

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**PATRICK CÁSSIO RODRIGUES DA CRUZ**

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE MÓDULO  
FOTOVOLTAICO COM *CLIP* DE DRENAGEM**

**BELO HORIZONTE**

**2022**

PATRICK CÁSSIO RODRIGUES DA CRUZ

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE MÓDULO  
FOTOVOLTAICO COM *CLIP* DE DRENAGEM**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. André Guimarães Ferreira

BELO HORIZONTE

2022

PATRICK CÁSSIO RODRIGUES DA CRUZ

**ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DE MÓDULO  
FOTOVOLTAICO COM *CLIP* DE DRENAGEM**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Dr. André Guimarães Ferreira (Orientador)**

---

**Dr. André Barros de Mello Oliveira**

---

**Me. Humberto Barros de Oliveira**

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. André Guimarães Ferreira, orientador deste trabalho, por toda a ajuda na execução do trabalho, por aceitar este desafio junto comigo e pela paciência na hora dos ensinamentos e rapidez na correção do meu trabalho.

Aos meus familiares, minha mãe Gleiciane, meu pai João, meu irmão Caio, e meus tios avós pelo suporte e por me apoiarem em todas as decisões desde a entrada no curso de Engenharia de Materiais.

Aos meus amigos, em especial para a Livia Colem, que esteve comigo em praticamente todas as matérias nessa caminhada. Ao André Caixeta, Matheus Raphael que também lutaram para fazer com que nossos projetos dessem o mais certo possível.

À Liege Silva, que me ajudou muito, especialmente nos finais de semana e me deu forças para acelerar todo o processo.

Aos sócios e diretores da SolarView e PV Clean, que permitiram com que eu pudesse completar este trabalho, e com toda a disponibilidade e ajuda possíveis.

Aos demais professores presentes na banca, Prof. Dr. André Barros de Mello Oliveira e Me. Humberto Barros de Oliveira, e a todos os professores do curso de Engenharia de Materiais do CEFET-MG, e demais servidores da instituição, pela rica contribuição na minha formação como engenheiro. Meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, principalmente a energia solar, tem sido foco de investimento e incentivos em diversas economias mundiais. Pelo fato da energia solar ter uma baixa emissão de poluentes e ser uma energia renovável, a busca pela geração de energia a partir deste sistema está evoluindo, além de ser um sistema que dura por muito tempo. Para que isso ocorra, os sistemas solares precisam ser bem cuidados para que a geração de energia tenha uma máxima eficiência. Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo analisar um ganho de eficiência dos módulos fotovoltaicos através um dispositivo (*clip* de drenagem), além de identificar melhorias na durabilidade do sistema fotovoltaico para que ele atinja o tempo estipulado. Desta forma, este estudo tem como objetivo principal apresentar e comparar a eficiência dos módulos que estão em excelentes condições (limpos e sem acúmulo de água das bordas) e os que são afetados por esses fatores e, conseqüentemente, apresentam menor eficiência. Além disso, foi feita uma inspeção visual dos módulos fotovoltaicos como forma de identificar possíveis problemas pela falta de limpeza e dos *clips* presentes no sistema. Como referência, utiliza-se uma usina de microgeração instalada em um telhado, localizada na empresa SolarView, situada na região da Pampulha (Belo Horizonte – MG) com estrutura fixa para determinação das ações que devem ser realizadas nos equipamentos. Por fim, os estudos realizados neste trabalho estão sintetizados em um *software* para uma melhor gestão da usina fotovoltaica. De maneira geral, os resultados obtidos foram de melhora, quando se comparou os respectivos módulos, tendo suas diferenças características apenas pela limpeza ou utilização do *clip* de drenagem. Ademais, não houve problemas relacionadas a inspeção visual mesmo com um tempo muito longo dos módulos sem qualquer tipo de limpeza. Por fim, ficou concluído que os resultados foram de melhora (com limpeza e uso do *clip*), mesmo com o tempo de análise curto em um período chuvoso, ou seja, um período de limpeza natural dos módulos.

Palavras chave: *Clip* de drenagem. Módulo fotovoltaico. Usina fotovoltaica. *String*.

## **ABSTRACT**

The generation of electric power from renewable resources, mostly from solar energy, has been focused by investments and incentives from various worldwide economies. By the fact that solar energy has a low rate of polluting emissions and it is a renewable resource, the search for generating electric power from this system is evolving, and that system will last a long time. In that context, this work has the goal to analyze an efficiency gain from photovoltaic modules through a device (Drainage Clips), besides identifying improvements on durability of the photovoltaic system until it reaches the stipulated time. This study has as main objective to present and compare the efficiency of modules that are in excellent condition (clean and without water accumulation on the edges) and those that are affected by these factors and, consequently, have lower efficiency. Furthermore, a visual inspection has been made on the modules as a way to identify potential issues caused by the lack of cleanliness of the system's clips. As reference, it uses microgeneration plants settled in a rooftop, located in the company SolarView, in the region of Pampulha (Belo Horizonte - MG), with fixed structure, to determine the action that should be necessary on the equipment. Finally, the studies made on this work are summarized in a software for the best management of a photovoltaic plant. In general, the results obtained was the improvement, when the respective modules were compared, with their characteristic differences only due to cleaning or use of the drainage clip. Furthermore, there wasn't any issue related to the visual inspection still being a long period without cleanliness. Finally, it was concluded that the results were still a short analysis time in a raining period, in the words, a natural period of cleaning of the modules.

**Keywords:** Drainage Clips, Photovoltaic Modules, Photovoltaic Plant, String.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capacidade de energia fotovoltaica instalada no mundo .....	16
Figura 2 - Capacidade de energia fotovoltaica instalada no Brasil .....	16
Figura 3 - Líderes da Energia Solar FV em 2021 .....	17
Figura 4 - Sistema fotovoltaico .....	18
Figura 5 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico .....	18
Figura 6 - Sistema fotovoltaico <i>off-grid</i> .....	19
Figura 7 - Sistema fotovoltaico <i>on-grid</i> .....	20
Figura 8 - Formação do painel fotovoltaico .....	21
Figura 9 - Composição do painel fotovoltaico .....	22
Figura 10 - Curva de características I x V x P x V típicas de uma célula fotovoltaica .....	23
Figura 11 - Influência da umidade relativa do ar na eficiência do módulo fotovoltaico.....	25
Figura 12 - Módulo fotovoltaico afetado pela corrosão da borda .....	25
Figura 13 – Situação de não uniformidade de sujeira .....	27
Figura 14 - Efeito da umidade na força de adesão .....	28
Figura 15 – Aspecto de <i>clip</i> de drenagem .....	28
Figura 16 - Disposição física do sistema fotovoltaico analisado.....	31
Figura 17 - Chuva acumulada em 24 - Belo Horizonte - 11/2022 .....	33
Figura 18 - Potência de saída dos módulos sujos e limpos .....	35
Figura 19 - Potência de saída dos dois módulos durante o período experimental.....	35
Figura 20 - Energia produzida pelos módulos limpos com e sem o <i>clip</i> .....	37
Figura 21 - Energia produzida pelos módulos sujos com e sem o <i>clip</i> .....	38
Figura 22 - Energia produzida pelos módulos limpos com o <i>clip</i> e módulos sujos sem o <i>clip</i>	38
Figura 23 - Inspeção visual dos módulos sujos do sistema fotovoltaico.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modos mais comuns de degradação e falha dos componentes do módulo fotovoltaico e seus efeitos .....	24
Tabela 2 - Especificações técnicas do módulo fotovoltaico Canadian Solar CS1U-420MS ...	29
Tabela 4 - Especificações técnicas do inversor fotovoltaico Solar Edge Trifásico SE20.1K .	32
Tabela 5 - Verificação da inspeção visual do sistema fotovoltaico, conforme norma ASTM E1799-12 .....	34
Tabela 6 - Corrente média diária do sistema fotovoltaico analisado.....	36
Tabela 7 - Tensão média diária do sistema fotovoltaico analisado .....	36
Tabela 8 - Geração diária da string analisada a partir do dia 16 de novembro de 2022.....	39
Tabela 9 - Energia total produzida pelos dias de 16 a 19 de novembro de 2022 .....	39
Tabela 10 - Análise do ganho de energia a partir do <i>clip</i> de drenagem .....	41
Tabela 11 - Análise da inspeção visual do sistema fotovoltaico, conforme norma ASTM E1799-12 .....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Unidade de Medida de Corrente Elétrica
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EVA	Etileno Acetato de Vinila
FV	Fotovoltaico
GTES	Grupo de Trabalho de Energia Solar
GW	Gigawatt
I	Corrente
$I_{mp}$	Corrente de máxima potência
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRENA	Agência Nacional para as Energias Renováveis
$I_{sc}$	Corrente de curto-circuito
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
LID	Degradação Induzida por Luz
$m^2$	Metro quadrado
MME	Ministério de Minas e Energia
MPP	Ponto de Máxima Potência
MW	Megawatt
MWh	Megawatt-hora
Nov	Novembro
°C	Graus Celsius
P	Potência
PID	Degradação Induzida pelo Potencial
$P_{max}$	Máxima potência

SFV	Sistema Fotovoltaico
TW	Terawatt
V	Volt, unidade de tensão elétrica
$V_{mp}$	Tensão de máxima potência
$V_{oc}$	Tensão de circuito aberto
W	Watt
Wh	Watt-hora

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>1.1. Objetivos</b> .....	14
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
<b>2.1. Energia Solar Fotovoltaica</b> .....	15
<b>2.2. Sistemas Fotovoltaicos</b> .....	17
2.2.1. <i>Sistemas Isolados (off-grid)</i> .....	18
2.2.2. <i>Sistemas Interligados à Rede (on-grid)</i> .....	19
2.2.3. <i>Sistemas Híbridos</i> .....	20
<b>2.3. Módulo Fotovoltaico</b> .....	21
2.3.1. <i>Características Elétricas dos Módulos Fotovoltaicos</i> .....	22
<b>2.4. Degradação dos Módulos Fotovoltaicos</b> .....	23
2.4.1. <i>Umidade</i> .....	25
2.4.2. <i>Sujidade (Soiling)</i> .....	26
<b>2.5. Manutenção e Limpeza de Módulos Fotovoltaicos</b> .....	26
<b>2.6. Clip de Drenagem</b> .....	27
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	29
<b>3.1. Diferença Entre Geração de Energia dos Módulos</b> .....	29
<b>3.2. Coleta de Dados</b> .....	31
<b>3.3. Inspeção Visual</b> .....	33
<b>4. RESULTADOS</b> .....	34
<b>4.1. Diferença Entre Geração de Energia dos Módulos</b> .....	34
4.1.1. <i>Análise de Ganho de Eficiência do Módulo Através das Curvas IxV</i> .....	36
<b>4.2. Dados Coletados a Partir do Software Solar Edge</b> .....	37
4.2.1. <i>Eficiência do Clip</i> .....	39
<b>4.3. Inspeção Visual</b> .....	41

4.3.1. <i>Influência da Sujidade na Eficiência do Módulo com o Clip</i> .....	43
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	44
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial, do consumo e da produção industrial tem elevado continuamente a demanda por energia elétrica. Estima-se que as fontes tradicionais, como hidráulica, fóssil e nuclear, atingirão seu limite de produção de energia em aproximadamente 20 TW, e o déficit de produção deverá ser atendido por fontes de energia renováveis (PEREIRA *et al.*, 2017).

O sobrecarregado setor elétrico brasileiro está sempre buscando soluções para desafogar as redes de distribuição e diversificar a geração de energia elétrica, para aumentar a confiabilidade do sistema. Neste contexto, também podem-se destacar as atuais necessidades em buscar energias limpas, que constituem um crescente percentual da energia elétrica gerada no país, visando à diminuição da emissão de gases poluentes em termoelétricas, onde parte da energia elétrica do país é gerada. Dessa forma, os sistemas fotovoltaicos aparecem como soluções técnicas, econômicas e ambientais (GOETZE, 2017; MELO, 2020).

Segundo o EPE (2021), as fontes de geração de energia elétrica disponíveis atualmente no Brasil são, majoritariamente, hidrelétricas, biomassa, eólica e gás natural. Contudo, a energia solar pode ter aplicação direta para conversão de energia através do sol, abundante no Brasil pelo fato de ser um país com clima tropical, na maior parte da sua região, e ser uma das principais fontes de energia.

A matriz de energia elétrica brasileira possui hoje 84% de capacidade de geração renovável. Essa porcentagem é muito alta quando comparada com a geração mundial, que detém uma média de apenas 27% de toda sua matriz. A contribuição da energia solar fotovoltaica na matriz brasileira aumentou consideravelmente, passando de 1,4% em 2019, para 6,9% em 2021 contabilizando toda a geração. Esse aumento representa uma quantidade de 13 GW, número maior que a usina hidrelétrica de Belo Monte (MME, 2022).

Segundo um estudo recente (GREENER, 2022), o número de módulos fotovoltaicos no Brasil superou mais de 104% o volume de 2020, o que proporcionou uma produção de 4,98 GW somente com as instalações em 2021 e 9,75 GW contabilizando a energia de geração distribuída e centralizada.

Além disso, empresas que desenvolvem módulos fotovoltaicos garantem uma durabilidade da sua vida útil uma média de 25 anos com uma eficiência de 80% do seu desempenho máximo de potência. Mas é preciso levar em conta que os módulos fotovoltaicos instalados com inclinação inferiores a 15° podem acumular água e sujeiras em suas bordas, o que reduz a quantidade de geração de energia e também pontos quentes, podendo afetar na vida

útil do módulo.

.Por conseguinte, com o aumento da quantidade de energia fotovoltaica produzida, aumenta a quantidade de módulos e também a necessidade de manutenção desses componentes. A manutenção preventiva desses pontos quentes poderá garantir uma máxima eficiência dos módulos fotovoltaicos e um crescimento na quantidade de energia produzida anualmente.

### **1.1. Objetivos**

O principal foco deste trabalho é o estudo comparativo dos módulos fotovoltaicos, que utilizam a conversão direta de energia solar em energia elétrica. Desta forma, este estudo tem como objetivo principal apresentar e comparar a eficiência dos módulos que estão em excelentes condições (limpos e sem acúmulo de água das bordas) e os que são afetados por esses fatores e, conseqüentemente, apresentam menor eficiência.

Os objetivos específicos são:

- desenvolver análise dos módulos fotovoltaicos através de simulação numérica em *software* apropriado com o objetivo de identificar avanços na eficiência da geração de energia elétrica;
- comparar a operação de sistemas limpos e sujos, com e sem umidade acumulada no módulo, a partir de medições experimentais;
- conscientizar os futuros leitores deste trabalho a respeito da importância do uso de equipamentos em boas condições de operação, a fim de que os módulos produzam máxima energia elétrica e que possam perdurar o tempo prometido pelos fabricantes.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Energia Solar Fotovoltaica**

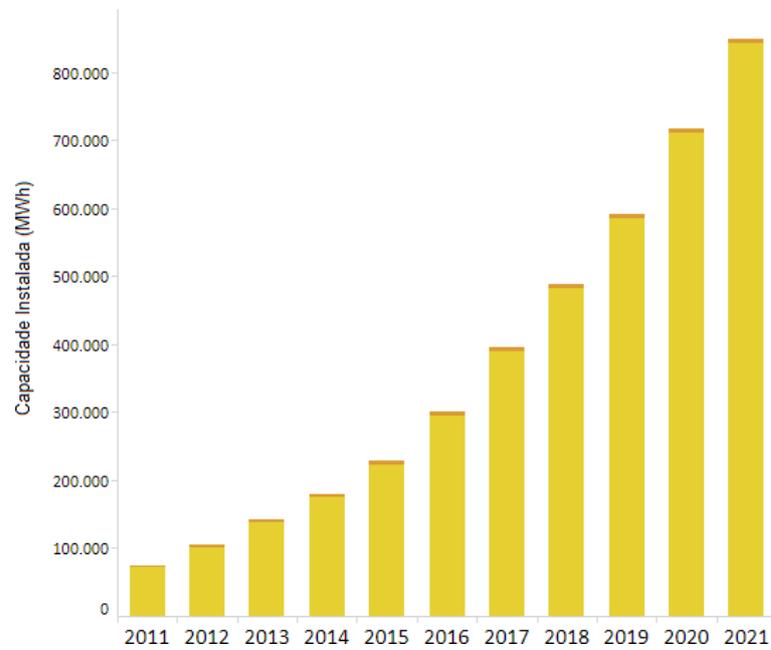
A Energia solar fotovoltaica é basicamente a captação da luz solar através de módulos fotovoltaicos e a transformação dessa radiação solar em energia elétrica no formato de corrente contínua (CC) através de uma célula fotovoltaica, fazendo com que aconteça o efeito fotovoltaico.

NASCIMENTO (2004, p. 7) descreve bem isto, através do relato de Edmoud Becquerel sobre o fenômeno em 1839, dizendo “quando nos extremos de uma estrutura de matéria semicondutora surge o aparecimento de uma diferença de potencial elétrico, devido à incidência de luz, no processo de conversão da energia radiante em energia elétrica a célula é a unidade fundamental”.

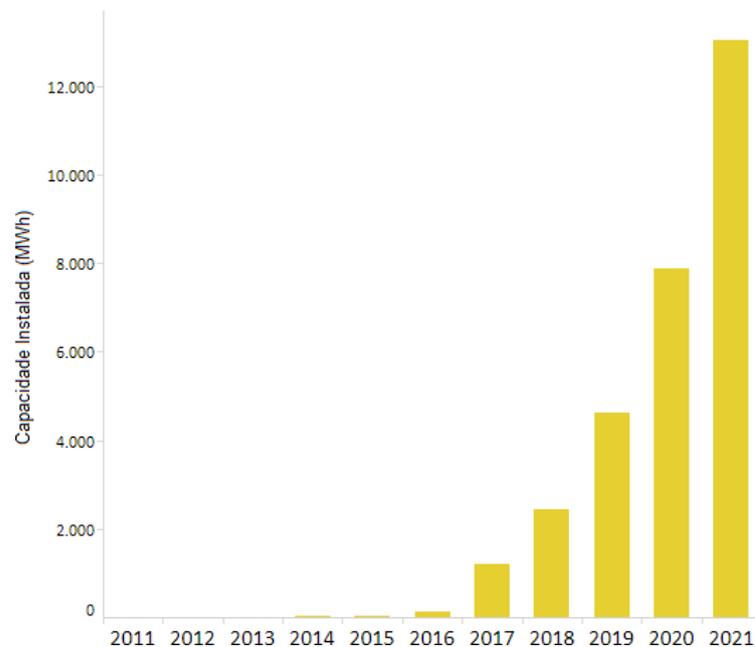
De acordo com o INPE (2017), a energia solar é uma fonte inesgotável. O sol é uma estrela que irradia energia devido às reações de fusão nuclear dos átomos de Hidrogênio para formar Hélio. Por isso, o sol é uma das possibilidades energéticas mais vantajosas e abundantes para a humanidade (ALVES, 2019).

A energia solar é um recurso totalmente renovável e abundante na terra, e os números indicadores dessa energia só vêm crescendo – um exemplo disso são os investimentos que se tornam mais expressivos no mundo inteiro.

Segundo IRENA (2021), através da Figura 1, o número de instalações aumentou em mais de 18% a capacidade de instalação mundial de energia fotovoltaica, no período de 2020 para 2021, chegando a números de 843.086 MW de energia. Analisando a Figura 2, que é a capacidade de instalação no Brasil percebe-se um aumento de aproximadamente 66% em relação a 2020, chegando a 13.055 MWde energia.

**Figura 1 - Capacidade de energia fotovoltaica instalada no mundo**

Fonte: Adaptado de IRENA (2022).

**Figura 2 - Capacidade de energia fotovoltaica instalada no Brasil**

Fonte: Adaptado de IRENA (2022).

IRENA (2021) assinala que, embora a fonte hídrica responda pela maior fatia da capacidade renovável global, com 1.230 GW, a energia solar e eólica continua dominando as novas instalações. Juntas, as duas tecnologias contribuíram em 88% do acréscimo de geração limpa em 2021. A capacidade solar expandiu em 19%, adicionando 133 GW. O *ranking* que

leva em conta grandes usinas (geração centralizada) e sistemas de menor porte como residências (geração distribuída), é liderado pela China, com 306 GW, acompanhada dos Estados Unidos (93 GW), Japão (74 GW), Alemanha (58 GW) e Índia (49 GW), completando as cinco primeiras posições. O Brasil ocupa a décima quarta colocação quando se fala sobre capacidade instalada total até 2021. Contudo, o Brasil ocupa a quarta colocação na capacidade instalada somente neste ano, como mostrado na Figura 3 (EPBR, 2022).

**Figura 3 - Líderes da Energia Solar FV em 2021**



Fonte: ABSOLAR (2022).

## 2.2. Sistemas Fotovoltaicos

Sistema fotovoltaico (SFV) é a denominação que recebe o conjunto de elementos necessários para realizar a conversão direta da energia solar em energia elétrica, com características adequadas para alimentar aparelhos elétricos e eletrônicos. O SFV tem o painel fotovoltaico como principal componente além de, dependendo da aplicação, dispositivos de controle, supervisão, armazenamento e condicionamento de energia elétrica (CARDOSO, 2019).

O sistema de geração de energia fotovoltaica (Figura 4) envolve um módulo solar, caixa de junção, inversor, bateria, quadro de alumínio e painel fotovoltaico. A caixa de junção é constituída de um diodo ou *bypass*. Esse diodo evita que ocorra pontos quentes nos módulos e oferecem um caminho alternativo para a corrente e limitam a dissipação de potência nas células que estão sombreadas. Isso faz com que tenha uma redução da perda de energia e dados irreversíveis das células afetadas, o que inutilizaria o módulo (GTES, 2014).

**Figura 4 - Sistema fotovoltaico**



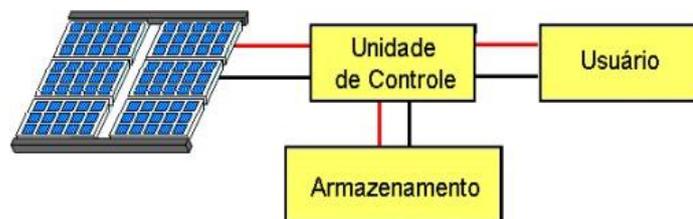
Fonte: NEOSOLAR, s.d.<sup>1</sup>

Um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias distintas:

- Sistemas isolados da rede elétrica (*off-grid*<sup>2</sup>);
- Sistemas interligados à rede (*on-grid*<sup>3</sup>);
- Sistemas híbridos.

Estes sistemas seguem um tipo de configuração padrão onde as partes integrantes são uma unidade de controle de potência e uma unidade de armazenamento, sejam baterias ou uma rede elétrica, conforme na Figura 5 (CRESESB, 2006).

**Figura 5 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico**



Fonte: CRESESB, 2006.

### 2.2.1. Sistemas Isolados (*off-grid*)

Os sistemas *off-grid* (Figura 6) são conhecidos como sistemas isolados ou, também, conhecidos como sistemas não conectados à rede elétrica. Estes sistemas trabalham de forma autônoma, isto é, não trabalham em paralelo com a rede elétrica convencional (PORTAL SOLAR, s.d).

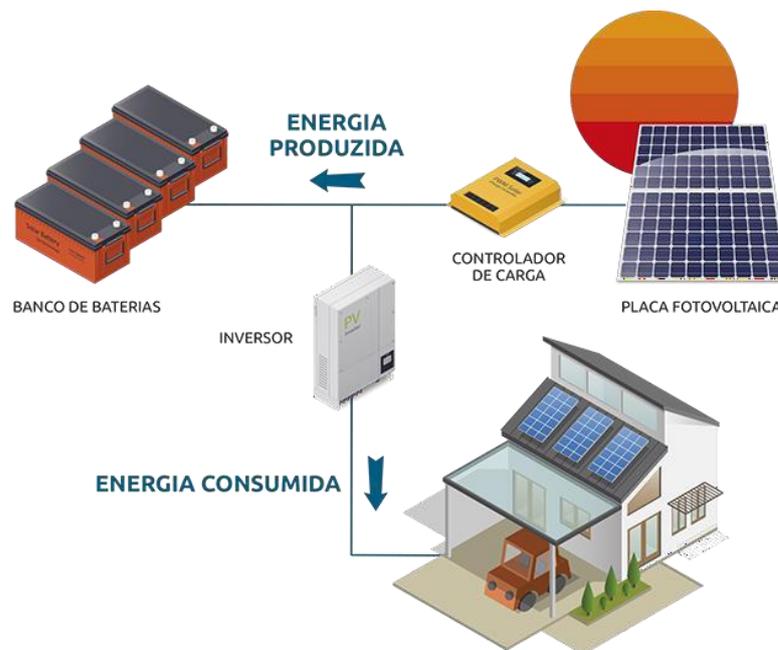
<sup>1</sup> Disponível em [https://www.neosolar.com.br/images/saiba-mais/energia\\_solar\\_fotovoltaica-off-grid.jpg](https://www.neosolar.com.br/images/saiba-mais/energia_solar_fotovoltaica-off-grid.jpg)

<sup>2</sup> Sistemas que não são conectados na rede elétrica de distribuição

<sup>3</sup> Sistemas que são conectados na rede de distribuição

Para MARIA (2017), os sistemas isolados são aqueles compostos por uma unidade geradora, equipamento controlador de potência e dispositivo de armazenamento. Os equipamentos consumidores de energia (veja novamente a Figura 6, equipamentos residenciais) demandam de corrente alternada. Por isso, é necessária a adoção de inversores, que transformam a corrente contínua (CC) produzida pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CA).

**Figura 6 - Sistema fotovoltaico *off-grid***



Fonte: ECO AQUECEDORES, 2011.

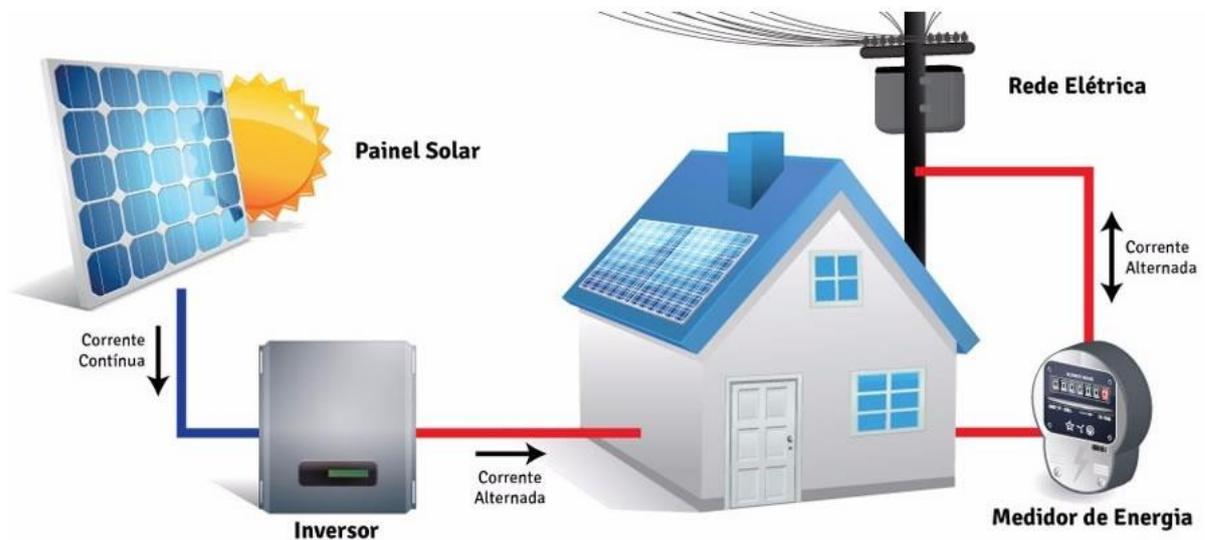
O sistema *off-grid* não é muito utilizado por ainda ter impecílios que inviabilizam sua funcionalidade. O principal motivo dessa dificuldade está relacionado aos altos custos de distribuição e de transmissão, por ter uma baixa demanda dessas localidades se comparadas aos grandes centros de consumo, uma vez que é necessária uma extensa rede de transmissão em alta tensão para o atendimento desses consumidores. Ademais, baterias de armazenamento atualmente não são tão comercializadas, fazendo com que tenha um custo elevado. Portanto, os sistemas isolados podem ser utilizados em regiões remotas, que tem falta de rede de distribuição elétrica ou zonas rurais, fazendas e sítios. Contudo, torna-se improveitoso para as concessionárias de energia por razões principalmente econômicas e técnicas (ALVES, 2019).

### 2.2.2. *Sistemas Interligados à Rede (on-grid)*

Os sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica, também conhecidos como sistemas

*on-grid* (Figura 7), são sistemas que estão centralizados em locais para auto consumo ou próximos aos locais que têm grande geração e capacidade de conexão à rede.

**Figura 7 - Sistema fotovoltaico *on-grid***



Fonte: ECOMAIS, 2022.

A potência fotovoltaica instalada neste tipo de sistema é muito variável, podendo atingir a casa dos MW de pico em centrais fotovoltaicas e dezenas de kW de pico para alimentação de cargas residenciais (BRAGA, 2008).

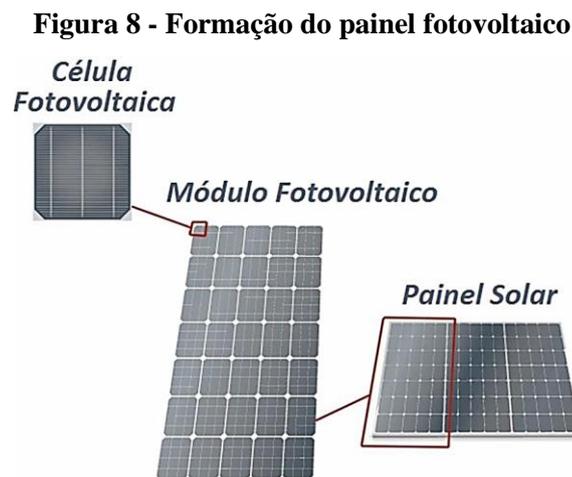
Estes sistemas utilizam grandes números de módulos fotovoltaicos e não utilizam armazenamento de energia local, pois toda a geração é entregue diretamente na rede. Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectado. Todo o arranjo dos módulos é conectado em inversores e na sequência diretamente na rede elétrica, caso não tenha autoconsumo local. Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja (CRESESB, 2006).

### 2.2.3. *Sistemas Híbridos*

Os sistemas híbridos operam desconectados da rede convencional, apresentando diversas opções de fontes de geração de energia como, por exemplo: turbinas eólicas; geração diesel; e módulos fotovoltaicos. A utilização de várias formas de geração de energia elétrica é uma tarefa complexa, pois demanda a necessidade de otimização do uso destas energias. É necessário um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para o usuário (BRAGA, 2008; CRESESB, 2008).

### 2.3. Módulo Fotovoltaico

Segundo IRENA (2022), células solares são dispositivos eletrônicos que convertem a luz solar diretamente em eletricidade. A potência máxima que é alcançada através da utilização de uma única célula fotovoltaica não excede, regra geral, a potência de 3W, o que não é suficiente para a maioria das aplicações reais. Por este motivo, as células fotovoltaicas são normalmente agrupadas, formando os módulos fotovoltaicos. Quando é realizado novamente o agrupamento de módulos fotovoltaicos, esse conjunto é denominado painel fotovoltaico. Observa-se na Figura 8 exatamente o esquema de formação dos painéis fotovoltaicos.



Fonte: RECICLOTECA, 2016

Para NDIEYE *et al.* (2013), os módulos fotovoltaicos são frequentemente considerados o componente mais confiável de um sistema fotovoltaico. A suposta confiabilidade levou ao longo período de durabilidade para módulos de até 25 anos.

Dentre os componentes presentes nos módulos fotovoltaicos de silício cristalino, tem-se a moldura de alumínio (conhecido como *frame*), o vidro especial, os contatos elétricos frontais, a camada antirreflexiva, a camada de EVA, célula solar e a folha de proteção. A composição de um painel fotovoltaico pode ser observada na Figura 9 (LOVATO, 2020)..

**Figura 9 - Composição do painel fotovoltaico**



Fonte: PORTAL SOLAR, s.d.

As células fotovoltaicas individuais são conectadas usando uma faixa condutora extremamente fina. Essa série de células fotovoltaicas é então coberta com uma lâmina de vidro especial, tratado com uma substância antiaderente e antirreflexo, e emoldurado usando o frame. Na parte de trás do painel fotovoltaico, há dois condutores (caixa de junção). Esses cabos da caixa de junção são usados para ligar os módulos solares fotovoltaicos em conjunto, formando uma série de módulos fotovoltaicos. Esse conjunto é então conectado através de cabos de corrente contínua ao inversor solar (PORTAL SOLAR, s.d.).

Nascimento (2020) e Nunes *et al.*, (2012) descreveram o funcionamento de um módulo de acordo com as fases:

- a) Fase 1: a radiação solar atinge as placas do painel, aquecendo-as e então a surge um fluido que circula no interior dos tubos graças à absorção de radiação solar;
- b) Fase 2: a tampa do painel é opaca à radiação, para reduzir as emissões dos tubos absorvedores, sendo o restante da superfície do painel coberta por um material isolante;
- c) Fase 3: esse fluido percorre um circuito fechado, muitas vezes com um sistema de bombeamento;
- d) Fase 04: O tubo que constitui, em geral de cobre, penetra num reservatório de água, aquecendo-a, por transferência de calor;
- e) Fase 05: O aquecimento do tubo de cobre, do fluido e da água é feito por condução;
- f) Fase 6: a circulação do fluido pelos tubos é devido a correntes de convecção (NUNES *et al.*, 2012, p. 159).

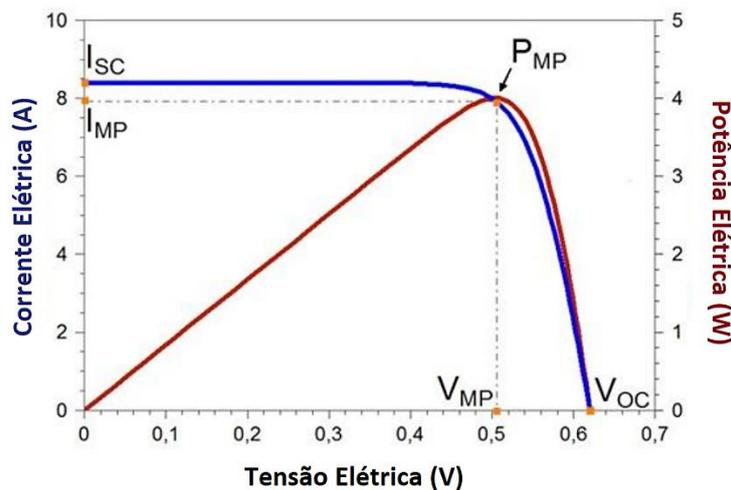
### 2.3.1. Características Elétricas dos Módulos Fotovoltaicos

De acordo com o CRESESB (2006), as principais características elétricas dos módulos são:

- Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) é a tensão máxima obtida com os terminais da célula a uma circulação da corrente com valor nulo;
- Corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ) - máxima corrente obtida com os terminais da célula com resistência nula;
- Máxima potência ( $P_{mp}$ ) - potência máxima do módulo;

- Tensão de máxima potência ( $V_{mp}$ ) - tensão que o módulo apresenta ao fornecer sua potência máxima;
- Corrente de máxima potência ( $I_{mp}$ ) - corrente que o módulo apresenta ao fornecer sua potência máxima;
- A potência de pico de um módulo fotovoltaico é definida a partir de condições de ensaio padrão, que consideram uma temperatura de 25°C e irradiação solar de 1000 W/m<sup>2</sup> (BARBOSA, 2021). A partir desse ensaio, tem-se as curvas características das células fotovoltaicas, conforme a Figura 10.

**Figura 10 - Curva de características I x V x P x V típicas de uma célula fotovoltaica**



Fonte: BARBOSA, 2021.

#### 2.4. Degradação dos Módulos Fotovoltaicos

A degradação dos sistemas fotovoltaicos (FV) é um dos principais fatores a serem enfrentados para reduzir a quantidade da eletricidade produzida, aumentando a vida útil operacional dos sistemas fotovoltaicos. Para reduzir a degradação, é essencial conhecer os fenômenos de degradação e falha dos módulos (AGHAEI *et al.*, 2022).

Durante a operação no mundo real, os módulos fotovoltaicos são expostos a vários fatores de estresses com destaque para a corrosão, a delaminação (separação das lâminas do vidro das células fotovoltaicas), a descoloração, a fratura de células ou materiais de revestimento, bem como a degradação dos componentes e semicondutores. Enquanto os fatores de estresse externos estão relacionados às condições ambientais, os fatores de estresse internos são causados pela lista de materiais dos módulos fotovoltaicos e pelos efeitos relacionados ao processamento (AGHAEI *et al.*, 2022; SIMIONI, 2017). Na Tabela 1 podem ser observados os

modos mais comuns de degradação e falha dos componentes dos módulos fotovoltaicos e seus efeitos.

**Tabela 1 - Modos mais comuns de degradação e falha dos componentes do módulo fotovoltaico e seus efeitos**

<b>Componente</b>	<b>Modos de degradação</b>	<b>Modos de falha</b>	<b>Efeitos</b>
Quadro	Corrosão	Empenamento	Maior risco de danos ao módulo
Vidro	Corrosão do vidro	Quebra, sujeira, abrasão	Corrente reduzida, formação de <i>hotspot</i> <sup>4</sup>
Encapsulante	Foto oxidação	Descoloração, delaminação	Corrente reduzida, aumento da corrosão
Circuito interno (interligações, TCO)	Corrosão	Fadiga, rachaduras	Corrente reduzida, isolamento celular
Células solares	PID, LID, Rachaduras	Isolamento de células (fissuras)	Potência reduzida, formação de <i>hotspot</i>
Folha de trás	Foto oxidação, hidrólise	Descoloração, delaminação, rachaduras	Aumentou corrosão, falha de isolamento
Caixa de junção	-	Arcos, delaminação	Falha elétrica, desprendimento

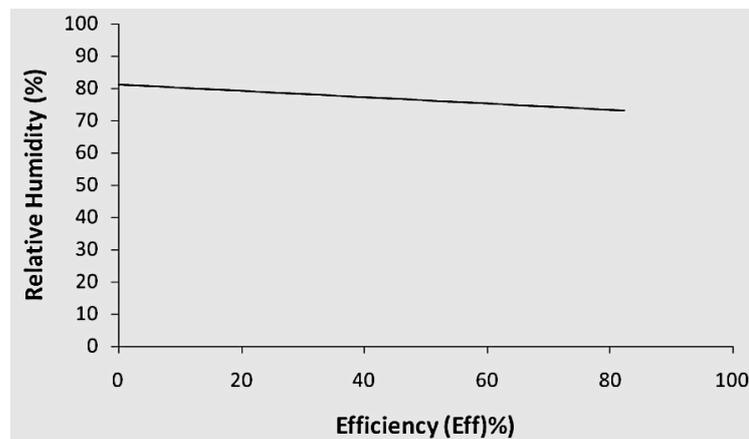
Fonte: AGHAEI *et al.* (2022)

<sup>4</sup> Ponto quente no módulo fotovoltaico

### 2.4.1. Umidade

Quando a luz atinge uma partícula de vapor d'água ela pode ser refratada, refletida ou difratada. A umidade altera a irradiação sobre o painel de forma não linear, e isso afeta o desempenho do sistema fotovoltaico (COMÉRIO, 2019). Pode ser visto na Figura 11 como o aumento da umidade relativa do ar reduz a eficiência do módulo fotovoltaico.

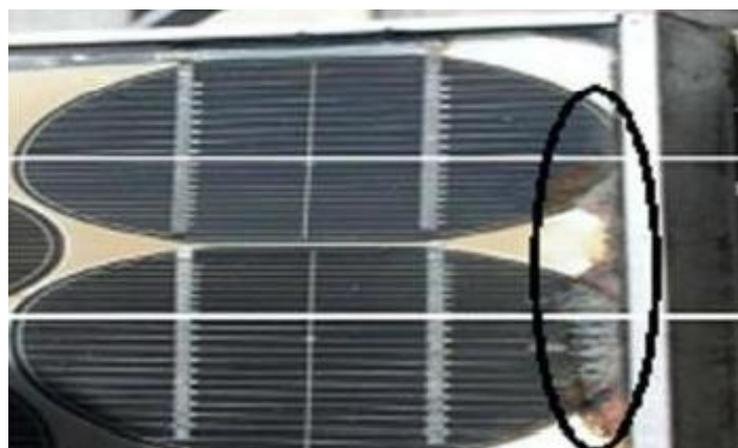
**Figura 11 - Influência da umidade relativa do ar na eficiência do módulo fotovoltaico**



Fonte: Adaptado de Omubo-Pepple; Israel-Cookey, 2009.

A umidade que entra no módulo através das bordas e lâminas ocasiona a corrosão (KEMPE, 2005). Reter a umidade no *frame* aumenta a condutividade elétrica do material. Pela entrada da umidade, a corrosão vai atacar as conexões metálicas das células fotovoltaicas causando uma perda de desempenho pelo aumento das correntes de fuga. A corrosão também degrada a adesão entre as células e a estrutura metálica do módulo. Apresenta-se na Figura 12 um módulo fotovoltaico afetado pela corrosão na borda (NDIAYE *et al.*, 2013).

**Figura 12 - Módulo fotovoltaico afetado pela corrosão da borda**



Fonte: NDiaye *et. al*, 2013.

À medida que a corrosão avança, as áreas de contato entre as camadas metálicas são formadas. A corrosão induzida pela umidade em células solares é frequentemente causada pela delaminação do encapsulante. Essa relação é essencialmente causada pela umidade nos módulos. Quando a temperatura cai, o módulo contrai um pouco, fazendo com que o vapor d'água dentro da região delaminada condense formando um filme eletrolítico que permite a progressão da corrosão durante a metalização da célula (RABELO *et al.*, 2022).

#### 2.4.2. Sujidade (*Soiling*)

A presença de particulados na atmosfera terrestre se dá de diferentes formas, como por exemplo através de poluição, poeira, grãos de areia suspensos em tempestades e materiais orgânicos. A deposição destes materiais sobre os módulos FV representa um obstáculo para que a irradiação solar realize o efeito fotovoltaico. O acúmulo deste material na superfície de um módulo FV é tratado na literatura como *soiling*. Após a irradiação e o aumento da temperatura do módulo por diversos motivos, o *soiling* pode ser o terceiro fator ambiental mais importante no impacto do valor da potência produzida por um sistema FV. Esse *soiling* pode ser muito comum em áreas onde acontece uma grande atuação da mineração, o que provocará o depósito contínuo de resíduos nos módulos. Valores medidos de perdas anuais por *soiling* em um sistema FV são da ordem de 3 a 6%. Contudo, estudos apresentaram valores de perdas por *soiling* de 14%, anualmente, e chegando a 20%, quando medidos em bases mensais (HICKEL, 2017).

A sujidade, dada mediante contaminantes na superfície do módulo fotovoltaico provoca a redução da radiação solar eficaz devido à absorção, reflexão e dispersão. Quando há sujidade acumulada sobre módulos fotovoltaicos, parte da luz solar que seria absorvida pelo painel é impedida ou desviada, diminuindo assim a potência de saída do sistema fotovoltaico (ALVES, 2018).

Embora alguns fatores ambientais ajudem na remoção das impurezas, como a chuva e o vento, a maior parte da sujidade necessita ser removida por outros meios com interferência humana, seja de forma mecânica ou manual, além de produtos de limpeza e equipamentos especializados para módulos fotovoltaicos. (BARBOSA, 2010; ALVES, 2018).

## 2.5. Manutenção e Limpeza de Módulos Fotovoltaicos

O acúmulo superficial de materiais particulados atenua a capacidade de módulos FV. Entretanto, custos com a limpeza de módulos muitas vezes são desconsiderados da avaliação econômica acerca da geração de energia solar, na maioria das vezes por falta de conhecimento.

Quanto maior for a frequência de limpezas realizadas em módulos FV, maiores serão os gastos, porém, em contrapartida, maior será a geração de energia dos módulos. E, em casos em que se faça menos limpezas nos módulos, há menor capacidade de geração de energia fotovoltaica (ALBUQUERQUE, 2020).

A técnica de limpeza manual com água é a mais utilizada atualmente em dispositivos fotovoltaicos, embora seja dispendiosa devido ao custo que envolve, tanto com mão de obra quanto com recursos hídricos, que são muitas vezes escassos em certas regiões em que há sistemas solares instalados (ALVES, 2018).

Porém, há várias outras inovações que fazem com que robôs limpem os módulos de forma mais rápida e padronizada, além de produtos feitos para esse tipo de trabalho.

## 2.6. *Clip de Drenagem*

A umidade relativa do ar também influencia na deposição de sujeira nos módulos fotovoltaicos. O efeito da condensação de vapor na superfície do módulo fotovoltaico forma películas de água entre as partículas de poeira e a superfície de vidro, favorecendo o aumento da adesão entre a partícula e a superfície (Figura 13), o que estimula o acúmulo de poeira, além da criação de pontos quentes nos módulos, sendo prejudicial para os equipamentos (COMÉRIO, 2019).

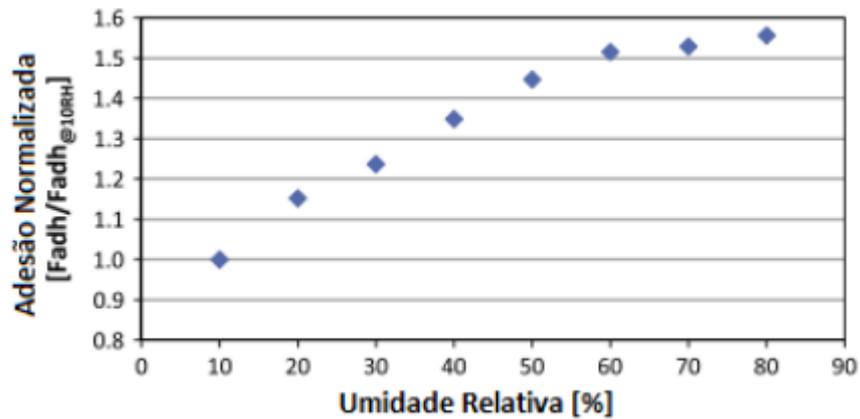
**Figura 13 – Situação de não uniformidade de sujeira**



FONTE: LORENZO *et al.*, 2013.

Quantitativamente, um aumento na umidade relativa de (40 a 80) % leva a um aumento na adesão de sujeira em cerca de 80%, como ilustrado na Figura 14 (COMÉRIO, 2019).

**Figura 14 - Efeito da umidade na força de adesão**



Fonte: Adaptado de Said; Walwil, 2014.

O *clip* de drenagem refere-se a presente invenção de um grampo de drenagem que conjuga a função de drenar água acumulada na borda de painéis solares fotovoltaicos, proporcionando, assim otimização na produção de energia elétrica por aumentar a área dos módulos exposta ao sol e evitar formação de pontos quentes que reduzem a vida útil do painel (Figura 15).

**Figura 15 – Aspecto de *clip* de drenagem**



Fonte: PV CLEAN, 2022.

### 3. METODOLOGIA

Para a realização da pesquisa, foi utilizado um sistema fotovoltaico da SolarView, que é composto por 2 *strings*<sup>5</sup>, totalizando 30 módulos que são analisados de 2 em 2 através de otimizadores. Os painéis ficaram sujos por 9,5 meses, sem estarem ligados. Após este período, ficaram 2 meses em operação, sujos, tendo como forma de limpeza apenas a água da chuva. Os painéis passaram por uma limpeza e colocaram os *clips* de drenagem para verificação da mudança na quantidade de energia produzida por eles. Na Tabela 2 podem ser vistas as especificações do módulo fotovoltaico utilizado.

**Tabela 2 - Especificações técnicas do módulo fotovoltaico Canadian Solar CS1U-420MS**

CARACTERIZAÇÃO	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
Máxima potência ( $P_{max}$ )	420 W
Tolerância	0 - 10 W
Tensão de máxima potência ( $V_{mp}$ )	44,9 V
Corrente de máxima potência ( $I_{mp}$ )	9,37 A
Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ )	53,8 V
Corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ )	9,80 A
Temperatura nominal de operação da célula	$48 \pm 3^{\circ}C$

Fonte: Adaptado de Canadian Solar, 2019.

#### 3.1. Diferença Entre Geração de Energia dos Módulos

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico residencial *on-grid*, foi necessário analisar a quantidade de energia que se deseja produzir alinhada com: quantidade de chuva, demanda de energia solicitada, características dos módulos e do inversor, recursos financeiros disponíveis e condições do ambiente (BARBOSA, 2021).

<sup>5</sup> Sequências de módulos fotovoltaicos em série

O sistema analisado é um sistema que já está em funcionamento, no qual foram analisadas oito placas da *string 1.1* que foram divididas em duplas, na qual as placas 1.1.1 estavam somente sujas, as placas 1.1.2 estavam sujas e com o *clip*, as placas 1.1.3 estavam somente limpas e as placas 1.1.4 estavam limpas e com o *clip*. Desse modo, foram realizados os cálculos para analisar a diferença entre a geração de energia com e sem o *clip* de drenagem, visando ver a diferença na produção de energia entre a *string* exposta na Tabela 3. O cálculo foi computado através do *software* da Solar Edge em que foi calculado a energia total das placas do dia 13 a 19 de novembro. Os dados foram medidos experimentalmente integrando a potência instantânea ao longo do dia e calculada diretamente no *software*. O somatório das potências proporcionou encontrar os dados de energia total diária.

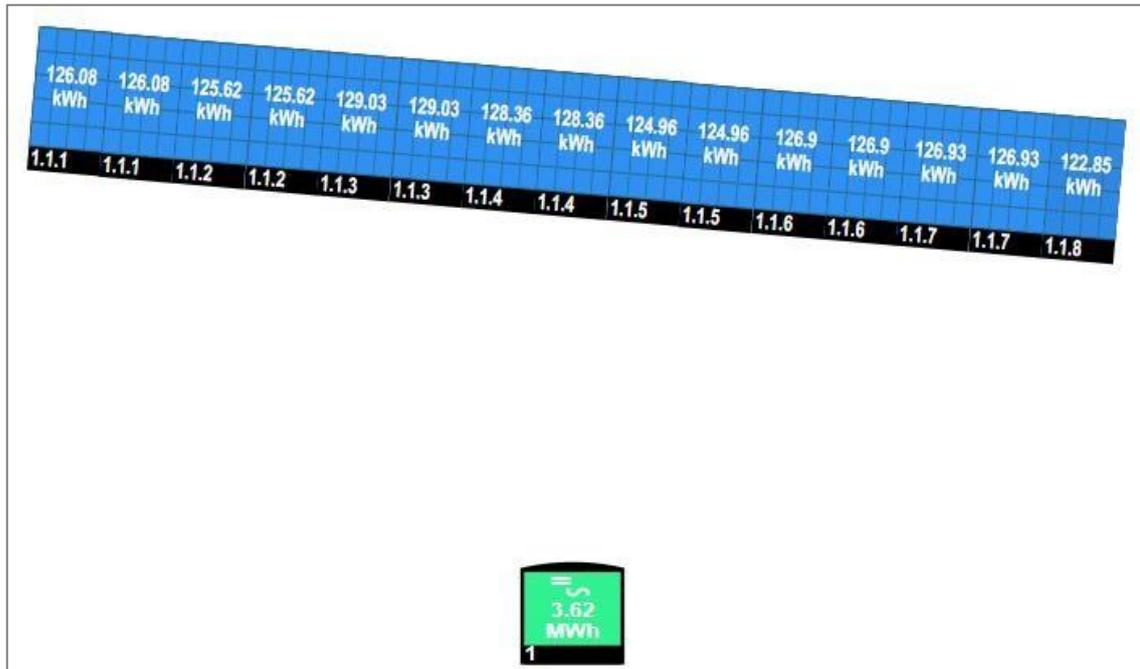
**Tabela 3 – Geração diária da *string* analisada no período de 13 a 19 de novembro de 2022.**

<b>Dias</b>	<b>Módulo 1.1.1</b> Placas somente sujas  <b>(Wh)</b>	<b>Módulo 1.1.2</b> Placas sujas e com <i>clip</i>  <b>(Wh)</b>	<b>Módulo 1.1.3</b> Placas somente limpas  <b>(Wh)</b>	<b>Módulo 1.1.4</b> Placas limpas e com <i>clip</i>  <b>(Wh)</b>
13/11/2022	4696,25	4685,00	4766,00	4777,00
14/11/2022	3463,00	3416,00	3466,50	3484,50
15/11/2022	2337,50	2302,00	2362,00	2388,00
16/11/2022	2771,75	2853,25	2982,25	2998,75
17/11/2022	4886,75	4857,00	5121,25	5116,75
18/11/2022	4394,50	4360,25	4545,20	4547,74
19/11/2022	4163,00	4117,00	4308,75	4324,00

Fonte: Próprio Autor

O sistema tem um dispositivo otimizador que permite analisar um conjunto de duas placas e compará-las em uma mesma *string*. Os módulos estão dispostos em um telhado conforme a Figura 16.

Figura 16 - Disposição física do sistema fotovoltaico analisado



Fonte: Adaptado do Solar Edge, 2022

### 3.2. Coleta de Dados

A aquisição dos dados de produção foi realizada por meio do inversor Solar Edge Trifásico SE20.1K (Tabela 4), sendo os dados de potência e energia registrados pelo *software* de monitoramento do sistema e armazenados em intervalos de 5 minutos.

Para a identificação da eficiência do *clip* de drenagem, o método de avaliação foi um comparativo entre placas de uma mesma *string* analisadas através da equação 1, em que a parcela  $\sum E_1$  é a energia total da placa com o *clip* e  $\sum E_2$  é a energia total da placa a ser comparada.

$$\% \text{ Eficiência (módulo)} = \frac{\sum E_1}{\sum E_2} \times 100 \quad (1)$$

**Tabela 3 - Especificações técnicas do inversor fotovoltaico Solar Edge Trifásico SE20.1K**

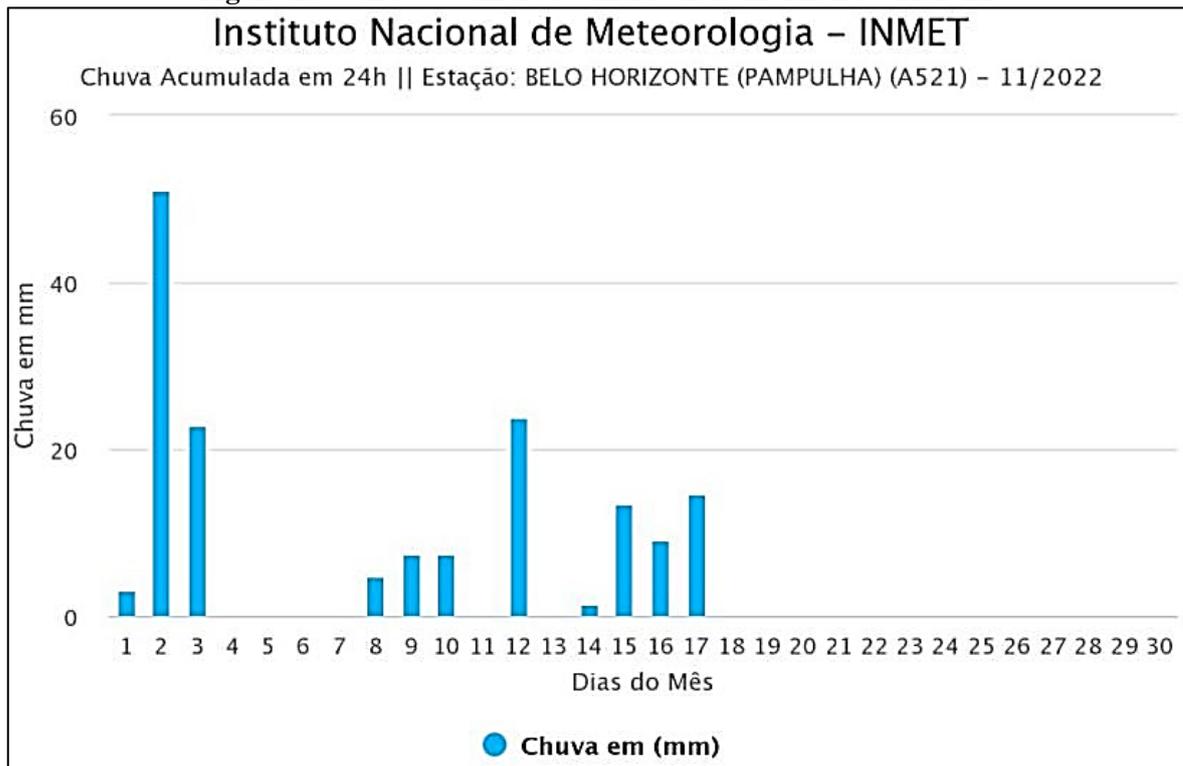
CARACTERIZAÇÃO	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS
Potência Nominal	11.600W - 220/127V 20.100W - 380/220V
Potência Máxima	11.600W - 220/127V 20.100W - 380/220V
Tensão Nominal (FF/FN)	220/127V 380/220V
Frequência Nominal	(60 ± 5)%
Máxima Corrente Injetada (por Fase)	30,45A

Fonte: Solar Edge, 2022

Para analisar a influência da limpeza no sistema de energia solar fotovoltaica, foram coletados os dados de chuva acumulada do período após a limpeza e colocado o *clip* de drenagem. Como o sistema não possui um equipamento para medição de chuva acumulada, foram utilizados os dados coletados no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O INMET possui estações meteorológicas automáticas, que coletam dados meteorológicos de minuto a minuto tais como temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos e radiação solar na área em que está localizada.

Cada hora, estes dados são integrados e disponibilizados para serem transmitidos via satélite para a sede do INMET, em Brasília. O dia escolhido foi um dia que teve chuva e após a limpeza dos módulos fotovoltaicos (em 16/11/2022, como visto na Figura 17).

**Figura 17 - Chuva acumulada em 24 - Belo Horizonte - 11/2022**



Fonte: INMET, 2022.

### 3.3. Inspeção Visual

A inspeção visual do sistema foi realizada a partir do dia 16 de novembro de 2022, de forma a visualizar o sistema com o *clip* de drenagem, configurando-se um comparativo entre as placas sujas com o *clip* de drenagem e sem, além das placas limpas com e sem o *clip*.

Para Santos *et al.* (2020) utilizou a norma ASTM E1799-12, que estabelece uma relação de itens de verificação de acordo com a prática padrão de inspeção visual dos módulos fotovoltaicos, mostrada na Tabela 5. Neste caso, as inspeções foram realizadas após 1 ano de instalação. Essa norma busca especificar os defeitos que os fatores ambientais trazem para os módulos fotovoltaicos.

**Tabela 4 - Verificação da inspeção visual do sistema fotovoltaico, conforme norma ASTM E1799-12**

<b>COMPONENTE</b>	<b>DEFEITO</b>
Moldura de alumínio e estrutura	Corrosão dos fixadores, membros mecânicos ou elementos do circuito elétrico
Conexões elétricas	Interconexões elétricas quebradas, rachadas ou defeituosas
Encapsulante e cobertura posterior	Descoloração dos elementos fotovoltaicos ativos
	Descoloração do encapsulante
	Falha de colagem
	Vazios ou corrosão de qualquer camada de filme fino da célula fotovoltaica
	Bolhas ou delaminação de materiais encapsulantes
Vidro frontal	Quebra, rachadura, arranhões, superfície externa trincada, manchas
Conjunto de células	Célula fotovoltaica trincada ou quebrada

Fonte: Adaptado de SANTOS *et. al*, 2020

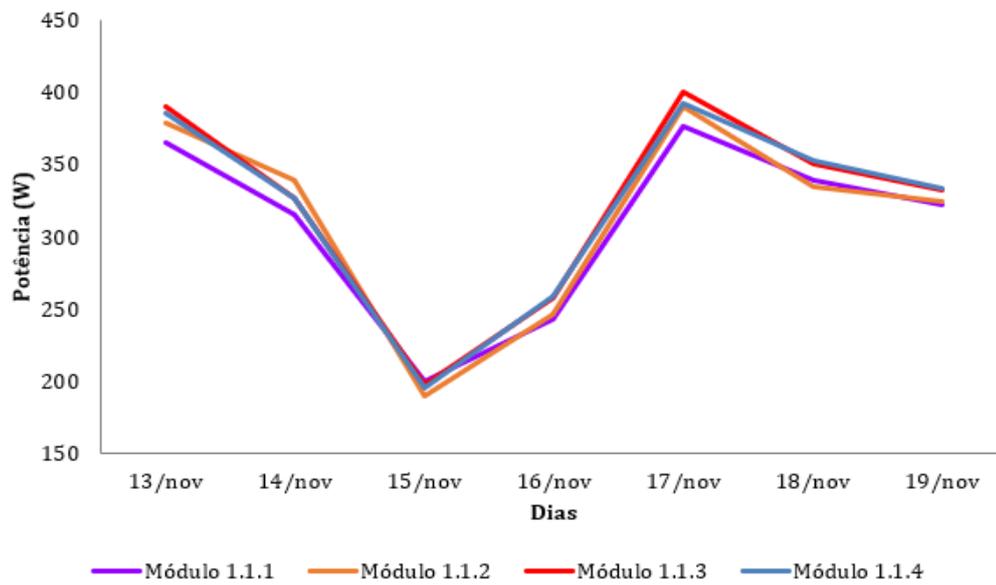
## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Diferença Entre Geração de Energia dos Módulos**

Na Figura 18 são apresentados os valores de potência de saída dos módulos para cada um dos os dias de ensaio. Observa-se a queda na potência de saída do módulo sujo em relação ao seu equivalente. No início do experimento a queda foi praticamente nula, pois coincidiu com um período chuvoso. Porém, após a limpeza da placa (dia 16/nov), houve uma diferenciação entre as potências dos módulos limpos (1.1.3 e 1.1.4) e módulos sujos (1.1.1 e 1.1.2), mas nada relacionado ao *clip* de drenagem. No entanto, de acordo com Souza *et al.* (2022), a potência de saída do módulo sujo diminui gradativamente e começou a diminuir significativamente a partir

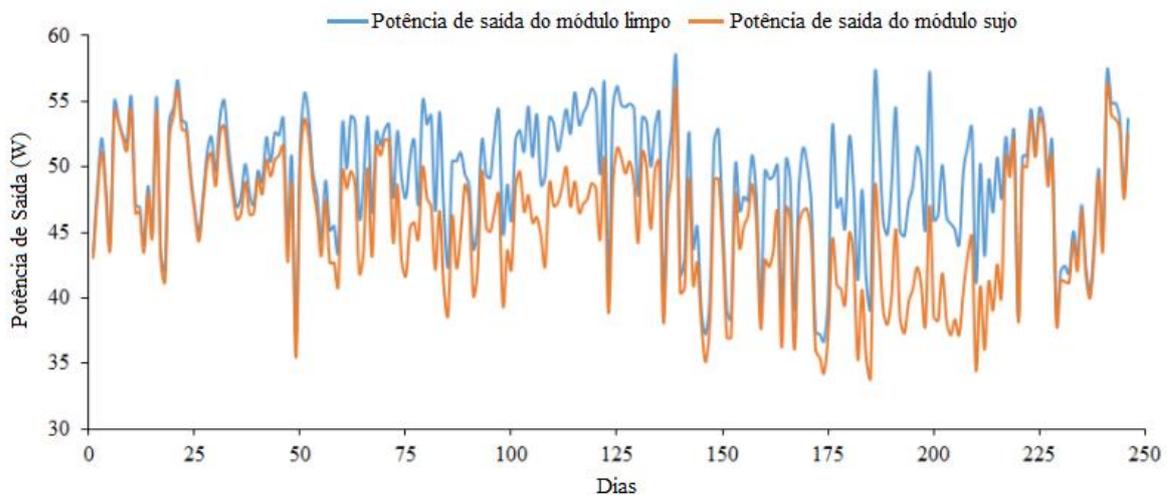
do período seco devido ao acúmulo de sujeira na superfície do módulo. Como as placas foram naturalmente limpas pela chuva, a tendência natural é não ter muita diferença de produção entre os dias desse período. Em contrapartida, espera-se que nos meses de seca em que a concentração de poeira é maior nos módulos, a diferença seja maior, conforme a Figura 19.

**Figura 18 - Potência de saída dos módulos sujos e limpos**



Fonte: Próprio Autor

**Figura 19 - Potência de saída dos dois módulos durante o período experimental**



Fonte: SOUZA *et. al*, 2022

#### 4.1.1. Análise de Ganho de Eficiência do Módulo Através das Curvas IxV

O ganho de eficiência resulta muito de uma corrente e uma tensão adequada do módulo fotovoltaico. Para isso, visualizou-se as Tabelas 6 e 7 como forma comparativa entre a corrente e a tensão.

**Tabela 5 - Corrente média diária do sistema fotovoltaico analisado**

<b>Dias</b>	<b>Módulo 1.1.1 (A)</b>	<b>Módulo 1.1.2 (A)</b>	<b>Módulo 1.1.3 (A)</b>	<b>Módulo 1.1.4 (A)</b>
16/11/2022	3,3170	3,4434	3,5990	3,6229
17/11/2022	5,4227	5,6258	5,7811	5,7014
18/11/2022	4,8724	4,8259	5,0276	5,0926
19/11/2022	4,4748	4,5265	4,6253	4,6645

Fonte: Próprio Autor

**Tabela 6 - Tensão média diária do sistema fotovoltaico analisado**

<b>Dias</b>	<b>Módulo 1.1.1 (V)</b>	<b>Módulo 1.1.2 (V)</b>	<b>Módulo 1.1.3 (V)</b>	<b>Módulo 1.1.4 (V)</b>
16/11/2022	72,0833	70,7225	71,0956	71,1398
17/11/2022	70,2670	69,9880	70,0733	69,9274
18/11/2022	70,2158	69,8339	70,4883	70,3579
19/11/2022	72,1325	72,0134	72,1174	71,8211

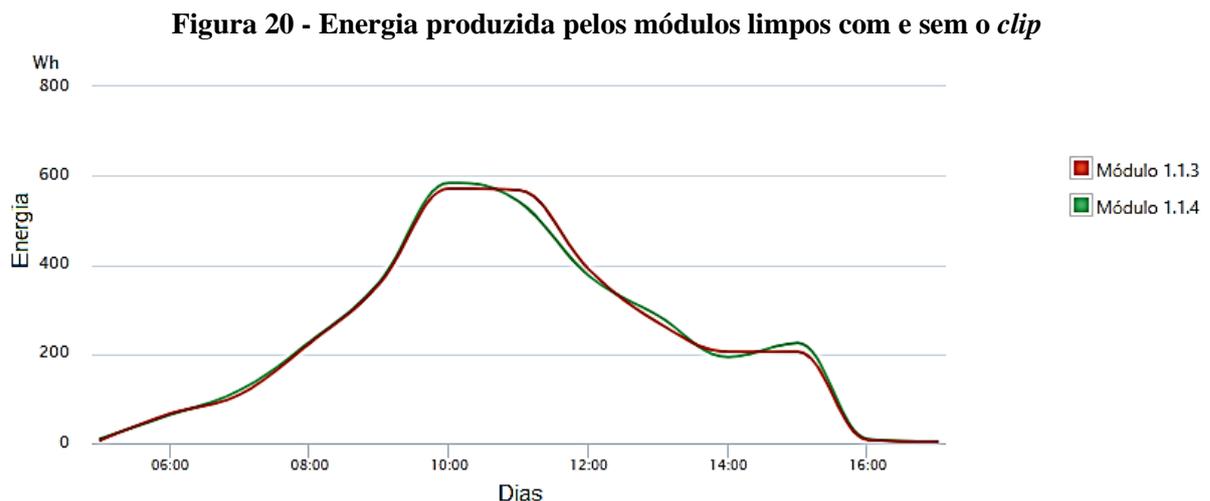
Fonte: Próprio Autor

Para os módulos analisados, viu-se que a corrente foi um pouco maior nos 1.1.3 e 1.1.4 quando comparado com os pares 1.1.1 e 1.1.2. Comparando os módulos com e sem o *clip*, os módulos que continham o *clip* de drenagem (1.1.2 e 1.1.4) apresentam uma corrente mais alta nos dias analisados. Já a tensão seguiu uma condição bem parecida entre os módulos. Para um módulo trabalhar da melhor forma, a tendência é que a corrente esteja mais alta e a tensão mais

baixa, até chegar ao ponto ideal. Como o sistema possui um otimizador, essas condições são mais fáceis de chegar próximo ao ideal. Quando o módulo contém sujeiras, a tensão desse módulo aumenta e a corrente diminui para uma mesma potência, ou seja, ele precisa fazer mais esforço que o normal. Esta visualização é mais simples quando uma *string* não contém um otimizador. Para o sistema analisado, os módulos que contém o *clip* apresentam correntes maiores comparado aos que não contém o *clip*. Sendo assim, os módulos fazem menos esforço e conseqüentemente um trabalho mais dinâmico, favorecendo a vida útil do módulo fotovoltaico.

#### 4.2. Dados Coletados a Partir do Software Solar Edge

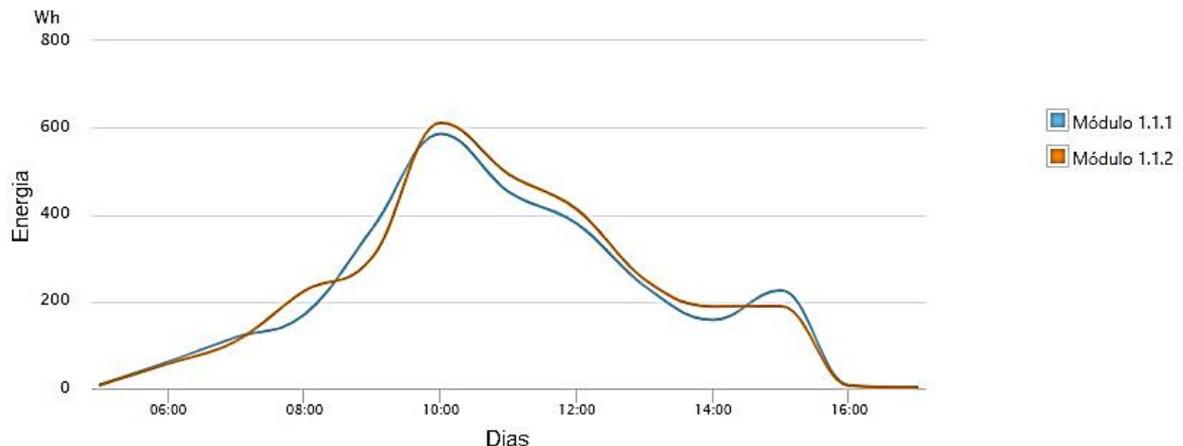
A partir dos dados coletados através do *software*, identificou-se que os módulos limpos com e sem o *clip* (módulos 1.1.3 e 1.1.4) não apresentaram diferenças significativas para o dia analisado, como exemplificado na Figura 20. Desta análise, pode-se dizer que após a limpeza das placas, o *clip* não influencia tanto na energia produzida por cada módulo mesmo após passar por um período chuvoso.



Fonte: Próprio Autor

No entanto, quando analisados os módulos sujos com e sem o *clip* de drenagem (módulos 1.1.1 e 1.1.2) é nítida a diferença de energia produzida entre os módulos, dando a entender que, por mais que o módulo esteja sujo, o *clip* retira a sujeira acumulada principalmente nas bordas dos módulos, fazendo com que a produção de energia pelo módulo aumente em uma visualização nítida, conforme observado na Figura 21.

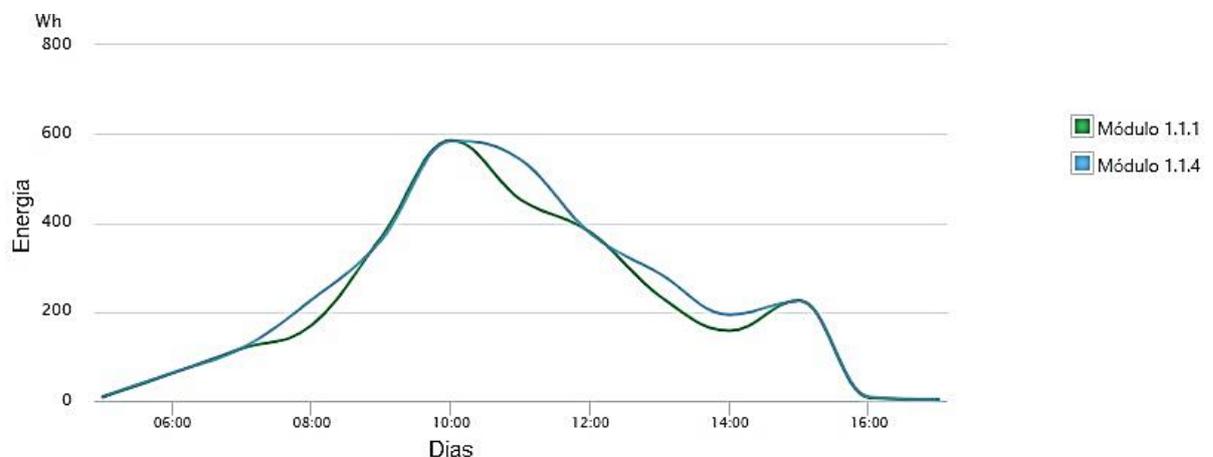
**Figura 21 - Energia produzida pelos módulos sujos com e sem o *clip***



Fonte: Próprio Autor

A sujidade de um módulo afeta diretamente a produção de energia de um sistema, diminuindo a geração de energia daquele sistema, além de influenciar na degradação dos componentes. Viu-se na Figura 21 que após um momento de chuva, o *clip* de drenagem fez diferença na produção de energia, diminuindo a perda de energia por causa desse acúmulo de sujidade no módulo. A diferença fica ainda maior quando comparamos um módulo limpo com o *clip*, tirando até o acúmulo de água da borda, reduzindo a degradação do módulo por água com o módulo sujo sem o *clip*, sendo influenciado pela componente da sujidade e do acúmulo de água representado na Figura 22.

**Figura 22 - Energia produzida pelos módulos limpos com o *clip* e módulos sujos sem o *clip***



Fonte: Próprio Autor

#### 4.2.1. Eficiência do Clip

Para simular a eficiência que o *clip* de drenagem tem, calcula-se a diferença de energia entre os módulos a partir dos valores da Tabela 8.

**Tabela 7 - Geração diária da string analisada a partir do dia 16 de novembro de 2022**

<b>Dias</b>	<b>Módulo 1.1.1</b> Placas somente sujas <b>(Wh)</b>	<b>Módulo 1.1.2</b> Placas sujas e com <i>clip</i> <b>(Wh)</b>	<b>Módulo 1.1.3</b> Placas somente limpas <b>(Wh)</b>	<b>Módulo 1.1.4</b> Placas limpas e com <i>clip</i> <b>(Wh)</b>
16/11/2022	2771,75	2853,25	2982,25	2998,75
17/11/2022	4886,75	2857,00	5121,25	5116,75
18/11/2022	4394,50	4360,25	4545,50	4547,75
19/11/2022	4163,50	4117,00	4287,75	4324,00

Fonte: Próprio Autor.

Na Tabela 9 estão os valores da média da energia produzida por cada um dos módulos analisados nos 4 dias após a limpeza do sistema.

**Tabela 8 - Energia total produzida pelos dias de 16 a 19 de novembro de 2022**

<b>Módulos</b>	<b>Energia Total (Wh)</b>
<b>1.1.1</b>	16216,00
<b>1.1.2</b>	16187,50
<b>1.1.3</b>	16936,75
<b>1.1.4</b>	16987,25

Fonte: Próprio Autor.

A partir dos dados propostos, é possível fazer a análise da eficiência do *clip* comparando os módulos 1.1.4 com os módulos 1.1.1, a partir da equação (1).

$$\% \text{ Eficiência (módulo 1.1.4)} = \frac{\sum E_{1.1.4}}{\sum E_{1.1.1}} \times 100 = \frac{16987,25}{16216,00} \times 100 = 104,76\% \quad (2)$$

Como forma comparativa da análise somente do *clip* de drenagem, fez-se a comparação entre os módulos 1.1.4 e os módulos 1.1.3:

$$\% \text{ Eficiência (módulo 1.1.4)} = \frac{\sum E_{1.1.4}}{\sum E_{1.1.3}} \times 100 = \frac{16987,25}{16936,75} \times 100 = 104,30\% \quad (3)$$

Como forma comparativa a longo prazo, analisando os dois módulos com o *clip*, têm-se:

$$\% \text{ Eficiência (módulo 1.1.4)} = \frac{\sum E_{1.1.4}}{\sum E_{1.1.2}} \times 100 = \frac{16987,25}{16187,50} \times 100 = 104,94\% \quad (4)$$

Quando se fez o comparativo entre os módulos 1.1.1 e o 1.1.4 (equação 2), sujo sem o *clip* e limpo com o *clip* respectivamente, obteve-se uma melhora de 4,76% na relação de um para o outro. Então, após a limpeza e a colocação do *clip*, o sistema que produziu 1,70 MWh no mês de outubro, produziria 1,78 MWh.

Ademais, quando se comparou os módulos 1.1.3 e o 1.1.4 (equação 3), limpo sem o *clip* e limpo sem o *clip* respectivamente, obteve-se uma melhora de 0,30%. Este valor pode não ser significativo quando se olha apenas a percentagem, porém tem uma diferença quando se fala de sistemas fotovoltaicos de grande porte como consta na Tabela 10.

Para uma visão ao longo prazo, fazendo um comparativo que com o tempo alguns sistemas não serão limpos, têm-se o comparativo entre os módulos 1.1.4 e 1.1.2 (equação 4), com os 2 módulos com o *clip* com a diferenciação da limpeza. Para esta comparação, foi identificado que houve uma melhora de 4,94% de melhora na eficiência.

Tabela 9 - Análise do ganho de energia a partir do *clip* de drenagem

<b>Produção Média Mensal (kWh)</b>	<b>Tarifa*</b>	<b>Ganho com usina limpa (R\$)</b>	<b>Ganho extra com usina limpa com o <i>clip</i> (R\$)</b>	<b>Ganho em 30 anos (R\$)</b>
100.000.000	0,628040	2.782.217,20	188.412,00	5.652.360,00
10.700.00	0,543420	257.586,51	17443,78	523.313,46
6.011.280	0,580170	154.499,10	10.462,69	313.880,70
1.000.000	0,526090	23.305,79	1.578,27	47.348,10

\*As tarifas foram aproximadas de acordo com os valores cobrados pelas concessionárias de energia do Brasil

Fonte: Adaptado de SANTOS *et. al*, 2020

Os ganhos para as usinas com produção média mensal já começam a fazer muito sentido, visto que o ganho extra em 30 anos para elas é um acumulado não esperado e de alto valor agregado.

### 4.3. Inspeção Visual

A inspeção visual foi feita no dia da limpeza dos módulos como forma de visualizar as diferenças que teriam os módulos sujos por aproximadamente 1 ano. Foi feita, portanto, um comparativo com os módulos limpos como forma comparativa de análise sobre algum dos desgastes descritos na Tabela 11.

A metodologia de avaliação foi feita a partir da análise em campo, além da visualização da Figura 23 que mostra o perfil dos módulos de avaliação (sujo e na hora da limpeza) do sistema analisado. O sistema foi submetido a análise a partir de ações naturais, resultante dos ventos e chuvas na região.

**Tabela 10 - Análise da inspeção visual do sistema fotovoltaico, conforme norma ASTM E1799-12**

<b>COMPONENTE</b>	<b>ANÁLISE</b>
Moldura de alumínio e estrutura	Sem corrosão ou qualquer tipo de danificação
Conexões elétricas	Conexões vedadas e em ótimo estado. Sem defeito
Encapsulante e cobertura posterior	Nenhuma marca de descoloração, bolhas ou delaminação na parte posterior
Vidro frontal	Mancha nas bordas, além da quantidade baixa de sujeira no vidro
Conjunto de células	Nenhuma célula trincada ou quebrada

Fonte: Adaptado de SANTOS *et. al*, 2020

**Figura 23 - Inspeção visual dos módulos sujos do sistema fotovoltaico**

Fonte: Próprio Autor

Mesmo com aproximadamente 1 ano sem limpeza e sem atuação humana no sistema, não houve resquícios graves que poderiam comprometer o sistema, além da perda de geração de energia. Com isso, após 1 ano em um local pouco agressivo de ações naturais, visualmente o sistema se mostrou bem resistente, para não danificar qualquer componente dos módulos fotovoltaicos, conforme a inspeção visual proporcionada pela Figura 23.

#### *4.3.1. Influência da Sujidade na Eficiência do Módulo com o Clip*

Além dos cenários simulados anteriormente, tem-se a influência da sujidade em relação a perda de energia de cada sistema. Também, quando se estipula 30 anos de duração de um sistema fotovoltaico, este fator é crucial para manter a usina funcionando por todo esse tempo. Então, os valores de melhora de um sistema com *clip* também mudarão se o sistema está limpo ou não, pelo fato da sujidade influenciar até na estrutura do módulo, gerando pontos quentes, causados por sombreamento, reduzindo a eficiência do sistema pelo fato do aumento da temperatura do módulo, que pode ser causado por sujeiras mais agressivas, como tintas e pós cerâmicos, entre outros (ANJOS, 2016).

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi possível, através de dados de campo, observar o comportamento do *clip* de drenagem no módulo fotovoltaico na diferença de geração de energia quando comparado com o módulo que não possui o *clip*. Além disso, foi possível calcular e comparar a influência do procedimento de limpeza dos módulos na sua eficiência.

Notou-se que, os módulos de análise (1.1.4), quando comparado ao módulo sem o *clip* (1.1.3) obteve um ganho de 4,76% (equação 2) e um ganho de 0,30% (equação 3) na eficiência quando comparado aos módulos que apenas estavam limpos (1.1.3). Além disso, o ganho de eficiência do *clip* dos módulos de análise em relação aos módulos que estavam somente com o *clip* e sem nenhuma limpeza (1.1.2) foi de 4,94% (equação 4). Esta diferença pode ter um erro associado pelo fato da análise em um período chuvoso e não avaliando também o período de seca para analisar toda a diferença.

Entretanto, o tempo de análise não permitiu verificar a real diferença entre a eficiência em um período de seca, pelo fato da análise acontecer em dias chuvosos, podendo influenciar na real eficiência de energia que o dispositivo gera.

Ademais, a inspeção visual permitiu observar que não ocorreram danos aos módulos – somente uma camada de mancha em uma parte da extremidade do módulos, que poderia afetar o seu desempenho no quesito de geração de energia. O acúmulo de sujeira e a falta de limpeza são outros dois fatores que foram cruciais na melhora do desempenho do módulo.

Por fim, o *clip* ajuda também no desempenho do módulo para chegar no ponto de máxima potência (MPP), visto que houve uma diferença na corrente entre os módulos com o *clip*, aumentando sua eficiência.

Para trabalhos futuros, a primeira estratégia seria fazer uma análise dos módulos FV com um tempo maior (período de 12 meses) para ter uma análise completa e anual do sistema, abrangendo tempo seco e tempo chuvoso. A segunda seria realizar os testes em ambientes mais rigorosos, principalmente relacionado a sujeira.

## REFERÊNCIAS

AGHAEI, M. et al.. Review of degradation and failure phenomena in photovoltaic modules. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 159, n.1, p. 112160. Mai. 2022.

ALBUQUERQUE, Karine. T. de et al. Otimização da frequência de manutenção preventiva de limpeza em módulos fotovoltaicos maximizando a receita líquida. **Sociedade Brasileira de AUTOMÁTICA**. V. 1, n. 1, Fev. 2021.

ALVES, Felipe Rabelo Rodrigues. **ESTUDO DO EFEITO DA SUJIDADE NA EFICIÊNCIA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**. Orientadora: Marta da Luz. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Curso de Engenharia de Produção. a Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiânia. p. 99. 2018.

ALVES, Grenda Costa Cordeiro. **SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID**: estudo de caso em uma empresa de refrigeração em Campo Mourão-PR. Orientadora: Maria Halmeman. 2017. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Coordenação de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão. 2017. Disponível em:

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7008/1/sistemafotovoltaicoongrid.pdf>.

Acesso em 05 jun. 2022.

ALVES, Marliana de Oliveira Lage. **Energia solar: Estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. Orientador: Sávio Figueira Corrêa. 2019. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Disponível em: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRRAFIA\\_EnergiaSolarEstudo.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf). Acesso em 05 jun. 2022.

ANJOS, R. S. dos. **ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE PONTOS QUENTES EM PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**. Orientadores: Doutor Victor Manuel Fernandes Mendes e Doutor Mário Rui Melício da Conceição. Tese (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica) - Curso de Engenharia Eletrotécnica Energia e Automação. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. p.186. 2016.

BARBOSA, Luiz Henrique Almeida. **ESTUDO E PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL CONECTADO À REDE**. Orientador: Luciano Gomes.

78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/33067/1/EstudoProjetoSistema.pdf>. Acesso em 05 jun. 2022.

BRAGA, Renata Pereira. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES**. Orientador: Jorge Nascimento. 2008. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/7372>. Acesso em 05 jun. 2022.

BRITO, S. de S. **Energia Solar - Princípios e aplicações**. 1. ed. Rio do Janeiro. CEPTEL.

CARDOSO, Hérica Carolinne Campos. **ESTUDO DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E CÉLULAS A COMBUSTÍVEL: UM ESTUDO DE CASO APLICADO AO INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS-CÂMPUS ITUMBIARA**. Orientador: Prof. Dr. Sergio Batista Silva. 2019. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás Câmpus Itumbiara, Itumbiara. 2019. Disponível em: [https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/271/1/tcc\\_herica%20carolinne%20campos%20cardoso.pdf](https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/271/1/tcc_herica%20carolinne%20campos%20cardoso.pdf). Acesso em 27 de jun. 2022.

COMÉRIO, Alessandra. **AValiação do Impacto de Sujidade de Módulos Fotovoltaicos na Geração de Energia Elétrica**. Orientadora: Jussara Fardin. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Curso de Engenharia Elétrica. Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 104. 2019. Disponível em: [https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/11008/1/tese\\_13078\\_Disserta%20a7%20a3o\\_AlessandraComerio.pdf](https://repositorio.ufes.br/bitstream/10/11008/1/tese_13078_Disserta%20a7%20a3o_AlessandraComerio.pdf). Acesso em 02 jun. 2022.

Como Funciona o Painel Solar Fotovoltaico (Placas Fotovoltaicas). **Portal Solar**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em 05 jun. 2022.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 8, 2020, Fortaleza. ASPECTOS DE MANUTENÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

ON-GRID. Fortaleza: CBENS, 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/999/999>. Acesso em 05 jun. 2022.

CRESESB. **Energia solar Princípios e aplicações**. Rio de Janeiro, 50 p. BRASIL. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB). 2006. Disponível em: [www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_solar\\_2006.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf). Acesso em 05 jun. 2022.

EPBR. **Geração distribuída atinge 11 GW no Brasil**. Disponível em: <https://epbr.com.br/geracao-distribuida-atinge-11-gw-no-brasil/>. Acesso em 29 de nov. 2022.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Fontes de Energia**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acesso em 05 de jun. 2022.

**ESTUDO ESTRATÉGICO: GERAÇÃO DISTRIBUÍDA. MERCADO FOTOVOLTAICO**. São Paulo: GREENER, 2022. 153 slides. Disponível em: [https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms%2Ffiles%2F12882%2F1647367897Estudo\\_Estratgico\\_de\\_Gerao\\_Distribuda\\_2021\\_-\\_Mercado\\_Fotovoltaico\\_2\\_semestre\\_-\\_atualizada.pdf?utm\\_campaign=estudo\\_gd\\_2s2021\\_fluxo&utm\\_medium=email&utm\\_source=RD+Station](https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms%2Ffiles%2F12882%2F1647367897Estudo_Estratgico_de_Gerao_Distribuda_2021_-_Mercado_Fotovoltaico_2_semestre_-_atualizada.pdf?utm_campaign=estudo_gd_2s2021_fluxo&utm_medium=email&utm_source=RD+Station). Acesso em 27 de jun. 2022.

FILIPPE, Mariana. Energia solar fotovoltaica: Brasil é o 4º país que mais cresceu em 2021. **exame**, São Paulo, 20 abr. 2022. Disponível em: <https://exame.com/esg/energia-solar-fotovoltaica-brasil-e-o-4o-pais-que-mais-cresceu-em-2021/>. Acesso em: 05 jun. 2022.

Geração distribuída atinge 11 GW no Brasil. **epbr**, 1 jun. 2022. Disponível em: <https://epbr.com.br/geracao-distribuida-atinge-11-gw-no-brasil/>. Acesso em: 05 jun. 2022.

GOETZE, Felipe. **PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL: ESTUDO DE CASO**. Orientador: Roberto Chouhy Leborgne. 2017. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/169263/001049569.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 27 de jun. 2022.

GTES. Grupo de Trabalho de Energia Solar. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB/CEPEL, 2004. Disponível em:

[www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso em: 27 de jun. 2022

HICKEL, Bernardo Meyer. **O IMPACTO NO DESEMPENHO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CAUSADO PELO ACÚMULO DE SUJEIRA SOBRE OS MÓDULOS FV – METODOLOGIA E AVALIAÇÃO ATRAVÉS DE CURVAS IxV EM CAMPO**. Orientador: Ricardo Rütther. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 110. 2017

IRENA. **Renewable Capacity Statistics 2021**. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021>. Acesso em: 05 de jun. 2022.

IRENA. **Renewable Capacity Statistics 2022**. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022>. Acesso em: 05 de jun. 2022.

KEMPE, Michael D. Modeling of rates of moisture ingress into photovoltaic modules. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v. 90, n.1, p. 2720-2738. Out. 2006.

LOVATO, Émilie Scheunemann. **APLICAÇÃO DE CO<sub>2</sub> SUPERCRÍTICO NA DELAMINAÇÃO DE UM PAINEL FOTOVOLTAICO VISANDO A RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS VALIOSOS**. Orientador: Daniel Bertuol. Tese (Mestrado em Engenharia Química) - Curso de Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Maria, p. 83. Santa Maria. 2020.

MARIA, Araceli Patricio. **SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ISOLADO PARA ATENDIMENTO DE RESIDÊNCIAS NO LITORAL PARANÁ**. Orientador: Jair Urbanetz. 2017. 67 f. TCC (Especialização) - Especialização em Energias Renováveis, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7008/1/sistemafotovoltaicoongrid.pdf>. Acesso em 05 jun. 2022.

Matriz Energética e Elétrica. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em 27 de jun. 2022.

MELO, Felipe Cesar. **ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM PROJETO FOTOVOLTAICO. ESTUDO DE CASO: ESTÁDIO ADERBAL RAMOS DA SILVA.** Orientador: Jefferson Brum Marques. 2020. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2020. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/204336/TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 27 de jun. 2022.

MME [Ministério de Minas e Energia]. **Setor elétrico brasileiro alcança recordes históricos e conquistas em 2021.** Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/02/setor-eletrico-brasileiro-alcanca-recordes-historicos-e-conquistas-em-2021#:~:text=A%20matriz%20el%C3%A9trica%20brasileira%20possui,%2C9%25%2C%20em%202021>. Acesso em 05 de jun. 2022.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica.** 2004. Tese (Pós-graduação em Fontes de energias alternativas) - Curso de Energias Renováveis - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

NDIAYE, Ababacar et al. Degradations of silicon photovoltaic modules: A literature review. **Solar Energy**, v. 96, n.1, p. 140-151. Out. 2013.

NUNES, G. B.; SILVA, M. A.; NETO, A. B. M. “Uso de painéis solares e sua contribuição para preservação do meio ambiente”. **Bolsista de Valor: Revista de Divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF - Fluminense**, vol. 2, n. 1, 2012.

OMUBO-PEPPLE, V. B.; ISRAEL-COOKEY, C. ; Alaminokuma, G. I. **Effects of Temperature, Solar Flux and Relative Humidity on the Efficient Conversion of Solar Energy to Electricity.** Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Chigozie-Israel-Cookey2/publication/264879172\\_Effects\\_of\\_Temperature\\_Solar\\_Flux\\_and\\_Relative\\_Humidity\\_on\\_the\\_Efficient\\_Conversion\\_of\\_Solar\\_Energy\\_to\\_Electricity/links/53fdb450cf22f21c2f82e07/Effects-of-Temperature-Solar-Flux-and-Relative-Humidity-on-the-Efficient-Conversion-of-Solar-Energy-to-Electricity.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Chigozie-Israel-Cookey2/publication/264879172_Effects_of_Temperature_Solar_Flux_and_Relative_Humidity_on_the_Efficient_Conversion_of_Solar_Energy_to_Electricity/links/53fdb450cf22f21c2f82e07/Effects-of-Temperature-Solar-Flux-and-Relative-Humidity-on-the-Efficient-Conversion-of-Solar-Energy-to-Electricity.pdf). Acesso em 19 de dez. 2022

Pereira, E. B.; Martins, F. R.; Gonçalves, A. R.; Costa, R. S.; Lima, F. L.; Rüther, R.; Abreu, S. L.; Tiepolo, G. M.; Pereira, S. V.; Souza, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar.** Ed. São

José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Acesso em 05 de jun. 2022.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A (2014). Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro

PINHO, T. V.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro. CRESESB, 2014.

RABELO, Matheus et al. Crystalline silicon photovoltaic module degradation: Galvanic corrosion and its solution. **Engineering Failure Analysis**, v. 138, n.1.

Setor elétrico brasileiro alcança recordes históricos e conquistas em 2021. **Governo do Brasil**, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2022/02/setor-eletrico-brasileiro-alcanca-recordes-historicos-e-conquistas-em-2021#:~:text=Matriz%20el%C3%A9trica%20renov%C3%A1vel,%2C9%25%2C%20em%202021>. Acesso em 27 de jun. 2022.

SIMIONI, Tássio. **O IMPACTO DA TEMPERATURA PARA O APROVEITAMENTO DO POTENCIAL SOLAR FOTOVOLTAICO DO BRASIL**. Orientador: Roberto Schaeffer. Tese (Mestrado em Planejamento Energético) - Programa de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 222. 2017.

Sistema de Energia Off Grid. **Portal Solar**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-energia-solar-off-grid>. Acesso em 05 de jun. 2022.

Sistema de Energia Solar Fotovoltaica e seus componentes. **NeoSolar**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em 05 de jun. 2022.

SOUZA, T. L. S; LIMA, R.L.F.A; JÚNIOR, C. L. Dirt on photovoltaic modules and efficient energy generation in the Brazilian semiarid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.26, n.5, p.321-326, 2022.