas que geram eletricidade. É uma das fontes renováveis mais utilizadas no mundo, especialmente em países com abundância de recursos hídricos, como o Brasil [13].
- Energia Geotérmica: Obtida a partir do calor proveniente do interior da Terra. Esse calor pode ser utilizado para aquecer água e gerar vapor, que aciona turbinas para a produção de eletricidade [29]. É uma fonte renovável que depende das condições geológicas específicas de cada região.
- Energia de Biomassa: Gerada pela decomposição de materiais orgânicos, como resíduos agrícolas, florestais e urbanos [30]. Esses materiais são convertidos em biocombustíveis ou utilizados diretamente para a produção de calor e eletricidade, contribuindo para a gestão de resíduos e a redução do uso de combustíveis fósseis [31].
- Energia Marinha: Também conhecida como energia oceânica, é obtida a partir do movimento das ondas, marés e correntes marítimas [32].

O destino dessas energias é se tornar a fonte mais vantajosa de eletricidade para o planeta e para o desenvolvimento econômico. Produzir cada vez mais energia renovável e abandonar as fontes convencionais é uma necessidade compartilhada por todos os países do mundo [12].

### **2.3 Energia Solar Fotovoltaica**

Consiste no aproveitamento da radiação solar emitida sobre a Terra. Trata-se, portanto, de uma fonte de energia que, além de inesgotável, é altamente potente, pois uma grande quantidade de radiação é emitida sobre o planeta todos os dias [13].

A energia fotovoltaica está se tornando cada vez mais popular em residências, empresas, indústrias e diversos outros setores [14], o módulo fotovoltaico, chamado popularmente de painel solar, é a teia de aranha que captura a energia solar para iniciar o processo da sua transformação em energia sustentável [15]. Composto por células fotovoltaicas fabricadas a partir de materiais semicondutores, como o silício, que absorvem a luz do sol e geram energia elétrica pelo efeito fotovoltaico [14]. Considerado uma ótima alternativa para a geração de energia limpa um módulo fotovoltaico tem uma vida média de cerca de 30 anos [15].

### **2.4 Automação**

Segundo o dicionário Aurélio Automação é um sistema pelo qual os mecanismos controlam o seu próprio funcionamento, com a mínima interferência humana. Pode ser

definido também como uma série de tecnologias que utilizam sistemas e dispositivos de controle, para automatizar processos e equipamentos industriais. Outros objetivos da automação é a realização de trabalhos difíceis a serem realizados por pessoas, simplificar processos de manutenção, e garantir uma maior precisão na realização das tarefas, etc [16].

A automação trouxe significativas melhorias nas condições de trabalho, promovendo ambientes mais seguros e saudáveis ao reduzir a necessidade de tarefas que exigem esforço físico intenso ou que apresentam riscos à saúde, diminuindo os desgastes físico e mental dos trabalhadores [17].

### **3. OBJETIVO**

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema automatizado para a manutenção de placas solares, visando otimizar o processo de limpeza, reduzir o desperdício de água e minimizar a necessidade de trabalho manual. Consequentemente, essa solução contribuirá para a economia de recursos e para a preservação do meio ambiente.

### **4. METODOLOGIA**

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de visitas técnicas a usinas solares, acompanhadas por um engenheiro, com o objetivo de analisar in loco o funcionamento desses sistemas e levantar dados sobre as condições operacionais das placas solares. Esse levantamento possibilitou uma compreensão mais ampla dos desafios e das necessidades relacionadas à manutenção desses equipamentos, onde permitindo uma avaliação inicial sobre a viabilidade da automatização do processo.

Com base nessa análise prática, aprofundou-se o estudo por meio de pesquisas bibliográficas, incluindo livros, artigos científicos e sites especializados. O embasamento teórico possibilitou a identificação do modelo mais adequado de automação e de seus respectivos componentes para a criação de um sistema eficiente de manutenção para placas solares.

O conhecimento adquirido a partir do referencial teórico [4], que aborda o impacto da limpeza de painéis fotovoltaicos na melhoria da produtividade, aliado ao estudo sobre automação, permitiu identificar a viabilidade de um sistema automatizado que otimize esse processo. Essa solução possibilitaria a eliminação da necessidade de contratação de mão de obra especializada para a limpeza dos painéis, reduzindo custos operacionais a longo prazo e diminuindo o tempo necessário para a execução dessa atividade.

Para o desenvolvimento do projeto, foi realizado uma visita técnica ao local, a fim de identificar a quantidade de placas existentes, a melhor localização para o reservatório técnico e a casa de automação, garantindo a integração eficiente do sistema. Em seguida, seria feito um levantamento da quantidade de materiais necessários para a montagem, de acordo com as demandas específicas do cliente.

### **5. ANÁLISE E RESULTADOS**

O acúmulo de sujeira na superfície dos painéis fotovoltaicos é prejudicial à eficiência da geração de energia, uma vez que bloqueia a irradiação solar e reduz a capacidade de conversão da luz solar em energia elétrica [5]. Além da queda na eficiência, o acúmulo excessivo de sujeira pode gerar riscos significativos de danos ao equipamento. Quando algumas células fotovoltaicas geram menos energia devido à sujeira, ocorre uma diferença no fluxo de corrente entre as células, o que pode provocar aquecimento desigual e levar a fissuras nas células fotovoltaicas, comprometendo o desempenho e a durabilidade do painel [5].

Segundo VIEIRA JÚNIOR [4], ao realizar um artigo sobre o “Impacto da Limpeza de Painéis Fotovoltaicos para Melhor Produtividade”, mostrou que após coletar dados 5 meses antes da realização da limpeza e 5 meses depois da limpeza, foi possível analisar que entre o mês de janeiro e maio encontra-se uma variação de 3,04%, já comparando o mês de maio

(último mês antes da limpeza) com junho (primeiro mês após a limpeza) obteve um aumento na produtividade de 12,08%. Só que esse rendimento também vai diminuindo ao decorrer dos meses, chegando a 7,56% de perda de acordo com os meses que vai se passando e recebendo ali sua sujeira conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Tabela de geração mensal de energia solar.

| MÊS       | GERAÇÃO (kW/h) |
|-----------|----------------|
| JANEIRO   | 35873          |
| FEVEREIRO | 36180          |
| MARÇO     | 36027          |
| ABRIL     | 35918          |
| MAIO      | 34780          |
| JUNHO     | 39563          |
| JULHO     | 39280          |
| AGOSTO    | 37506          |
| SETEMBRO  | 37210          |
| OUTUBRO   | 36570          |

Fonte: VIEIRA JÚNIOR (2021).

A limpeza manual de placas solares pode ser um processo, trabalhoso e, em alguns casos, inviável, dependendo de diversos fatores. Por exemplo, onde a placa está instalada, quantidade de placas e em qual região. Nas regiões áridas e/ou desérticas, onde o acúmulo de poeira e areia é maior, as limpezas precisam ser mais frequentes. Já em áreas urbanas ou próximas ao litoral, é necessário lidar com poluentes industriais ou salinidade.

O processo manual envolve esforço físico, consumo significativo de água, uso de ferramentas especializadas e a contratação de mão de obra qualificada. Em grandes instalações, como fazendas solares, a limpeza manual pode levar dias para ser concluída, o que demanda altos custos operacionais. Os manuais de diversas fabricantes, recomendam que os painéis devem ser limpos anualmente, porém afirmam que em locais com muita poeira e poluição, a limpeza é recomendada a cada seis ou três meses ou até menos dependendo do local. Afirmam também que o horário mais adequado é no início da manhã ou final da tarde, quando os módulos apresentam uma menor temperatura em sua superfície. Isso vai evitar possíveis danos causados ao vidro devido ao choque térmico [18].

Em fazendas solares de grande escala, a limpeza manual pode ser completamente inviável. Isso porque com milhares de painéis, o processo se torna extremamente caro e demorado. Já as instalações em telhados altos ou terrenos de difícil acesso também representam desafios significativos, tornando o trabalho manual perigoso e pouco prático. Além disso, região nordeste tem a menor quantidade de recursos hídricos do Brasil, e é a segunda região a sofrer com perdas de água ao longo do caminho de abastecimento [19]. E o uso intensivo desse recurso torna a limpeza manual ambientalmente insustentável, e a longo prazo com custos inviável.

Diante dessas dificuldades, soluções automatizadas de limpeza emergem como alternativas viáveis e eficientes. Esses sistemas reduzem custos operacionais, otimizam o uso de recursos, garantem a segurança dos operadores e asseguram a manutenção regular e eficaz dos painéis solares, contribuindo para maior eficiência energética e sustentabilidade.

## 5.1 SISTEMA PROPOSTO

O objetivo do sistema é garantir a limpeza regular e eficiente das placas solares, mantendo sua geração sempre em alta. A automatização da lavagem de placas solares envolve a integração de diversos componentes que funcionam em conjunto para garantir eficiência e

sustentabilidade no processo de limpeza. A seguir, são descritos os principais elementos do sistema.

O sensor de sujeira, do tipo capacitivo, é responsável por detectar alterações na superfície das placas solares causadas pelo acúmulo de poeira, areia, pólen ou quaisquer outras partículas [20]. Esse componente mede a capacitância resultante e a compara com um limite pré-definido. Se a capacitância medida exceder esse limite, o sensor interpreta que há algo presente na área de detecção. Essa informação é então processada e utilizada para tomar uma ação [21], que nesse caso é o acionamento do sistema de limpeza de forma precisa, diminuindo assim a sujeira. Essa abordagem evita desperdícios desnecessários de recursos.

O sistema de ativação automática é acionado assim que o sensor identifica necessidade de limpeza. Ele é composto por relés e atuadores que controlam os mecanismos de limpeza, com jatos d'água/aspersores. Esse subsistema garante que a limpeza seja realizada de maneira autônoma, sem a necessidade de intervenção humana.

A bomba de água desempenha um papel fundamental ao fornecer a pressão necessária para os jatos de água usados na remoção da sujeira.

O driver, que pode ser um Arduino ou um PLC (Controlador Lógico Programável), é o cérebro do sistema. Ele gerencia e coordena todos os componentes, garantindo que o acionamento dos sensores, da bomba de água e dos mecanismos de limpeza ocorra. Enquanto o Arduino é mais indicado para projetos menores e de custo reduzido, o PLC é recomendado para aplicações mais complexas e industriais [22].

A integração desses componentes permite a construção de um sistema eficiente, econômico e ecologicamente responsável, ideal para manter a eficiência energética dos sistemas fotovoltaicos e promover a sustentabilidade.



## ILUSTRAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

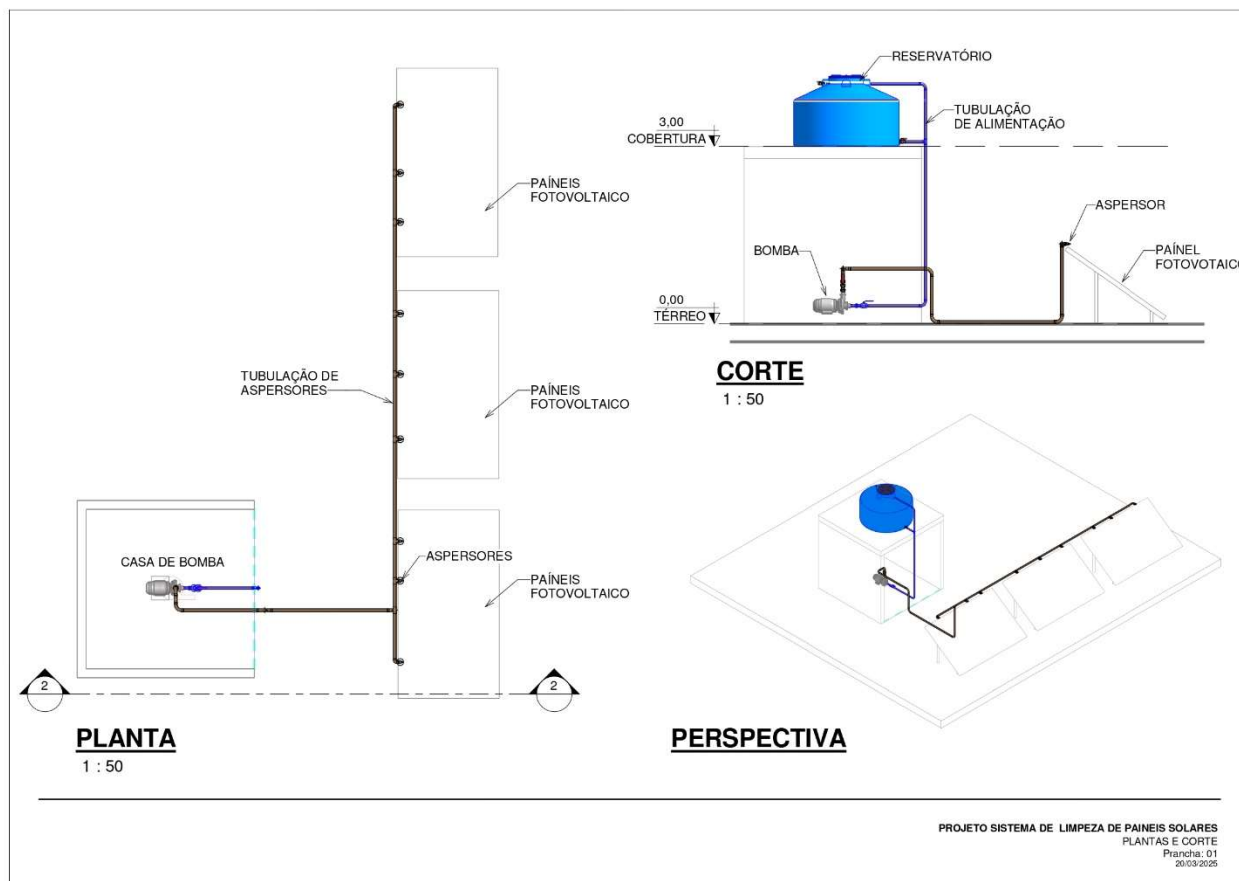


Figura 2 – Planta do Sistema de Manutenção de Placas Solares. (Autoria Própria)



Figura 3 – Ilustração em 3D do Sistema de Manutenção de Placas Solares. (Autoria Própria)

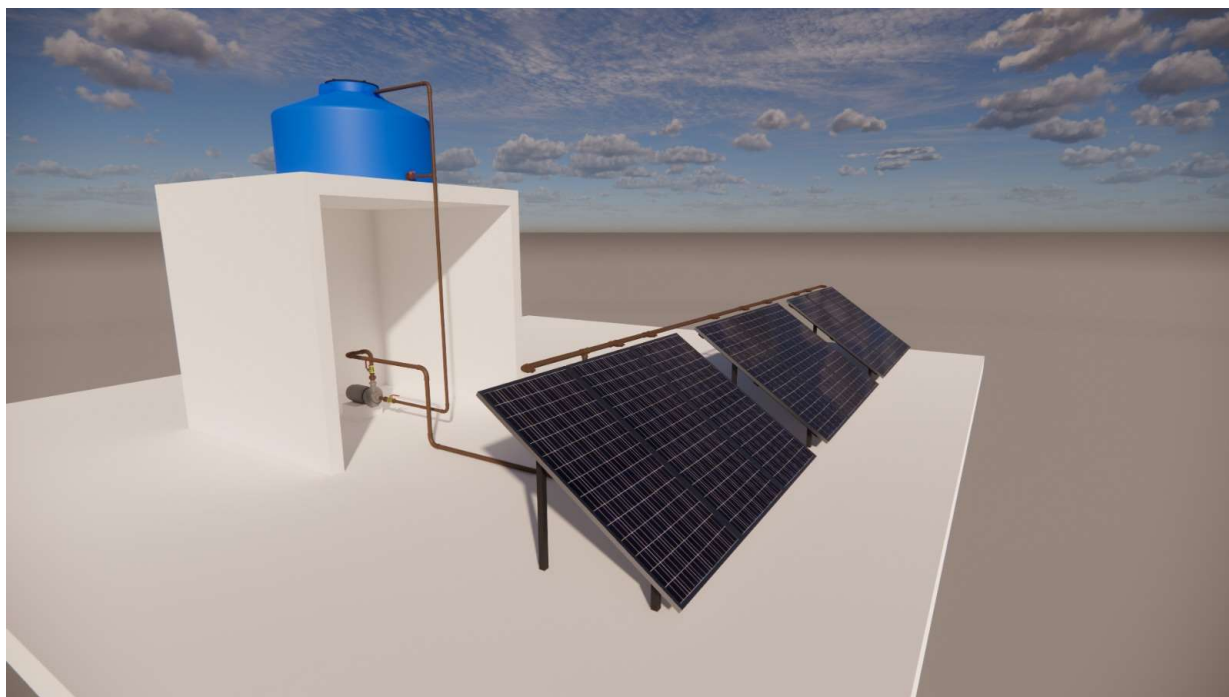


Figura 4 – Ilustração em 3D do Sistema de Manutenção de Placas Solares. (Autoria Própria)



Figura 5 - Ilustração em 3D do Sistema de Bombas e Quadro de Automação. (Autoria Própria)

### 5.1.2 Funcionamento do sistema

Os sensores de sujidade, do tipo capacitivo, operam monitorando continuamente a superfície das placas solares. Eles detectam alterações na capacitância elétrica, que varia conforme a quantidade de sujeira acumulada. Quando partículas de poeira, detritos ou poluição se acumulam na superfície, a capacitância diminui, indicando que o nível de sujeira atingiu um ponto crítico. Esse limite é pré-definido no sistema de controle, e, ao ser alcançado, o sensor envia um sinal para o controlador central (Arduino ou PLC), acionando o mecanismo de limpeza.

Esse método garante precisão na detecção da sujeira, evitando acionamentos desnecessários em condições de limpeza satisfatória, o que contribui para a eficiência e economia do sistema.



O acionamento automático é gerenciado pelo controlador central. Assim que o sensor de sujeidade identifica um nível crítico de sujeira, ele envia o sinal ao controlador, que ativa os seguintes componentes em sequência:

- Relés e Atuadores: Responsáveis por iniciar o funcionamento do sistema de limpeza, com disparo dos jatos d'água.
- Bomba de Água: Entra em operação para garantir o fornecimento da pressão necessária, permitindo a remoção eficaz da sujeira.

O sistema pode incluir um temporizador ou contadores programados no controlador para determinar a frequência ideal de limpeza, com base no histórico de sujeira acumulada e nas condições climáticas da região. Por exemplo, em locais com muita poeira, o sistema pode realizar auto verificações em intervalos mais curtos.

O desligamento automático ocorre quando o controlador recebe feedback indicando que a limpeza foi concluída. Esse processo pode ser implementado de várias formas:

- Feedback dos Sensores: Após a limpeza, os sensores de sujeidade medem novamente a capacitância na superfície das placas solares. Se os valores retornarem ao nível pré-definido, o controlador desativa os atuadores e a bomba de água.
- Temporização Programada: O controlador pode operar o sistema por um tempo determinado suficiente para garantir uma limpeza completa e, em seguida, desativar automaticamente os componentes.

Com esse funcionamento integrado, o sistema garante que a limpeza seja realizada apenas quando necessário e com uso eficiente de recursos, desligando-se automaticamente após o término do processo, o que promove maior economia e sustentabilidade.

## 5.2 VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

### 5.2.1 Custos Estimados

Ao realizar uma estimativa dos custos dos materiais necessários para a implementação do sistema automatizado de limpeza de placas solares, é listado os principais componentes do sistema, juntamente com seus valores estimados, mostrado na Tabela 2. Estes, representam uma solução de baixo custo a longo prazo e expansível, ideal para variados tipos de instalações, desde sistemas residenciais de pequeno porte até grandes fazendas solares.

Tabela 2: Custos Estimados.

| KIT LIMPEZA DE PLACAS SOLARES |                                    |
|-------------------------------|------------------------------------|
| Material                      | Valor (R\$) aproximado por unidade |
| TUBO PVC 1"                   | 33,00 (vara)                       |
| Conexões 1"                   | 5,00 ~ 22,00 (unid)                |
| Bomba de Água                 | 390,00 (unid)                      |
| Registros                     | 64,00 (unid)                       |
| Sensor                        | 100 (unid)                         |
| Aspersor + Suporte            | 8,95 (unid)                        |
| Relé                          | 130 (unid)                         |
| Arduino                       | 139 ~ 189 (unid)                   |

Fonte: Autoria própria (2025).

### 5.2.2 Manutenção e sustentabilidade

A implementação de um sistema de limpeza de placas pode ser uma solução eficiente e econômica a longo prazo. Este sistema é projetado para exigir um baixo custo em relação a materiais. A escolha por materiais duráveis e de boa procedência assegura que o sistema tenha uma longa vida útil, minimizando a necessidade de substituições frequentes.

Placas limpas e bem conservadas mantêm um desempenho otimizado, resultando em uma maior produção de energia em comparação com placas sujas, onde o acúmulo de sujeira e detritos pode comprometer significativamente a eficiência energética. Assim, o custo de manutenção é compensado pelos benefícios de uma produção energética elevada [23].

Além disso, a manutenção preventiva desempenha um papel fundamental na longevidade e eficiência do sistema. Realizar inspeções regulares e adotar um plano de manutenção preventiva garante que quaisquer problemas potenciais sejam identificados e resolvidos antes que se tornem críticos. Esse processo não apenas mantém o sistema em pleno funcionamento, mas também prolonga sua vida útil, tornando-o cada vez mais eficiente, prático e útil [24].

Portanto, ao combinar a escolha de materiais de alta qualidade com práticas de manutenção preventiva, o sistema de limpeza de placas pode se tornar uma solução sustentável, de baixa manutenção e extremamente eficaz na otimização da produção de energia.

### 5.2.3 Impacto econômico

A automação do processo de limpeza de placas solares têm um impacto significativo na diminuição dos gastos operacionais e no aprimoramento da eficiência energética, potencializando a produção de energia renovável. A seleção de materiais resistentes e a execução de manutenção preventiva aumentam a durabilidade dos aparelhos, maximizando o retorno sobre o investimento (ROI) e reduzindo custos com consertos urgentes. Ademais, o uso de tecnologias sustentáveis pode proporcionar acesso a benefícios fiscais e auxílios governamentais [25], tornando o sistema ainda mais rentável financeiramente. Assim, a automação não só diminui os gastos a longo prazo, como também fomenta a sustentabilidade e a eficácia nos projetos de energia solar fotovoltaica.

Os principais fatores que demonstram o benefício econômico do sistema automatizado de limpeza de painéis solares são:

- **Redução de custos Operacionais:** Placas solares limpas operam com eficiência máxima, aumentando a produção de energia. Por exemplo, uma pesquisa revelou que, em um período de 10 meses sem limpeza, a produção de energia foi de 357.556 kW. Após uma única limpeza, a produção aumentou para 368.907 kW, e com manutenções regulares, a expectativa era atingir 395.630 kW. Isso indica que a manutenção preventiva pode evitar perdas de até 7,56% na produtividade em cinco meses [4];
- **Retorno sobre o Investimento (ROI):** A escolha de materiais de boa qualidade e a manutenção preventiva aumentam a vida útil do sistema. Isso significa que o investimento inicial é distribuído ao longo de um período maior, melhorando o ROI;
- **Redução de Despesas com Manutenção:** A manutenção preventiva ajuda a identificar problemas antes que se tornem críticos. Isso reduz a necessidade de manutenção corretiva emergenciais, que geralmente são mais caras e podem causar interrupções significativas no sistema;
- **Benefícios Fiscais e Incentivos:** Em muitos lugares, investir em tecnologias sustentáveis e em sistemas de energia renovável pode proporcionar incentivos fiscais e subsídios governamentais, reduzindo ainda mais os custos associados ao sistema, como: Isenção de ICMS, IPTU VERDE, Lei do Bem, Programa Nacional de Crescimento Verde, etc.

Portanto, embora haja um custo inicial associado à instalação e ao estabelecimento de um plano de manutenção preventiva, os benefícios econômicos a longo prazo podem ser

substanciais, tornando o sistema de limpeza de placas uma escolha inteligente e sustentável.

### **5.3 BENEFÍCIOS DO SISTEMA**

A implantação de um sistema automatizado para a lavagem de placas solares apresenta vantagens econômicas, tanto diretas quanto indiretas, que favorecem a viabilidade e a sustentabilidade financeira dos projetos fotovoltaicos. O acúmulo de sujeira nas superfícies das placas solares compromete sua capacidade de geração de energia. Estudos mostram que a sujeira pode reduzir a eficiência dos painéis em até 25% [26], dependendo das condições locais e climáticas. A manutenção regular e automatizada assegura que os módulos fotovoltaicos operem próximos ao seu rendimento máximo, maximizando a geração de energia e o retorno financeiro [26]. Além disso, a automação do processo elimina ou reduz a necessidade de intervenção humana na limpeza, diminuindo custos relacionados à mão de obra e à aquisição de equipamentos manuais. Ademais, a gestão otimizada dos recursos, como água e energia, minimiza desperdícios e eleva a eficiência operacional. Outro aspecto relevante é o prolongamento da vida útil das placas solares [26]. A remoção regular de detritos evita danos superficiais, como arranhões e corrosão, preservando a integridade dos componentes e aumentando sua longevidade. Dessa forma, reduz-se a necessidade de substituição prematura, resultando em menor custo de manutenção ao longo do ciclo de vida do sistema.

A automação da lavagem de placas solares também proporciona impactos ambientais positivos, alinhando-se aos objetivos de sustentabilidade associados à geração de energia renovável. A integração de tecnologias modernas permite o uso de sensores que regulam automaticamente o volume necessário em cada ciclo de limpeza. A manutenção da eficiência das placas solares contribui diretamente para uma maior geração de energia limpa, diminuindo a dependência de fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis e reduzindo emissões de gases de efeito estufa [27]. Ao aumentar a eficiência na geração de energia solar, o sistema reduz a pressão por fontes de energia convencionais que demandam atividades como desmatamento e extração de recursos, contribuindo para a preservação da biodiversidade [27].

## **6 CONCLUSÃO**

A implementação de um sistema automatizado para a manutenção e limpeza de placas solares mostrou-se uma solução viável e benéfica, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico e ambiental. A partir das visitas técnicas realizadas em usinas solares e da fundamentação teórica adquirida por meio de pesquisas bibliográficas, foi possível identificar os principais desafios relacionados à acumulação de sujeira nos painéis fotovoltaicos e à necessidade de um sistema eficiente de manutenção.

Os resultados indicam que a automação desse processo proporciona ganhos significativos em eficiência energética, garantindo que os módulos operem em seu rendimento máximo e reduzindo perdas de geração de energia causadas pelo acúmulo de sujeira. Além disso, a eliminação da necessidade de limpeza manual reduz custos operacionais com mão de obra e aquisição de equipamentos, tornando o sistema economicamente vantajoso a longo prazo.

Do ponto de vista ambiental, o sistema automatizado otimiza o uso de recursos como água e energia, minimizando desperdícios e promovendo práticas sustentáveis. A maior eficiência na geração de energia solar contribui diretamente para a redução da dependência de combustíveis fósseis e a diminuição das emissões de gases de efeito estufa, reforçando o compromisso da energia fotovoltaica com a sustentabilidade.

Dessa forma, conclui-se que a adoção de um sistema automatizado para a limpeza de placas solares é uma alternativa eficaz para maximizar a produtividade dos painéis, reduzir custos operacionais e mitigar impactos ambientais. Os resultados deste estudo podem servir como base para futuras pesquisas e aprimoramentos tecnológicos, visando a expansão e o

aperfeiçoamento de soluções automatizadas no setor de energia renovável.

## 7 REFERÊNCIAS

- [1] EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **BEN 2024, Relatório Síntese, Ano base 2023.** Ministério de Minas e Energia, 2024.
- [2] ISO 14001: **Gestão Ambiental - Diretrizes para Implementação.** Organização Internacional de Normalização.
- [3] **Manual Técnico de Sistemas Fotovoltaicos.** Associação Brasileira de Energia Solar (ABENS), 2023.
- [4] VIEIRA JÚNIOR, A. A. **Impacto da Limpeza de Painéis Fotovoltaicos para Melhor Produtividade.** Goiânia, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3228/1/IMPACTO%20DA%20LIMPEZA%20DE%20PAIN%3%89IS%20FOTOVOLTAICOS%20PARA%20MELHOR%20PRODUTIVIDADE.pdf>>. Acesso em: 25 jan 2025.
- [5] E4 ENERGIAS RENOVÁVEIS, **Painel Solar Sujo Afeta Desempenho.** 2023. Disponível em: <<https://grupoe4.com.br/sujeira-afeta-o-desempenho-de-painel-solar/>>. Acesso em: 25 jan 2025.
- [6] BARBOSA, E. R.; FARIA, M. dos S. F.; GONTIJO, F. de B. **INFLUÊNCIA DA SUJEIRA NA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.** Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar - Cbens, [S.L.], v. 1, n. 1, 2018. Associação Brasileira de Energia Solar.
- [7] OLIVEIRA, J. P.; SANTOS, M. R.; LIMA, F. A. **Automação e eficiência energética: impacto da limpeza automática em placas solares.** Revista de Energias Renováveis, v. 1, 2022.
- [8] MOURA, F. R. **Sistema automatizado de limpeza e arrefecimento de placas fotovoltaicas para melhoria de eficiência.** 2020. 102 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2020.
- [9] WIKIPÉDIA. **Universidade Federal Rural do Semi-Árido.** Disponível em:<[https://pt.wikipedia.org/wiki/Universidade\\_Federal\\_Rural\\_do\\_Semi-%3%81rido](https://pt.wikipedia.org/wiki/Universidade_Federal_Rural_do_Semi-%3%81rido)>. Acesso: 26 fev 2025.
- [10] UFERSA. **Primeira Usina Solar da UFERSA completa 10 anos.** Disponível em: <<https://assecom.ufersa.edu.br/2022/09/09/primeira-usina-solar-da-ufersa-completa-10-anos/#:~:text=A%20primeira%20Usina%20Solar%20da%20UFERSA%20entrou%20em%20opera%C3%A7%C3%A3o%20em%202012.>> Acesso em: 26 fev 2025.
- [11] EPE. **Empresa de Pesquisa Energética.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>> Acesso em: 26 fev 2025.
- [12] ENEL GREEN POWER. **Energias Renováveis.** Disponível em: <<https://www.enelgreenpower.com/pt/learning-hub/energias-renoveveis>>. Acesso em: 26 fev 2025.

- [13] BRASIL ESCOLA. **Fontes Renováveis de Energia.** Disponível em:<<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/fontes-renovaveis-energia.htm>> Acesso em: 26 fev 2025.
- [14] PORTAL SOLAR. **Painel solar: o que é, como funciona e tipos.** Disponível em:<<https://www.portalsolar.com.br/painel-solar>>. Acesso em: 26 fev 2025.
- [15] ENEL GREEN POWER. **Módulo fotovoltaico.** Disponível em:<<https://www.enelgreenpower.com/pt/learning-hub/energias-renoveveis/energia-solar/modulo-fotovoltaico>>. Acesso em: 26 fev 2025.
- [16] EGA. **Quais são as principais vantagens da automação industrial?** Disponível em:<<https://ega.com.br/quais-sao-as-principais-vantagens-da-automacao-industrial/>>. Acesso em: 26 fev 2025.
- [17] REVISTA FERRAMENTAL. **Automação industrial: Desmistificando o Mito do Desemprego.** Disponível em:<<https://www.revistaferramental.com.br/artigos/automacao-industrial-desmistificando-o-mito-do-desemprego>>. Acesso em: 26 fev 2025.
- [18] CANAL SOLAR. **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: 27 fev 2025.
- [19] INSTITUTO ÁGUA SUSTENTÁVEL. **Água no Nordeste.** Disponível em:<<https://www.aguasustentavel.org.br/conteudo/blog/160-agua-na-regiao-nordeste>>. Acesso em: 27 fev 2025.
- [20] HEXIS CIENTÍFICA. **Sensor de Sujicidade Dustiq.** Disponível em:<<https://www.hexis.com.br/produto/sensor-de-sujicidade-dustiq>>. Acesso em 27 fev 2025.
- [21] AUTOMAÇÃO EXPERT. **Sensor Capacitivo.** Disponível em:<<https://automacaoexpert.com/sensor-capacitivo/>>. Acesso em: 27 fev 2025.
- [22] KALATEC AUTOMAÇÃO. **Arduíno: o que é, funções, tipos e mais.** Disponível em:<<https://blog.kalatec.com.br/arduino-o-que-e/>>. Acesso em: 27 fev 2025.
- [23] INTELBRAS BLOG. **Limpeza de Placa Solar: por que fazer e como garantir máxima eficiência.** Disponível em: <<https://blog.intelbras.com.br/limpeza-de-placa-solar/>>. Acesso em: 02 mar 2025.
- [24] MAYA ENERGY. **Importância das inspeções regulares em sistemas solares.** Disponível em: <<https://mayaenergy.com.br/inspecoes-regulares-em-sistemas-solares/>>. Acesso em: 02 mar 2025.
- [25] GREEN PAPERLESS. **O que é incentivo fiscal e como ele pode beneficiar empresas sustentáveis?** Disponível em: <<https://greenpaperless.com.br/blog/o-que-e-incentivo-fiscal>>. Acesso em: 02 mar 2025.
- [26] MAYA ENERGY. **Impacto da limpeza de placa solar na produção de energia.** Disponível em: <<https://mayaenergy.com.br/impacto-da-limpeza-de-placa-solar-na-producao>>.



de-

energia/#:~:text=A%20limpeza%20regular%20dos%20m%C3%B3dulos,dos%20pain%C3%A9is%20em%20at%C3%A9%2025%25.> Acesso em: 02 mar 2025.

[27] PORTAL SOLAR. **Energia limpa: o que é, fontes, principais tipos e importância.** Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/energia-limpa>>. Acesso em: 02 mar 2025.

[28] 123 ECOS. **Fontes renováveis de energia: principais tipos com exemplos.** Disponível em: <<https://123ecos.com.br/docs/fontes-renovaveis-de-energia/>>. Acesso em: 22 mar 2025.

[29] MIXME!. **Tipos de Energia Elétrica: Solar, Eólica, Biomassa, Química e Mais.** Disponível em: <<https://www.mixme.com.br/tipos-de-energia-eletrica-solar-eolica-biomassa-quimica-e-mais/>>. Acesso em: 22 mar 2025.

[30] ENERGIA LIMPA E VERDE. **Energia de Biomassa: o que é, como funciona e vantagens.** Disponível em: < <https://energialimpaeverde.com.br/energia-de-biomassa-o-que-e-como-funciona-e-vantagens/>>. Acesso em: 22 mar 2025.

[31] BRASIL ESCOLA. **Biomassa.** Disponível em:< <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/biomassa.htm>>. Acesso em: 22 mar 2025.

[32] NUV ENERGIA 100% DIGITAL. **Energia dos Oceanos: tecnologias marítimas e o futuro sustentável.** Disponível em: < <https://nuvenergia.com.br/energias-renovaveis/energia-dos-oceanos-tecnologias-maritimas-e-o-futuro-sustentavel/>>. Acesso em: 22 mar 2025.