

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ENRIQUE MOREIRA IENSEN

**ANÁLISE DE PERDA DE POTENCIAL EM PLACAS FOTOVOLTAICAS POR
ACÚMULO DE SUJIDADES EM FRANCISCO BELTRÃO/PR**

FRANCISCO BELTRÃO

2022

ENRIQUE MOREIRA IENSEN

**ANÁLISE DE PERDA DE POTENCIAL EM PLACAS FOTOVOLTAICAS POR
ACÚMULO DE SUJIDADES EM FRANCISCO BELTRÃO/PR**

**ANALYSIS OF POTENTIAL LOSS IN PHOTOVOLTAIC PLATES DUE TO DIRT
ACCUMULATION IN FRANCISCO BELTRÃO/PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Química do Departamento de Engenharias – DAENG – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Químico.

Orientador: Prof. Dr. Douglas da Costa Ferreira

FRANCISCO BELTRÃO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ENRIQUE MOREIRA IENSEN

**ANÁLISE DE PERDA DE POTENCIAL EM PLACAS FOTOVOLTAICAS POR
ACÚMULO DE SUJIDADES EM FRANCISCO BELTRÃO/PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Engenheiro Químico da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 08 de dezembro de 2022

Douglas da Costa Ferreira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jonas Joacir Radtke
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Vilmar Steffen
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

“A folha de aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso.”

FRANCISCO BELTRÃO
2022

Dedico este trabalho à minha família e amigos, pelo esforço e apoio incondicional atribuídos para realizar o sonho da minha formação de engenheiro químico.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que estiveram comigo durante essa jornada na UTFPR-FB.

Primeiramente homenagear minha família, pelo apoio incondicional durante esses longos anos longe de casa, meus pais Elias e Celma que nunca me deixaram desistir do meu sonho, do meu irmão mais velho Gabriel que trilhou o mesmo caminho e me deu suporte e ao meu irmão mais novo Nicholas que apesar de não estar mais presente em determinado momento da minha vida, mas, sempre desejou a alegria da minha formação e agora está observando a realização do meu sonho de algum lugar desconhecido para nós.

Ao meu amigo de anos, Fabio Bastiani que me indicou o campus, me ajudou durante vários momentos com conversas, estudos e risadas. Meus colegas de turma que hoje considero irmãos que levarei para minha vida, sendo: Leonardo Castoldi, Everaldo Junior, Rodrigo Trennepohl, Guilherme Richard, Henrique Oshima, Gustavo Persicotti, Guilherme Padilha, Alexander Bauer, Bruno Matheus, Bruno Lingnau, José Luis e Douglas Nicolin.

Sem o apoio, as saídas, risadas, conversas, estudos e demais convivências que tivemos, não poderia dizer que a minha graduação foi completa, graças a todos eu posso afirmar que levarei essa cidade e pessoas comigo aonde eu estiver.

RESUMO

O uso da energia fotovoltaica segue em constante crescimento no mundo. O Brasil é um país que utiliza de diversas fontes não-renováveis no seu território, o que impacta diretamente o meio-ambiente e não se torna interessante ao consumidor por fatores externos que podem encarecer a fatura de energia elétrica. A instalação dos painéis solares visa reduzir as outras formas de geração de energia, porém, vários fatores podem reduzir a eficiência do sistema fotovoltaico. Uma das variáveis que impacta negativamente é a falta de higienização das placas quando ocorre o acúmulo de sujidades na superfície da célula solar. O retorno financeiro da instalação das placas fotovoltaicas dura em média quatro anos, entretanto, a falta de limpeza poderá aumentar este tempo pela baixa efetividade do sistema que acarreta em faturas de energia elétrica mais caras. Durante cinco meses, uma placa solar foi instalada de forma que acumulasse sujidades durante o maior tempo possível, com os valores das sujidades, experimentos foram realizados em laboratório para diminuir os efeitos de agentes externos que atuam na potência da placa, sendo usado uma lâmpada para a emissão de irradiação na placa solar. Um teste com o uso da luz solar também foi efetuado para a comparação de resultados entre os experimentos, sendo coletados valores para quantificar a queda de potência que a placa apresentou após esse acúmulo. A queda proporcionada por mês gerou uma perda de efetividade superior a 30% após os cinco meses sem a realização da limpeza da placa, demonstrando que, para o consumidor que tenha ou adquira as placas fotovoltaicas, a manutenção preventiva deve ser realizada em média entre quatro a cinco meses para uma efetividade superior a 70%.

Palavras-chave: energia fotovoltaica; francisco beltrão; sujidades; renovável.

ABSTRACT

The use of photovoltaic energy continues to grow in the world. Brazil is a country that uses several non-renewable sources in its territory, which directly impacts the environment and is not interesting to the consumer due to external factors that can increase the electricity bill. The installation of solar panels aims to reduce other forms of energy generation, however, several factors can reduce the efficiency of the photovoltaic system. One of the variables that impacts capacity is the lack of stability of the plates when dirt accumulates on the surface of the solar cell. The financial return of the installation of photovoltaic panels lasts an average of four years, however, the lack of cleaning may increase this time due to the low transmission of the system, which leads to more expensive electricity bills. For five months, a solar panel was installed in such a way that it accumulated dirt for as long as possible, with the values of dirtiness, experiments were carried out in the laboratory to reduce the effects of external agents that act on the power of the panel, using a lamp to the emission of irradiation on the solar panel. A test with the use of sunlight was also accepted to compare the results between the experiments, and values were collected to quantify the power drop that the plate presented after this accumulation. The drop provided per month generated a learning loss of more than 30% after five months without cleaning the plate, demonstrating that, for consumers who own or purchase photovoltaic panels, preventive maintenance must be carried out on average between four to five months for an increase of more than 70%.

Keywords: photovoltaics; francisco beltrão; dirt; renewable.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Matriz elétrica mundial	14
Figura 02 – Matriz elétrica brasileira.....	15
Figura 03 – Módulo solar produzido pela Bell Labs em 1955.....	16
Figura 04 – Painel solar com células de silício policristalino	17
Figura 05 – Potencial fotovoltaico	19
Figura 06 – Composição da placa solar	20
Figura 07 – Inversor solar.....	20
Figura 08 – Placas limpas e com sujidades	22
Figura 09 – Comparação da conversão de energia.....	23
Figura 10 – Local dos testes em Francisco Beltrão/PR	24
Figura 11 – Célula fotovoltaica.....	25
Figura 12 – Balança semi-analítica	26
Figura 13 – Lâmpada de 12W	26
Figura 14 – Multímetro	27
Figura 15 – Teste da placa solar	28
Figura 16 – Local de instalação da placa solar.....	29
Figura 17 – Coleta de dados laboratorial	30
Figura 18 – Sujidades acumuladas na placa solar	31
Figura 19 – Sujidades/mm ² acumuladas na placa solar	31
Figura 20 – Perda de eficiência do teste laboratorial com uso da areia.....	33
Figura 21 – Perda de eficiência do teste laboratorial com uso da terra	34
Figura 22 – Perda de eficiência do teste laboratorial com uso da poeira	35
Figura 23 – Experimento com o uso da luz solar	36
Figura 24 – Perda de eficiência com o uso da luz solar	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Geração de energia solar	18
Tabela 02 – Rendimento do painel solar com o acúmulo mensal de sujidades laboratorial com o uso da areia	32
Tabela 03 – Rendimento do painel solar com o acúmulo mensal de sujidades laboratorial com o uso da terra.....	33
Tabela 04 – Rendimento do painel solar com o acúmulo mensal de sujidades laboratorial com o uso da poeira	34
Tabela 05 – Rendimento do painel solar com o acúmulo mensal de sujidades para a irradiação solar	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1	Conversão de energia elétrica.....	13
3.2	Matriz elétrica mundial.....	14
3.3	Energia elétrica no Brasil	15
3.4	O que é energia fotovoltaica?	16
3.5	Energia fotovoltaica no mundo	18
3.6	Energia fotovoltaica no Brasil	18
3.7	Placas fotovoltaicas	19
3.8	Sujidades nas placas	22
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	24
4.1	Método experimental.....	24
4.2	Equipamentos utilizados	24
4.2.1	Célula fotovoltaica	25
4.2.2	Balança semi-analítica	25
4.2.3	Lâmpada 12W	26
4.2.4	Multímetro	27
4.3	Coleta de dados.....	27
5	RESULTADOS.....	30
5.1	Teste laboratorial com o uso de areia como sujidade	30
5.2	Teste laboratorial com o uso da terra como sujidade.....	33
5.3	Teste com a laboratorial com o uso da poeira como sujidade.....	34
5.4	Teste com luz solar	35
6	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

A maior parte da produção de energia elétrica na atualidade vem de fontes de combustíveis fósseis, o que ocasiona uma séria degradação do meio ambiente, emissão de CO₂ e demais gases do efeito estufa (Losekann & Tavares, 2020). Existe uma crescente demanda por meios alternativos de se produzir energia limpa e a energia solar se destaca entre estes meios. O recurso da energia fotovoltaica é uma opção bem aceita e figura entre as principais para um futuro próximo, pois, além de apresentar um alto rendimento também gera um impacto mínimo comparado aos que hoje são praticados, necessitando apenas da luz solar para operar.

Mesmo ainda sendo caras, placas fotovoltaicas apresentam um aumento significativo de sua utilização por causa das dificuldades para suprir o consumo de energia elétrica requerido atualmente, e o uso dessa fonte de energia têm se tornado uma opção cada vez mais viável financeiramente. O potencial fotovoltaico é enorme no Brasil, pois a irradiação direta normal no território brasileiro varia entre 1200 e 1800 kWh/m²/ano, dependendo da região onde há a instalação das placas os valores ficam entre 2.000 e 2.300 kWh/m²/ano (DE SOUZA, 2010).

A instalação desse sistema de geração de energia cresceu exponencialmente no Brasil devido ao aumento do valor da taxa de da energia elétrica, proveniente da crise hídrica provocada pela falta das chuvas. Até agosto de 2021 a capacidade instalada de placas fotovoltaicas em todo o país cresceu 39,53% de acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) (Salles, 2021).

Outro fator que está impulsionando o crescimento da utilização de placas fotovoltaicas no Brasil são os programas de financiamento, que tem como objetivo no crescimento do uso de energias renováveis no país, com pesquisas de financiamento e viabilidade de projetos de geração distribuída de energia solar (VASCONCELOS; PANZA, 2018).

O armazenamento da energia convertida pelas placas fotovoltaicas era a maior parte do investimento no sistema, sendo que era necessária uma central de armazenamento, geralmente muito cara. Esse sistema, com central de armazenamento, é chamado de Off-Grid (fora da rede). Agora é possível disponibilizar o excedente da energia das placas fotovoltaicas na rede de energia elétrica (geralmente, durante a o dia, com maior incidência solar, a energia convertida é maior do que o consumo), sendo esse excedente utilizado como crédito para consumo de

energia da rede durante a noite (sistema fotovoltaico em rede). Os sistemas em rede reduziram significativamente o custo de instalação de sistemas fotovoltaicos (INTELBRAS, 2020).

O aumento da utilização da energia fotovoltaica no Brasil e no mundo é significativo e tem um potencial enorme para crescer, no entanto, existem desafios na sua utilização, desde o custo de instalação até sua manutenção. Um dos desafios da manutenção das placas fotovoltaicas é sua limpeza, porque o acúmulo de impurezas na superfície das placas dificulta que os raios solares penetrem por ela, podendo gerar uma queda de eficiência de até 65% dependendo da região e do acúmulo presente nas placas (SYAFIQ et al., 2018).

A limpeza das placas deve ser feita periodicamente, porém, a higienização desse sistema requer muito cuidado e conhecimento, pois há grandes riscos de danificar o material e fazer com que o rendimento seja comprometido (DERAKHSHANDEH et al., 2021).

Considerando o potencial fotovoltaico, sua importância, crescimento e possíveis perdas de potencial, o objetivo principal desse experimento é avaliar a perda de eficiência de placas fotovoltaicas devido ao acúmulo de sujidades, na cidade de Francisco Beltrão/PR e determinar uma estimativa de tempo para a realização da manutenção preventiva.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho de conclusão de curso é estudar a perda de eficiência devido ao acúmulo de sujidades em placas fotovoltaicas instaladas na cidade de Francisco Beltrão/PR e com os resultados obtidos, sugerir uma frequência para realizar a limpeza das placas.

Para complementar e melhor entender o objetivo geral, são determinados os seguintes objetivos específicos:

- a) Determinar o potencial energético das placas fotovoltaicas instaladas na cidade de Francisco Beltrão/PR;
- b) Quantificar qual é o acúmulo de sujidades em placas fotovoltaicas;
- c) Observar e mensurar a queda de rendimento provocado em relação ao acúmulo de sujidades;
- d) Retirar as camadas de sujeira e verificar o rendimento das placas fotovoltaicas;
- e) Determinar os resultados da perda de eficiência pelo acúmulo de sujidades, elaborando um gráfico da perda de eficiência;
- f) Sugerir periodicidade de limpeza das placas fotovoltaicas de acordo com os resultados encontrados.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Conversão de energia elétrica

A energia existe em diversas formas, entretanto, para tornar seu uso possível pode ser necessária a transformação em outra forma de energia, sendo a energia elétrica uma das mais utilizadas. Estudos sobre a eletricidade chamavam a atenção de diversos físicos que realizavam experimentos para compreender melhor o que era a energia elétrica. E através de diversos experimentos prévios, em 1831, Michael Faraday desenvolve e apresenta o seu projeto de indução eletromagnética que possibilitava a conversão de energia mecânica para a elétrica (CARLSON, 2019).

Em 1879, Thomas Edison elaborou a primeira lâmpada elétrica incandescente, inserindo um filamento de carbono no vácuo, impossibilitando a sua queima. A invenção desse objeto possibilitou a comercialização e produção em escala desse produto. Em 1882, inaugurou a *Pearl Street Station* localizada em Nova Iorque, sendo uma central de conversão de energia da queima de carvão para gerar vapor em caldeiras e movimentar eletroímãs. Devido ao aumento do consumo e buscando reduzir o custo de produção, outras fontes de energia foram desenvolvidas. Uma dessas fontes foram as usinas nucleares que convertem energia através da fissão nuclear (CARLSON, 2019).

A conversão de energia nuclear em elétrica apresenta diversas vantagens, tais como: não utilizar combustíveis fósseis, área pequena para instalação, independe de fatores climáticos para operar e baixo custo para obtenção do urânio (matéria-prima utilizada para a conversão de energia) (ELETROBRAS, 2021).

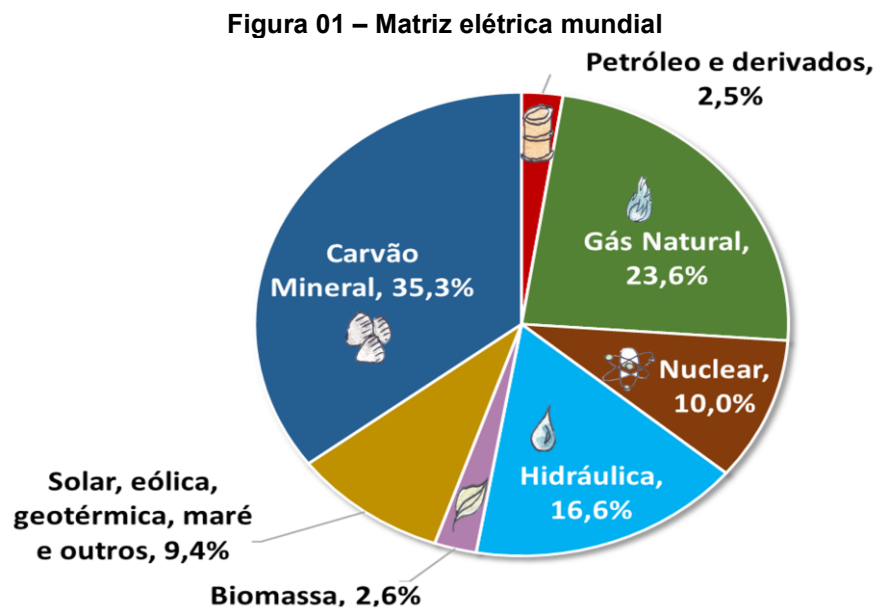
Porém, uma das oposições contra o uso das usinas nucleares se dá pelo fato do despejo do lixo nuclear que degradam solos, ar e águas (a maioria do lixo é depositado no fundo do mar), além do risco de explosões que podem gerar uma contaminação radioativa, levando diversas formas de vida a morte, (Carlos Parejo, 2021) como ocorrido em Chernobyl.

Uma preocupação mundial está relacionada a degradação do meio ambiente. Um dos fatores prejudiciais das usinas que utilizam petróleo para a conversão de energia é a liberação do dióxido de carbono e outros gases poluentes extremamente agressivos ao ambiente que provocam o aquecimento global e outros fenômenos nocivos à saúde.

A maioria dos meios utilizam petróleo e o seu alto preço gerou uma grave crise econômica, as redes de conversão de energia eólica, hídrica, biomassa e solar ganharam força, pois, além de serem provenientes de fontes renováveis e não necessitarem do uso de combustíveis fósseis, não geram impactos ambientais tão graves como as que usufruem de recursos finitos para a conversão de energia (DONIZETI BERNI; VALDIR BAJAY, 2006).

3.2 Matriz elétrica mundial

A matriz elétrica se caracteriza como os meios de fonte de energia disponíveis para a geração de energia elétrica em um país, estado ou mundo. A maioria dos recursos utilizados mundialmente são os combustíveis fósseis, carvão e gás natural, como mostra o gráfico da Figura 01.

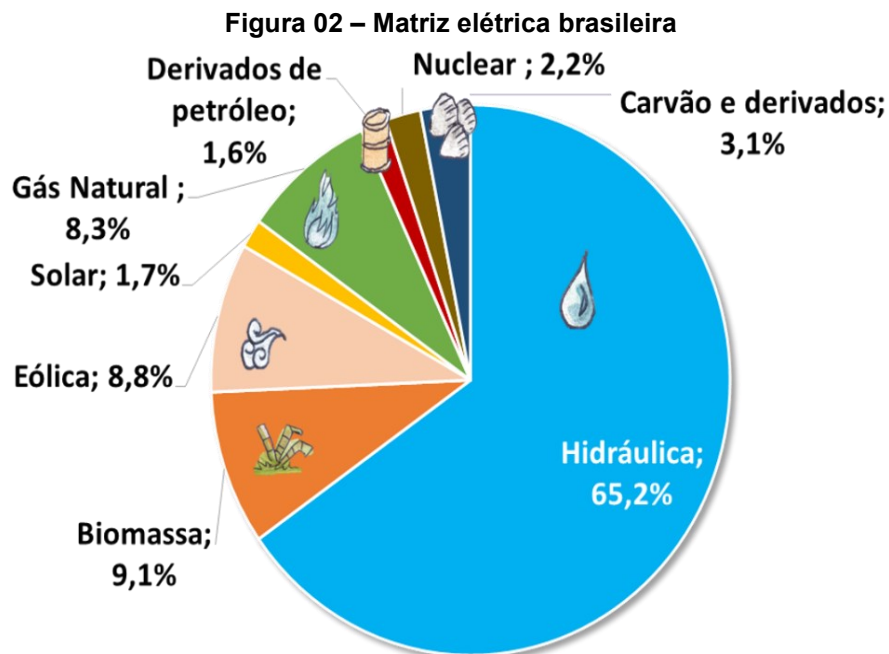


Fonte: Governo Brasileiro (2021)

Com o passar dos anos e com o aumento das exigências mundiais em relação à diminuição da emissão de gás carbônico e outros gases nocivos à saúde e que estão ocasionando o efeito estufa, o gráfico tende a sofrer alterações, fazendo com que a porcentagem do uso de energias renováveis aumente, enquanto a queima de combustíveis regrida.

3.3 Energia elétrica no Brasil

Com a crise do petróleo na década de 70 o preço do barril de petróleo sofreu um aumento expressivo e o Brasil viu necessidade de buscar meios no seu território para realizar a conversão de energia. Uma das alternativas empregadas foi o investimento em biocombustíveis provenientes da cana-de-açúcar que até hoje é presente no país (NUNES, 2018). A partir disso, o uso de energias renováveis no país sofreu um crescimento exponencial, o principal meio utilizado é proveniente da geração hidrelétrica, sendo seguido por aumentos expressivos das usinas eólicas, biomassa e solares, como ilustrado na Figura 02.



Fonte: Governo Brasileiro (2021)

O Brasil utiliza em abundância dos recursos renováveis disponíveis no seu território com baixa utilização de meios que agridem o meio ambiente. Visando aumentar esses dados, estipulou uma meta na COP26 de reduzir em 50% a emissão de gás carbônico até 2030 e de neutralidade de emissão para o ano de 2050. Caso, de fato isso ocorra, o gráfico nacional tende a sofrer grandes alterações, com o aumento da utilização de usinas solares e eólicas e redução na utilização dos derivados de petróleo (CRISTALDO, 2021).

3.4 O que é a energia fotovoltaica?

A energia fotovoltaica é proveniente da radiação solar quando em contato com as placas solares. O funcionamento desse sistema consiste na incidência da luz solar (fótons) nas células semicondutoras (elétrons), ocorrendo a movimentação no interior da placa e a conversão de energia.

A descoberta do efeito fotovoltaica foi no ano de 1839, por Edmond Becquerel, que observou que quando as placas metálicas, platinas ou prata ao serem mergulhadas em um eletrólito produzem uma diferença de potencial ao serem expostas a luz solar. Em 1883, Charles Fritts desenvolveu a criação da primeira célula fotovoltaica produzida por selênio revestido de ouro (M. VALLERA, 2006).

Em 1905, Albert Einstein explicou como ocorre a conversão de energia solar em elétrica, aprimorando os conceitos do físico Heinrich Hertz em 1887, apontando a emissão de elétrons de uma superfície em interação com a onda eletromagnética. Em 1922 recebeu o Prêmio Nobel pelos estudos envolvendo a sua teoria de que o raio de luz era uma forma de geração de energia e não uma onda percorrendo o espaço (DIANA, 2021).

Em 1954 a primeira célula fotovoltaica foi desenvolvida, e a partir disso possibilitou que em 1958 desse início a utilização dos painéis solares para alimentar um rádio do satélite no espaço. Após o sucesso do experimento, a instalação em áreas comerciais e residenciais se tornou possível, necessitando apenas da melhoria do método (“Como surgiu a energia solar,” 2019).

Figura 03 – Módulo solar produzido pela Bell Labs em 1955



Fonte: Cristina Correa (2018)

Os engenheiros David Carlson e Christopher Wronski desenvolveram a célula de Silício Amorfo, aumentando a eficiência das placas em 1,1% em 1976. Em 1992 a criação da célula de filme fino pela Universidade da Flórida do Sul possibilitou um aumento de 15,89% de eficácia das placas solares (PORTAL SOLAR, 2006).

Em 1994, com uma célula de gálio fosforeto de índio/arsenieto de gálio produzida pelo National Renewable Energy Laboratory, foi possível atingir uma eficiência superior a 30%. Com os estudos avançados da tecnologia dos painéis solares, um rendimento de 40% pode ser obtido ao utilizar células solares de polisilício, tornando esse tipo de energia cada vez mais acessível e passível para expansão a nível mundial. A Figura 04 apresenta a estrutura da placa com as células de polisilício, sendo as mais utilizadas atualmente a cenário mundial (PORTAL SOLAR, 2006).

Figura 04 – Painel solar com células de silício policristalino



Fonte: Portal Solar (2021)

3.5 Energia fotovoltaica no mundo

Países que lideram o ranking do PIB mundial investem fortemente nessa fonte de energia, apresentando potência total instalado superior a 303GW, ou seja, em torno de 25 vezes a mais do que a capacidade instalada no Brasil (DEMACENA DE ARAUJO et al., 2018).

Na Tabela 01, é apresentado uma relação dos países que mais investem na instalação da energia solar, a China é o país dominante nesse quesito, o Brasil vem apresentando crescimento no setor.

Tabela 01 – Geração de energia solar

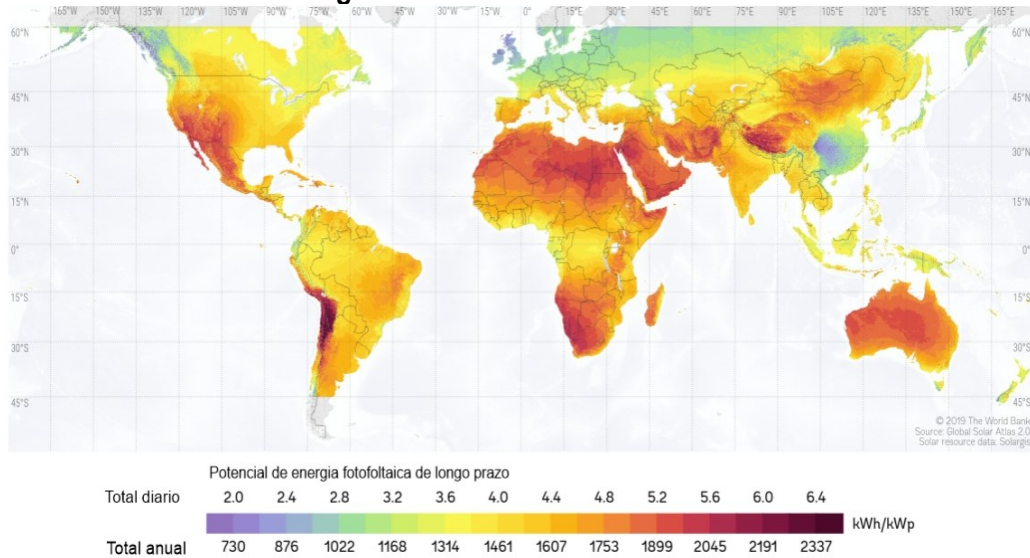
Ranking	País	Capacidade Instalada [MW] (2020)
1	China	253.884
2	EUA	73.814
3	Japão	68.665
4	Alemanha	53.781
5	Índia	38.983
6	Itália	21.594
7	Austrália	17.342
8	Vietnã	16.504
9	Coréia do Sul	14.575
10	Reino Unido	13.462
11	Espanha	11.785
12	França	11.724
13	Países Baixos	10.213
14	Brasil	10.000

Fonte: Globo (2021)

3.6 Energia fotovoltaica no Brasil

No Brasil, a utilização das placas fotovoltaicas teve a regulamentação aprovada em 2012 pela ANEEL nº 482/2012, possibilitando a conversão de energia solar em elétrica em residências e áreas comerciais (GOMES SOARES JÚNIOR; RAMOS CRUZ; SANTOS AMARAL, 2018).

O Brasil tem potencial imenso para a instalação desse sistema de conversão de energia, a depender da região, a irradiação direta normal pode variar entre 2.000 e 2300 kWh/m²/ano(VIANA, 2010). Como pode ser observado na Figura 05, a incidência solar no território nacional é imensa em diversos estados e em várias estações do ano.

Figura 05 – Potencial fotovoltaico

Fonte: Pratti (2020)

Com a crise gerada pela pandemia e agravada pela escassez de chuvas, as usinas hidrelétricas sofreram uma redução no seu potencial de conversão de energia, necessitando cada vez mais do uso das usinas termelétricas, o que acarretou num aumento significativo na conta de energia elétrica.

A busca por fontes renováveis de energia ganhou força no território brasileiro, mas, uma das dificuldades para o interesse da instalação do sistema fotovoltaico é o custo para a instalação, manutenção e o tempo necessário para que haja o retorno financeiro (GIACOMAZZI DANTAS, 2020).

Incentivos fiscais estão ganhando cada vez mais força no país para a instalação dos painéis solares, a Lei 8.922/20 garante isenção sobre o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Uma oportunidade de financiamento para a instalação das placas solares foi anunciada pela Caixa Econômica Federal, também para estimular mais pessoas físicas a adquirirem o sistema com uma baixa taxa de juros e elevado número de parcelas (PEDRO MALAR, 2021).

3.7 Placas fotovoltaicas

As placas solares, são compostas por matérias que convertem a energia solar coletando fótons que colidem com o átomo de silício, gerando um deslocamento dos elétrons e consequentemente uma corrente elétrica. É apresentado na Figura 06 a composição do painel fotovoltaico, tendo a moldura, película encapsulante e o vidro especial para proteger a célula fotovoltaica.

Figura 06 – Composição da placa solar



Fonte: Portal Solar (2021)

Na Figura 06, na parte inferior, tem-se a caixa de junção, onde se encontram dois condutores responsáveis por conectar as placas em uma série de painéis. Esses cabos são ligados em corrente contínua ao inversor solar, encarregado de tornar a corrente contínua para a corrente alternada (Porta Solar, 2021), como apresentado na Figura 07.

Figura 07 – Inversor solar



Fonte: Molina (2019)

Para o armazenamento de energia gerada, é necessário o uso de uma bateria que fornece energia de forma constante para evitar que ocorra desperdício da mesma para quando o consumo diário for baixo, sendo denominados de sistemas off grid (fora

da rede). O outro sistema disponível é chamado de on grid (na rede), que consiste na instalação do sistema diretamente na rede pública de conversão de energia. A energia que foi convertida e não foi utilizada é convertida em créditos ao consumidor (INTELBRAS, 2020).

Vários fatores podem influenciar diretamente no funcionamento das placas solares, por exemplo, irradiação solar direta, posicionamento, inclinação, sombreamento, modelo da placa e a temperatura ambiente.

As placas solares, apesar de estarem em constante estudo para substituir diversos modelos de geração de energia, ainda apresentam um baixo potencial de conversão de energia. As placas operam com baixos rendimentos, podendo variar entre 15% a 20% normalmente de eficiência a depender do modelo da placa, em casos mais raros, pode-se encontrar painéis com até 22,8% de rendimento, ou seja, uma placa de rendimento de 21% acarretará em um potencial de geração de 50% acima em relação a um painel de 14% (Portal Energia, 2020).

Como as placas são operadas em laboratórios a 25°C e o Brasil é um país com elevadas temperaturas em relação aos locais de origem dos testes, o painel acaba por ter uma temperatura acima dos 25°C de operação, ou seja, a eficiência das placas vem a ser prejudicados por essa variável. Esse fator é dependente da temperatura ambiente, denominado coeficiente de temperatura, fazendo com que a potência da placa caia a cada 1°C a mais captado pelo painel, podendo variar normalmente entre uma queda de 0,35% a 0,5% do potencial de geração de energia por grau Celsius (Portal Solar, 2022).

Como o investimento para a instalação das placas solares é elevado, espera-se que o retorno financeiro ocorra da forma mais rápida possível. Para que o custo seja compensando, as manutenções do equipamento devem ser feitas periodicamente, observando se as placas apresentam arranhões, rachaduras e outros tipos de avarias que podem ocasionar na troca das mesmas.

Uma das manutenções exigidas para manter as placas no seu desempenho elevado consiste na higienização em intervalo de tempos dos painéis. O acúmulo de sujeiras se torna mais agravante com a falta de chuvas, gerando uma maior concentração de folhas, poeiras e dejetos que impedem que os raios solares atinjam as placas (Araújo, 2021).

3.8 Sujidades nas placas

Como as placas solares necessitam da incidência solar para a conversão de energia elétrica, um dos fatores que acarretam na queda de rendimento se dá pelo acúmulo de sujidades no equipamento.

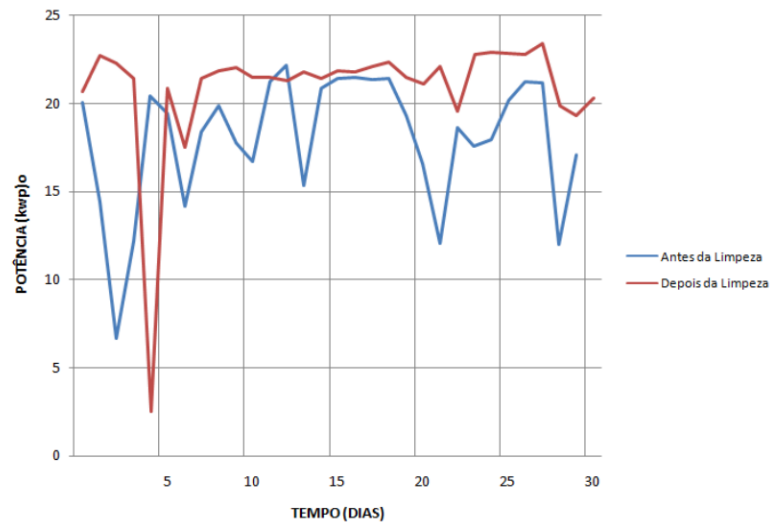
As sujidades são resíduos inorgânicos presentes no ambiente, proveniente da poeira, queima de combustível e até dejetos de aves. As placas solares apresentam estrutura áspera e aderente, esses fatores influenciam diretamente para que ocorra o agrupamento de impurezas. A posição de instalação inclinada das placas também acarreta para esse acúmulo de sujeira, quanto mais horizontal à inclinação da placa maior a probabilidade de concentração de impurezas (Gomes Soares Júnior et al., 2018), como pode ser observado na Figura 08.

Figura 08 –Placas limpas e com sujidades



Fonte: Imperio Solar (2020)

O acúmulo de sujeiras é diminuído pelas limpezas ocasionadas pelas chuvas periódicas, porém, quando uma estiagem ocorre, o agrupamento de sujidades se torna mais grave, gerando uma queda de até 26% de eficiência do sistema fotovoltaico. Na Figura 09, é possível observar no gráfico a diferença de conversão de energia antes e depois da limpeza das placas, demonstrando que a limpeza aumenta significativamente o potencial de conversão de energia (RAMOS BARBOSA; DOS SANTOS FERREIRA DE FARIA; DE BRITO GONTIJO, 2018).

Figura 09 – Comparação da conversão de energia

Fonte: Ramos Barbosa (2018)

Para efetuar a limpeza das placas solares, além de utilizar os materiais corretos para a higienização do sistema, o conhecimento de como se realiza a limpeza é fundamental. Caso ocorra avarias no material por descuido, a eficiência da placa e o material é comprometido, tendo que realizar a sua substituição.

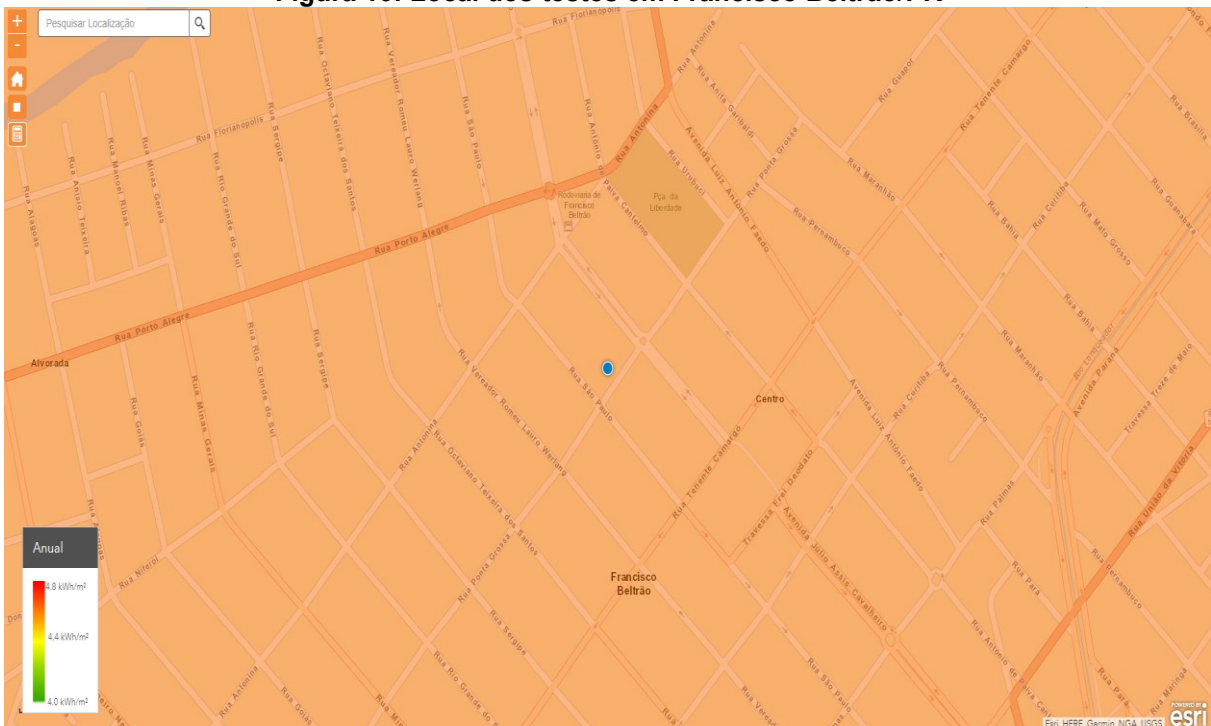
A limpeza das placas deve ser efetuada em intervalos de tempo determinados para manter a sua eficiência constante, o método de limpeza pode ser realizado manualmente com água e produtos que não danifiquem o material (GOMES SOARES JÚNIOR; RAMOS CRUZ; SANTOS AMARAL, 2018).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Método experimental

Para o desenvolvimento do experimento, um local estratégico foi escolhido na cidade de Francisco Beltrão/PR, para instalação da placa solar, sendo alocada de forma com que receba a luz solar em toda sua superfície e o acúmulo de sujidades ocorresse de forma natural para coleta de dados.

Figura 10: Local dos testes em Francisco Beltrão/PR



Fonte: Copel (2022)

De acordo com o mapa da Figura 10, é possível verificar que o local dos testes, representado pelo ponto azul, se localiza no centro da cidade, o que agrega significativamente para o acúmulo de sujidades na célula solar, pois, o tráfego de veículos é constante durante os períodos do dia. A irradiação solar anual, varia entre 4.4 a 4.5 kWh/m².

4.2 Equipamentos utilizados

Para o desenvolvimento do projeto, alguns componentes foram adquiridos para a realização do experimento, sendo:

- Multímetro
- Célula Fotovoltaica 6V

4.2.1 Célula fotovoltaica

Para a quantificação dos valores da incidência de luz solar, uma célula fotovoltaica será utilizada no projeto, a mesma será responsável por determinar a eficiência da célula quando realizado os testes.

Figura 11: Célula fotovoltaica



Fonte: Eletrogate (2022)

Especificações:

- Tensão de funcionamento: 7V
- Potência máxima: 1W
- Corrente de funcionamento: 0 - 180mA
- Dimensões: 110mm x 83mm
- Área: 9130mm²

4.2.2 Balança semi-analítica

A balança será utilizada para pesar a placa solar e quantificar pela diferença de peso entre a placa limpa e suja o valor das sujidades que se alojaram na placa.

Figura 12: Balança semi-analítica



Fonte: Forlab Express (2022)

- Capacidade: 3200g
- Leitura: 0,01g
- Repetitividade (desvio padrão): 0,01g
- Linearidade: 0,003g
- Temperatura de Operação: 5-40 °C
- Tamanho do prato: 160 X 124 mm

4.2.3 Lâmpada 12W

Uma lâmpada com potência de 12W será utilizada para verificar a queda de potência da placa solar em laboratório de acordo as sujidades coletadas durante os meses de testes, servindo como a fonte de irradiação que atuará na célula para a quantificação dos valores.

Figura 13: Lâmpada de 12W



Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.4 Multímetro

Para a quantificação dos valores da corrente e tensão, um multímetro será utilizado.

Figura 14: Multímetro



Fonte: Formis (2022)

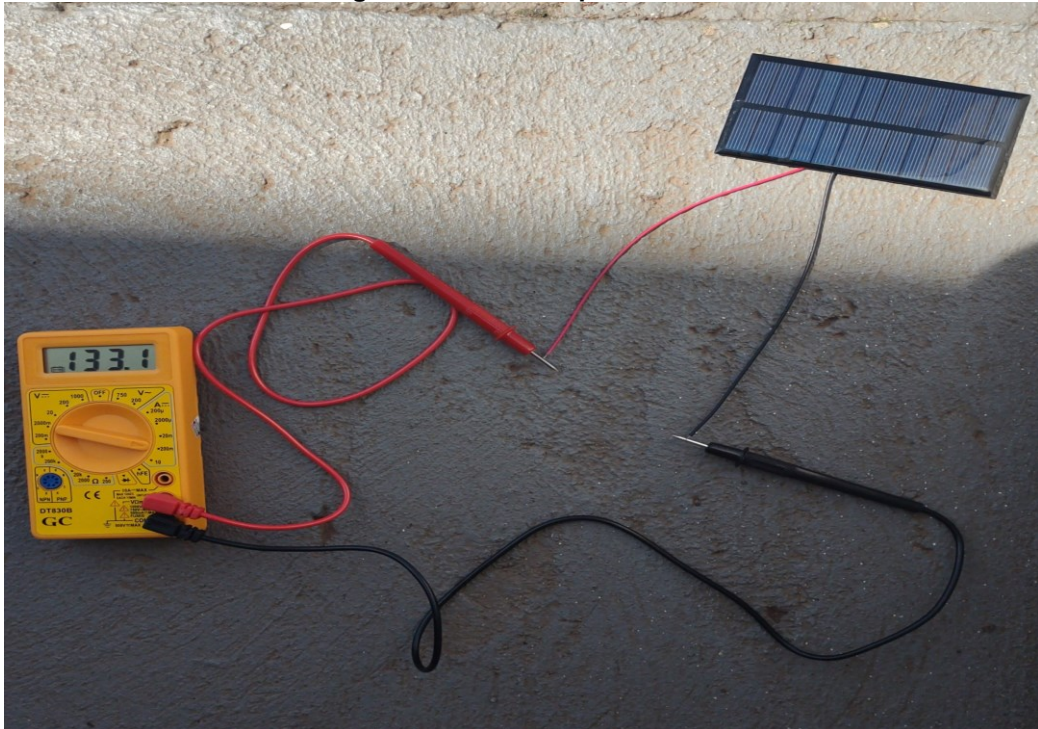
Especificações:

- Tensão DC de até 1000V
- Faixa de 200mA com precisão de +/- (2% + 2 dígitos)

4.3 Coleta de dados

A placa solar foi instalada de forma com que a luz solar incidisse em toda a sua área para um melhor acúmulo de sujidades na área urbana, com um ângulo de aproximadamente 20° e a 5 metros de altura, sendo deixada todo o tempo possível em contato com o ambiente externo para que o acúmulo de impurezas simulasse uma instalação real de painéis solares. A coleta dos dados foi realizada entre os dias 10 de julho e 10 de novembro, todos os meses, para uma melhor determinação da queda mensal proporcionada.

Figura 15: Teste da placa solar



Fonte: Autoria própria (2022)

Antes da realização dos testes, usando a relação entre a multiplicação de corrente e tensão, a potência máxima da placa foi mensurada com a sua superfície livre de sujidades para a averiguar se a placa estava operando dentro dos padrões descritos pelo fabricante. A relação pode ser observada de acordo com a Equação 01.

$$P = C T \quad (1)$$

P = Potência (Watt)

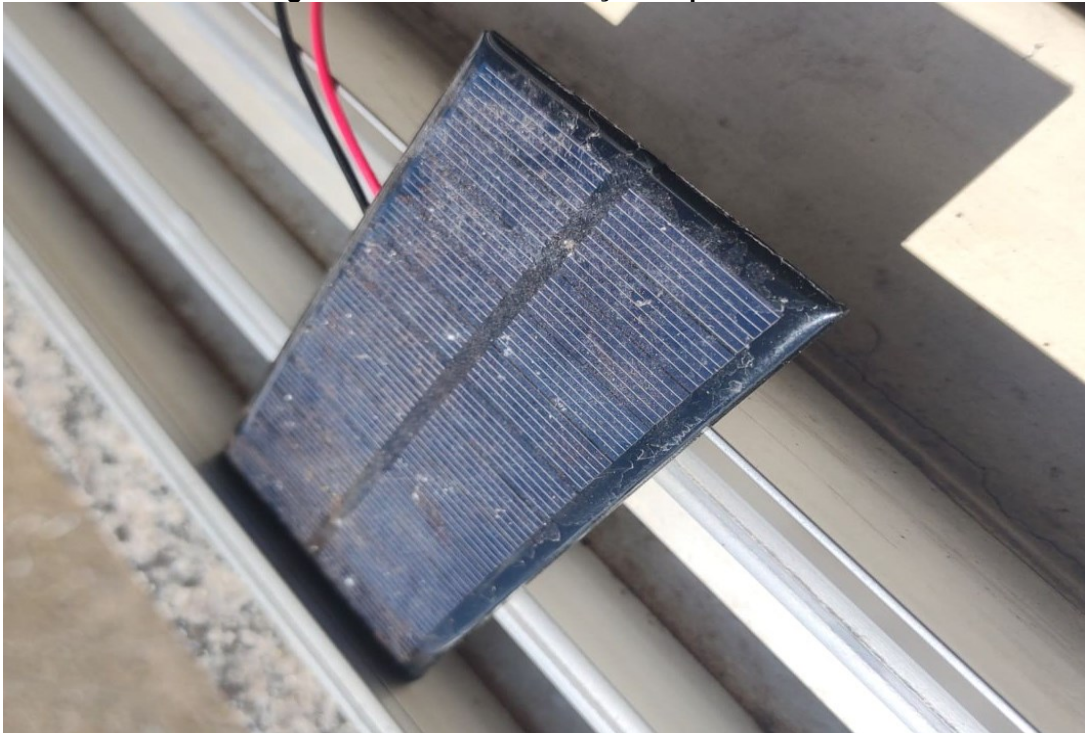
C = Corrente (Ampere)

T = Tensão (Volts)

Durante os experimentos a placa apresentou uma tensão e corrente operando respectivamente entre 7,19V e 0,155A, resultando em uma potência de 1,12W. De acordo o fabricante a mesma opera com uma potência de 1W, ou seja, a placa está funcionando na sua normalidade.

Para o conhecimento da quantidade de sujeiras pela área da placa foi realizada a cada mês a pesagem da célula com sujidades com o uso da balança semi-analítica. A subtração do peso do painel limpo pelo painel sujo determina quantas gramas se alojaram na superfície da placa por mês.

Figura 16: Local de instalação da placa solar



Fonte: Autoria própria (2022)

Testes em laboratórios foram realizados com iluminação e temperatura controladas, devido a irradiação solar apresentar variações por diferentes fatores externos durante sua exposição. Dentro do laboratório é possível manter a temperatura do ambiente dentro de um padrão. Como fonte de luminosidade, foi utilizada uma lâmpada de 12W, sendo esse o valor da irradiação que atuará nas células fotovoltaicas.

Para calcular a estimativa da geração de energia desperdiçada, um gráfico foi elaborado por meio da Equação (2), sendo que a relação se dá pela razão da diferença entre a potência da placa com sujidades e pela placa limpa, com a placa limpa.

$$Energia\ Desperdiçada\ (\%) = \left(\frac{Placa\ Limpa - Placa\ Suja}{Placa\ Limpa} \right) * 100 \quad (2)$$

Com a instalação da placa, os valores de eficiência são quantificados, com a placa solar tendo sua superfície limpa, sendo esse o valor de potência utilizado como o parâmetro de 100% para a comparação da queda de eficiência ocasionado pelas sujeiras. Após a obtenção dos dados, uma sugestão periódica da limpeza das placas solares é determinada de acordo com a variação da geração de energia durante os meses estudados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Teste laboratorial com o uso de areia como sujidade

Originalmente, a placa sem sujidades apresentou 22,60 gramas, a cada mês em que as sujeiras se acumulavam, elas foram mensuradas com o uso da balança para quantificar pela diferença de peso as sujidades alojadas na sua superfície.

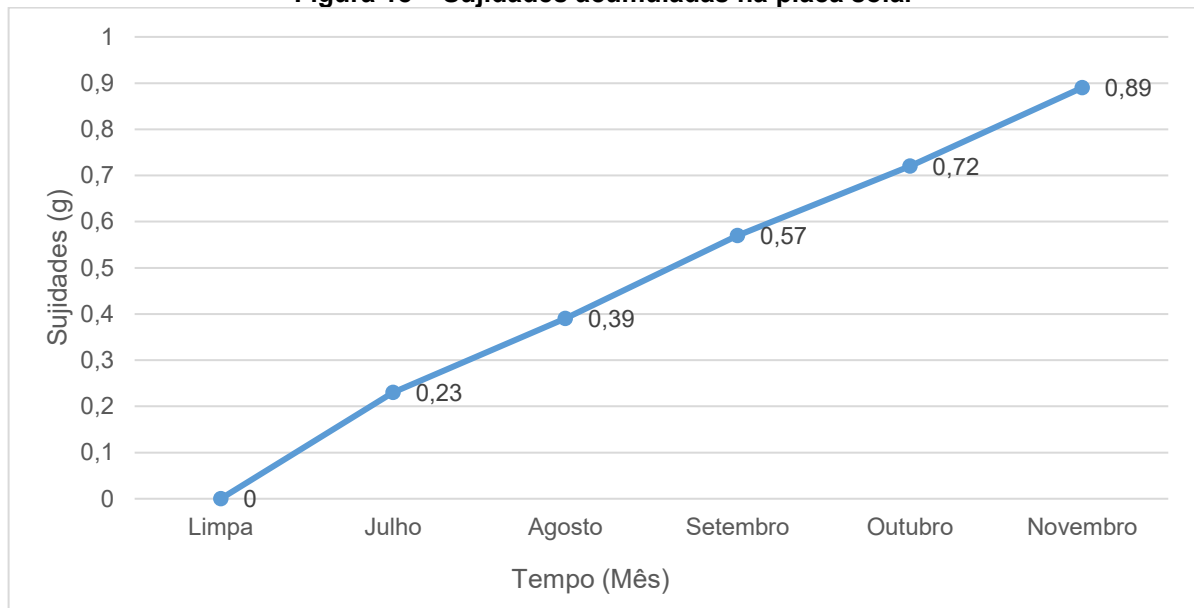
Com os valores obtidos, para o teste em laboratório, a placa era deixada em um local sem presença de sol e com temperatura controlada para diminuir as influências de agentes externos que poderiam impactar nos valores de corrente e tensão como o fator de temperatura, nuvens, irradiação, etc. O objeto utilizado para simular a sujidade foi a areia, por ser um objeto fino e que poderia ser despejada facilmente na placa. A areia foi distribuída por toda área da placa para não se concentrar em um único ponto, diminuindo ainda mais a eficiência da placa.

Figura 17: Coleta de dados laboratorial



Fonte: Autoria própria (2022)

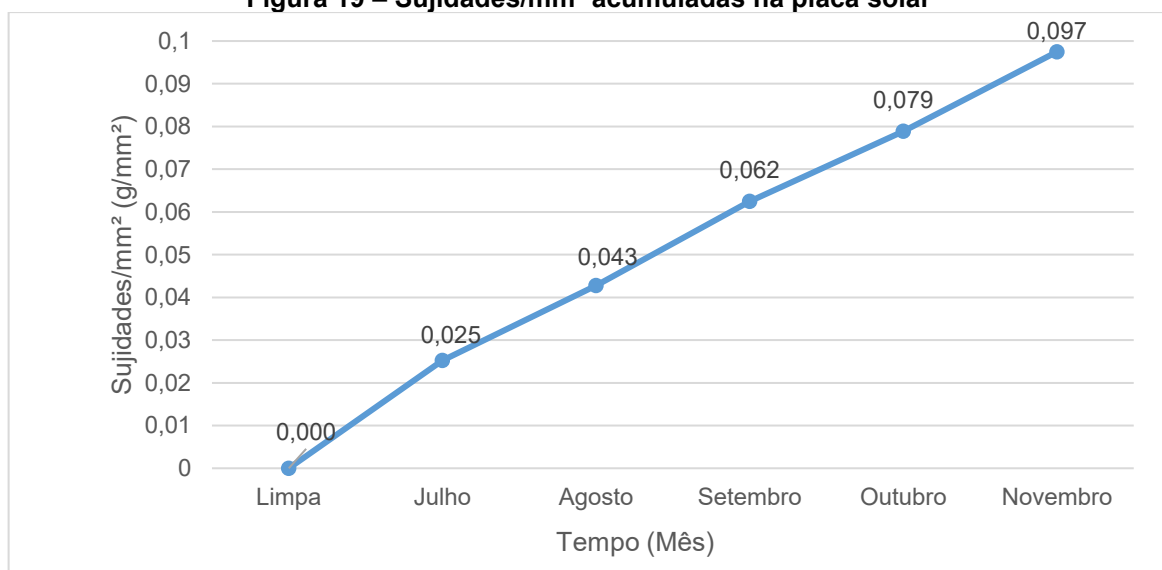
O acúmulo para os cinco meses de estudos está representado na Figura 18:

Figura 18 – Sujidades acumuladas na placa solar

Fonte: Autoria própria (2022)

Pode ser observado que o acúmulo de sujeiras aconteceu de forma crescente com o passar do tempo, o que é um fator natural quando um objeto é deixado em uma área externa e com forte movimentação urbana. O primeiro mês de testes apresentou a maior taxa de acúmulo, isso pode ser explicado pela placa estar livre de impurezas na sua superfície, o que acarreta uma maior área para a sujeira se alojar. Após o último mês de experimento o painel apresentou um acúmulo total de 0,89 gramas de poeira na placa.

Dividindo a massa da sujeira acumulada pela área da placa, obtém-se o gráfico de sujeira por mm^2 acumulada na placa, conforme Figura 19.

Figura 19 – Sujidades/ mm^2 acumuladas na placa solar

Fonte: Autoria própria (2022)

Para a determinação de energia desperdiçada, a irradiação que a lâmpada de 12W incide no painel foi usada como parâmetro para 100% de potência da placa. Para isso, com o uso do multímetro foi quantificado os valores de corrente e tensão emitidos na placa pela lâmpada durante o experimento, realizando uma multiplicação representada na Equação (1) para obtenção da potência.

Após realizar a coleta dos valores de corrente e tensão para cada valor de sujidade por mês, a potência de cada mês foi determinada. Utilizando a Equação (2) os valores de energia desperdiçada, assim como o rendimento da placa foram determinados. Os resultados podem ser observados na Tabela 2.

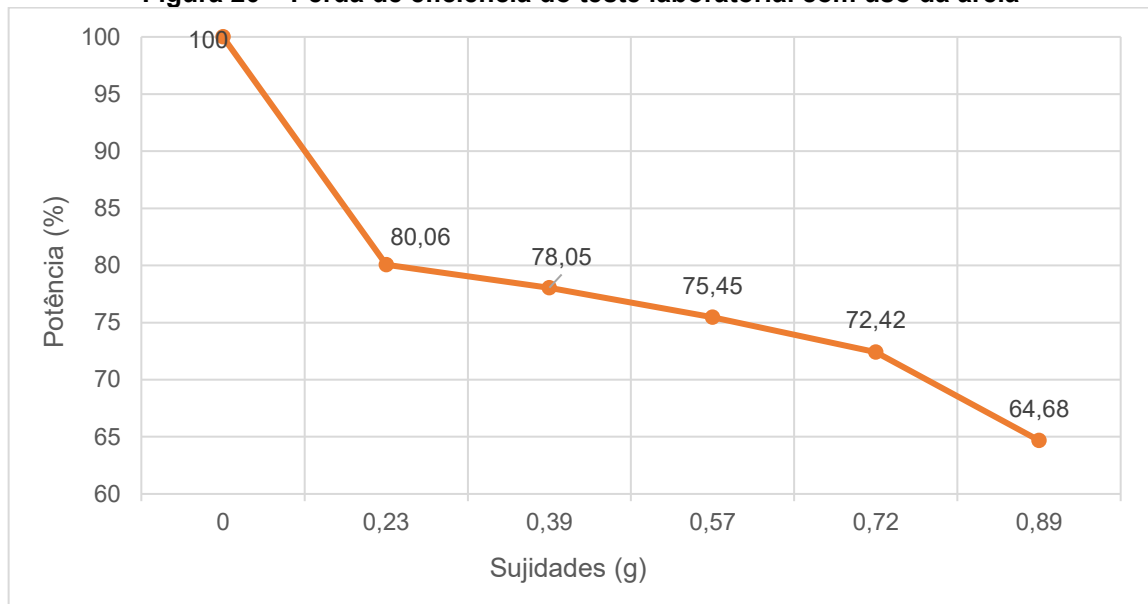
Tabela 02: Rendimento do painel solar com o acúmulo mensal de sujidades laboratorial com o uso da areia

Sujidades (g)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Energia Desperdiçada (%)	Rendimento (%)
0	6,34	0,0106	0,0672	0,00	100,00
0,23	6,33	0,0085	0,0538	19,94	80,06
0,39	6,32	0,0083	0,0525	21,95	78,05
0,57	6,26	0,0081	0,0507	24,55	75,45
0,72	6,24	0,0078	0,0487	27,58	72,42
0,89	6,21	0,007	0,0435	35,32	64,68

Fonte: Aatoria própria (2022)

Pode ser observado na Tabela 2 que o primeiro mês que apresentou o maior acúmulo de sujidades na área da placa foi o responsável pela queda mais abrupta de rendimento, tendo um valor de 19,94% de eficiência desperdiçada. Com o passar dos meses, a queda de rendimento cresceu conforme as sujidades aumentavam. Em outubro a placa já apresentava um rendimento abaixo dos 75%. Em novembro, a queda foi a segunda maior dos testes, isso pode ser explicado pelo clima com temperaturas elevadas e baixa umidade, o que influencia no acúmulo de sujidades.

Observando a Figura 20 pode se ter uma melhor visualização da influência que as sujidades exercem na eficiência da placa.

Figura 20 – Perda de eficiência do teste laboratorial com uso da areia

Fonte: Autoria própria (2022)

Um painel solar comum pode apresentar uma eficiência de 20% na sua geração total de energia, portanto, caso o sistema esteja com apenas 64,68% de seu rendimento, multiplicando os dois valores de porcentagem teremos um rendimento total de apenas 12,94%, ou seja, uma queda de eficiência de aproximadamente 32% do rendimento total da placa.

5.2 Teste laboratorial com o uso da terra como sujidade

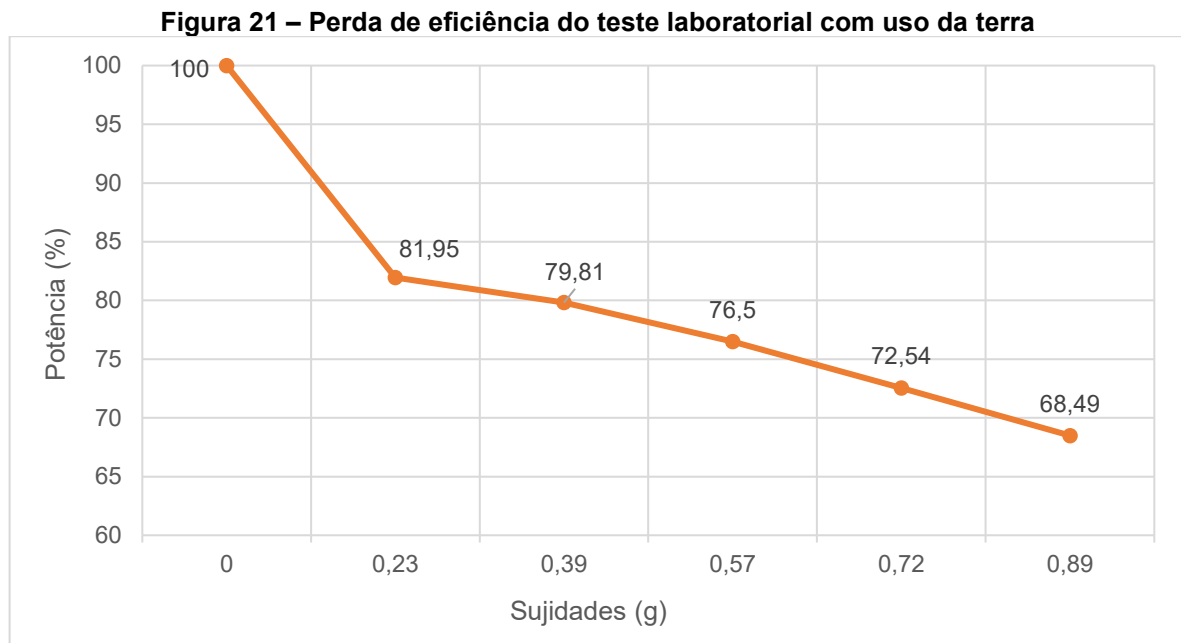
Com o uso da terra, um segundo experimento foi realizado para a comparação de resultados, pois, a terra apresenta uma tonalidade mais escura em comparação a areia, o que pode influenciar nos resultados. Os resultados podem ser observados de acordo com o Tabela 03.

Tabela 03: Rendimento do painel solar com o acúmulo mensal de sujidades laboratorial com o uso da terra

Sujidades (g)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Energia Desperdiçada (%)	Rendimento (%)
0	6,34	0,0106	0,067204	0,00	100,00
0,23	6,33	0,0087	0,055071	18,05	81,95
0,39	6,31	0,0085	0,053635	20,19	79,81
0,57	6,27	0,0082	0,051414	23,50	76,50
0,72	6,25	0,0078	0,04875	27,46	72,54
0,89	6,22	0,0074	0,046028	31,51	68,49

Fonte: Autoria própria (2022)

Os resultados apresentam diferenças em relação ao realizado com a areia, podendo ser justificado pela diferença de cor entre os dois objetos, sendo visualizado uma menor queda de rendimento com o uso da terra.



Fonte: Autoria própria (2022)

Com essa queda de eficiência, sem a realização da manutenção preventiva a placa estaria operando com $68,49\% * 20\% = 13,70\%$ do seu rendimento, ou seja, uma queda de aproximadamente 34% da eficiência da placa.

5.3 Teste laboratorial com o uso da poeira como sujidade

Um último teste foi efetuado, com a utilização da poeira, pois, é o objeto que mais se aproxima nas similaridades das sujidades que se acumulam nas placas solares. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 04.

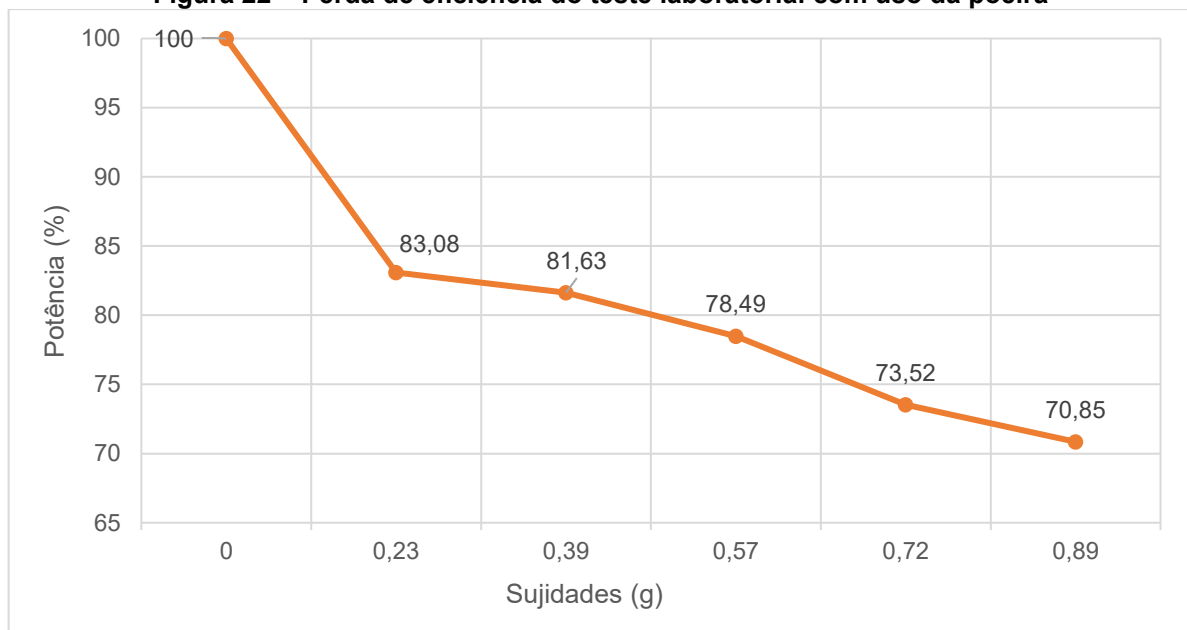
Tabela 04: Rendimento do painel solar com o acúmulo mensal de sujidades laboratorial com o uso da poeira

Sujidades (g)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Energia Desperdiçada (%)	Rendimento (%)
0	6,34	0,0106	0,0672	0,00	100,00
0,23	6,33	0,0088	0,0558	16,92	83,08
0,39	6,32	0,0087	0,0549	18,37	81,63
0,57	6,31	0,0084	0,0528	21,51	78,49
0,72	6,31	0,0078	0,0494	26,48	73,52
0,89	6,29	0,0076	0,0476	29,15	70,85

Fonte: Autoria própria (2022)

A utilização da poeira como sujidades na placa demonstrou a menor queda entre os três experimentos, podendo ser utilizado como parâmetro de determinação de tempo de limpeza, pois, é o que mais se enquadra como as sujidades reais que se acumulam nas placas solares. De acordo com os dados, a placa apresentou uma queda percentual de 29,15%, utilizando como parâmetro uma placa com 20% de eficiência, a mesma estaria operando com $70,85\% * 20\% = 14,16\%$, uma queda aproximada de 35% do rendimento da placa.

Figura 22 – Perda de eficiência do teste laboratorial com uso da poeira



Fonte: Autoria própria (2022)

Para os experimentos realizados em laboratório, desconsiderando agentes externos de limpeza, o tamanho da placa e suas células solares, a manutenção preventiva deve ser realizada em um prazo de 5 a 6 meses.

5.4 Teste com a luz solar

Para a comparação de resultados e uma maior confiabilidade ao processo, um teste com o uso da irradiação solar foi realizado. O experimento foi efetuado com os mesmos critérios do teste laboratorial, com o uso da balança semi-analítica para a quantificação das sujidades acumuladas mensais, sendo a areia novamente utilizada e a placa tendo sua célula direcionada a luz solar para a máxima geração de potência possível.

As sujidades foram espalhadas por toda a superfície possível da placa para que a simulação fosse padronizada como o realizado em laboratório como pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 – Experimento com o uso da luz solar



Fonte: Autoria própria (2022)

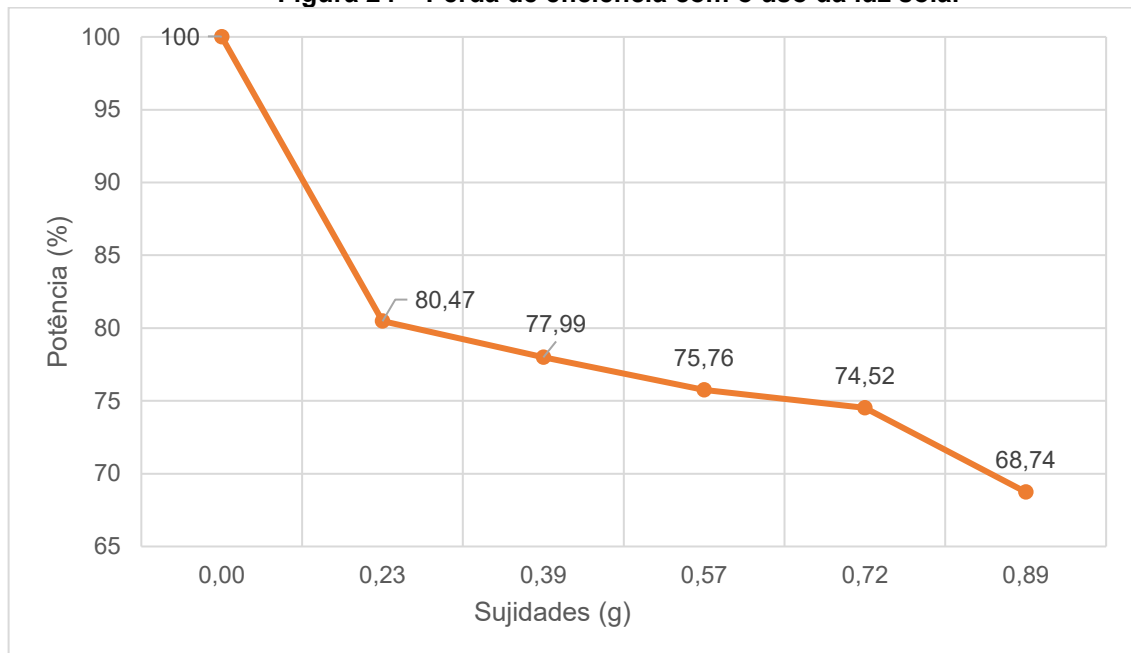
Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 3. Os valores de rendimento se mostraram próximos aos resultados obtidos em laboratório, podendo ser melhor visualizado na Figura 23.

Tabela 05: Rendimento do painel solar com o acúmulo mensal de sujidades para a irradiação solar

Sujidades (g)	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)	Energia Desperdiçada (%)	Rendimento (%)
0	6,99	0,15620	1,0918	0,00	100,00
0,23	6,79	0,12940	0,8786	19,53	80,47
0,39	6,71	0,12690	0,8515	22,01	77,99
0,57	6,66	0,12420	0,8272	24,24	75,76
0,72	6,61	0,12310	0,8137	25,48	74,52
0,89	6,42	0,11690	0,7505	31,26	68,74

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 24 – Perda de eficiência com o uso da luz solar



Fonte: Autoria própria (2022)

Pode ser observado que os meses de outubro e novembro apresentaram um melhor rendimento com o uso da luz solar, isso pode ser explicado pela variação de emissão de irradiação solar, fator de temperatura e por ser um experimento em uma situação com diferentes condições em relação ao laboratório.

Para o conhecimento da estimativa de acúmulo de sujidades em g/mm^2 para uma placa de tamanho comercial, pode ser realizada uma conversão em relação ao acúmulo de sujeiras ocorridos na placa de testes. A placa experimental apresenta uma área de $9130mm^2$, adotando um painel comercial com dimensões de $1650mm \times 1000m$ a sua área seria de $1650000mm^2$. Como a camada de sujeira que se alojou em 5 meses foi de $0,89g$, temos:

$$\frac{0,89g}{9130mm^2} = \frac{0,00009748g}{mm^2} \cdot 1650000mm^2 = 160,842g$$

Ou seja, as placas comerciais em 5 meses apresentariam uma perda de rendimento de $35,32\%$ com um acúmulo aproximado de $160,842g$ de sujidades, ou seja, para um painel com eficiência máxima de 20% , estaria apresentando uma queda de aproximadamente 28% .

6 CONCLUSÃO

Com os testes finalizados, pôde ser observado que apesar de ser uma placa de testes, em cinco meses de estudos as sujidades se concentraram crescentemente na célula solar, acarretando no menor rendimento. As placas solares comerciais apresentam uma superfície áspera e conseqüentemente sujeiras como poeira tendem a ficar alojadas com o passar do tempo, até o ponto que o painel apresente uma potência muito abaixo do ideal.

Durante a realização dos experimentos, conforme as sujeiras se aglomeravam na zona de contato das células solares, a potência desperdiçada aumentava com o passar dos meses, demonstrando que a limpeza é determinante para o melhor rendimento do sistema.

Somado as variáveis de posicionamento, modelos de placas, sombras, fator de temperatura e estiagem provocam a cada mês maiores quedas de geração de energia, demonstrando que apesar de algo básico, a limpeza deve ser realizada dentro do prazo estipulado. A queda de rendimento pode ocorrer de formas variadas para cada modelo de placa, pois, o tamanho da placa, células e outros fatores podem influenciar no acúmulo de sujidades.

De acordo com os testes realizados para a cidade de Francisco Beltrão/PR, desconsiderando agentes externos de limpeza, para que a placa opere em uma eficiência superior a 70%, deve-se realizar a manutenção preventiva entre 5 a 6 meses. Caso o consumidor deseje uma eficiência superior a 75%, uma manutenção entre 4 a 5 meses se mostra ideal para a situação.

REFERÊNCIAS

- Araújo, E. **Como deve ser realizada a limpeza dos painéis solares?** <https://canalsolar.com.br/como-deve-ser-realizada-a-limpeza-dos-paineis-solares/>. Acesso em: 27 nov. 2021.
- Parejo, L. **Energia nuclear - Como funciona, prós e contras.** UOL. <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/energia-nuclear-como-funciona-pos-e-contras.htm>. Acesso em: 20 nov. 2021.
- Carlson, B. **Edison and Tesla's cutthroat "Current War" ushered in the electric age.** SEPTEMBER 27. <https://www.nationalgeographic.com/history/history-magazine/article/edison-tesla-current-war-ushered-electric-age#:~:text=Edison%20and%20Tesla's%20cutthroat%20'Current,for%20the%20future%20of%20electricity.&text=In%201891%20a%20tall%2C%20dark,University%20in%20New%20York%20City>. Acesso em: 20 nov. 2021.
- Copel. **Mapa Solar.** <https://solar.copel.com/solar/#>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- Cristaldo, H. **COP26: Brasil promete reduzir emissões de gases pela metade até 2030.** Agência Brasil. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-11/cop26-brasil-promete-reduzir-emissoes-de-gases-pela-metade-ate-2030>. Acesso em: 20 nov. 2021.
- Correa, P. **O início da Energia Solar Fotovoltaica.** <https://webradioagua.pti.org.br/2018/05/01/o-inicio-da-energia-solar-fotovoltaica/>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- Viana, T. **Potencial de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos com concentrador no Brasil.** <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/93778/280137.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- Berni, M., & Bajay, S. (2006). **O contexto dos biocombustíveis para o transporte rodoviário no Brasil.** <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v2/085.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- Eletrobras. **Energia Nuclear.** <https://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-Meio-Ambiente/Espaco-do-Conhecimento/Paginas/Energia-Nuclear.aspx>. Acesso em: 27 nov. 2021.
- Eletrogate. **Celula Fotovoltaica Energia Solar.** <https://www.eletrogate.com/celula-fotovoltaica-energia-solar-6v1w>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- Derakhshandeh, J., AlLuqman, R., Mohammad, S., AlHussain, H., AlHendi, G., AlEid, D., & Ahmad, Z. (2021). A comprehensive review of automatic cleaning systems of solar panels. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 47, 101518. <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2021.101518>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ForlabExpress. **Balança eletrônica semi-analítica 3200g.**

https://www.forlabexpress.com.br/balanca-eletronica-semi-analitica-3200g-shimadzu?parceiro=3512&gclid=Cj0KCCQiA4OybBhCzARIsAlcfn9mn_ljw1wLdRgZjll29O4KbyGotCyQ6ZzApLGErSfnVtq-MNQ3jKFMaAsaPEALw_wcB Acesso em: 20 nov. 2022.

Formis. **Multímetro Digital.**

<https://www.formis.com.br/eletroeletronica/multimetros-digitais/multimetro-digital-dt830b>. Acesso em: 20 nov. 2022.

Globo. **Geração de Energia Solar cresce no país e coloca o Brasil no TOP 15 mundial.**

TopSun Energia Solar. <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/especial-publicitario/top-sun/top-sun-energia-solar/noticia/2021/09/23/geracao-de-energia-solar-cresce-no-pais-e-coloca-o-brasil-no-top-15-mundial.ghtml>. Acesso em: 22 nov. 2021.

Soares Júnior, J., Cruz, S., & Amaral, L. **Impacto da sujidade sobre o desempenho de sistemas fotovoltaicos.** VII Congresso Brasileiro de Energia Solar.

Governo Brasileiro. **Matriz Energética e Elétrica.**

<https://www.epe.gov.br/Pt/Abcdenergia/Matriz-Energetica-e-Eletrica>.
<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 22 nov. 2021.

Imperio Solar. **Manutenção, limpeza e conservação de painéis solares.**

<https://imperiosolar.com.br/manutencao-limpeza-conservacao-paineis-solares/>. Acesso em: 23 nov. 2021.

Intelbras. **Diferenças entre os sistemas on grid e off grid de energia solar.**

https://blog.intelbras.com.br/diferencas-entre-os-sistemas-on-grid-e-off-grid-de-energia-solar/?gclid=CjwKCAiAv_KMBhAzEiwAs-rX1DBD5xQbsCNChrENJZ9mTOt78aEzREm8SNxzyzGn18zVQE7lfQ2v5BoCfRAQAvD_BwE. Acesso em: 23 nov. 2021.

Losekann, L., & Tavares, A. **Transição energética e potencial de cooperação nos brics em energias renováveis e gás natural.**

https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=38329&Itemid=457. Acesso em: 22 nov. 2021.

Molina, E. **Saiba como funciona o inversor solar.**

<https://engegrid.com.br/blog/saiba-como-funciona-o-inversor-solar/>. Acesso em: 22 nov. 2021.

Nunes, L. **Brasil tem alta taxa de energia renovável na matriz energética.**

JORNAL DA USP. <https://jornal.usp.br/atualidades/brasil-tem-alta-taxa-de-energia-renovavel-na-matriz-energetica/>. Acesso em: 22 nov. 2021.

Portal Solar. **Como Funciona o Pannel Solar Fotovoltaico (Placas Fotovoltaicas).**

<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-pannel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 27 nov. 2021.

Portal Energia. **Painéis solares mais eficientes.** <https://www.portal-energia.com/paineis-solares-mais-eficientes/>. Acesso em: 24 nov. 2021.

Portal Solar. **História e origem da Energia Solar.** <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/historia-origem-da-energia-solar.html>. Acesso em: 23 nov. 2021.

Portal Solar. **Tipos de Pannel Solar Fotovoltaico.** <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-pannel-solar-fotovoltaico.html#ancora2>. Acesso em: 22 nov. 2021.

Portal Solar. **Tudo sobre a eficiência do pannel solar.** <https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-pannel-solar.html>. Acesso em: 14 ago. 2022.

Pratti, W. **Saiba um pouco sobre a Energia Solar Fotovoltaica no Brasil.** <http://www.ecosolarenergia.com.br/2020/03/16/saiba-um-pouco-sobre-a-energia-solar-fotovoltaica-no-brasil/>. Acesso em: 21 nov. 2021.

Ramos Barbosa, E., dos Santos Ferreira de Faria, M., & de Brito Gontijo, F. **Influência da sujeira na geração fotovoltaica.** VII Congresso Brasileiro de Energia Solar.

Reenergy Energia Solar. **Característica do Pannel Solar Fotovoltaico.** <https://reenergyenergiasolar.com.br/caracteristica-do-pannel-solar-fotovoltaico/>. Acesso em: 24 nov. 2021.

Salles, S. **Geração distribuída de energia solar já cresceu 39% no Brasil até agosto.** CNN BRASIL. <https://www.cnnbrasil.com.br/business/geracao-distribuida-de-energia-solar-ja-cresceu-39-no-brasil-ate-agosto/>. Acesso em: 22 nov. 2021.

Vasconcelos, M., & Panza, A. **Financiamento para energia solar fotovoltaica em geração distribuída.** FGVces. https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/30525/fgvces-financiamento_para_energia_solar-2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 22 nov. 2021.

Syafiq, A., Pandey, A. K., Adzman, N. N., & Rahim, N. A. **Advances in approaches and methods for self-cleaning of solar photovoltaic panels.** Solar Energy, 162, 597–619. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2017.12.023>. Acesso em: 27 nov. 2021.