



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO - UFERSA
CAMPUS MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EXISTENTES NA USINA
FOTOVOLTAICA DA UFERSA – CAMPUS PAU DOS FERROS**

ADRIANA CORREIA DE MORAIS

**Pau dos Ferros – RN
2023**

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M828a Morais, Adriana Correia de.
 Análise de Manifestações Patológicas Existentes
 na Usina Fotovoltaica da UFERSA - Campus Pau dos
 Ferros / Adriana Correia de Morais. - 2023.
 61 f. : il.

 Orientador: Cláwsio Rogério Cruz de Sousa.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
 Tecnologia, 2023.

 1. Energia Solar. 2. Vida Útil. 3. Materiais.
 4. Corrosão. I. Sousa, Cláwsio Rogério Cruz de,
 orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

 Biblioteca Campus Pau dos Ferros
 Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
 CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ADRIANA CORREIA DE MORAIS

**ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EXISTENTES NA USINA
FOTOVOLTAICA DA UFERSA – CAMPUS PAU DOS FERROS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido como requisito para
obtenção do título de Bacharela em
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 13 / 10 / 2023.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
CLAWSIO ROGERIO CRUZ DE SOUSA
Data: 19/10/2023 12:42:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Cláwsio Rogério Cruz de Sousa, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Documento assinado digitalmente
VINICIUS NAVARRO VARELA TINOCO
Data: 18/10/2023 17:51:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Vinicius Navarro Varela Tinoco, Eng. (UFERSA)
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
FRANCISCO SOARES ROQUE
Data: 18/10/2023 18:54:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Francisco Soares Roque, Eng. Me. (UFRN)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar forças sempre que achei que não conseguiria mais ir em frente.

Agradeço à minha mãe e irmã, por estarem sempre comigo, me aconselhando, apoiando, ajudando tanto quanto possível e sendo todo o alicerce que eu preciso. Sem elas eu não estaria onde estou, pois somente com o apoio delas consigo fazer o que as vezes eu mesma duvido.

Ao meu orientador, Cláwsio, pela paciência, disponibilidade, atenção e amizade, principalmente em momentos que não incluem orientação de trabalhos.

Agradeço à Comissão de Usina Fotovoltaica da UFERSA, campus Pau dos Ferros, em especial Gilberto, por todas as informações, disponibilidade e gentileza comigo.

Aos meus amigos por estarem comigo, me ajudando e me aguentando além dos momentos de risada.

Agradeço ainda a Vinicius Navarro e o Professor Daniel Jales pela ajuda em imagens e referenciamento, além de apoio e conselhos quando mais precisei.

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu” Eclesiastes 3:1

RESUMO

A energia fotovoltaica é uma fonte de energia alternativa renovável e com baixos impactos ambientais. Com a expansão da procura e uso de sistemas fotovoltaicos, o rendimento deles tem aumentado cada vez mais com sua vida útil sendo em torno de 25 anos, atraindo consumidores que buscam reduzir custos e impactos ambientais e melhoria nas tarifas energéticas. Esses sistemas atuam com o uso de inversores, que coletam a corrente contínua gerada pelos painéis solares e a converte em corrente alternada para o uso dos consumidores. No entanto, problemas, como a corrosão, podem surgir devido a materiais inadequados e más condições de projeto, o que faz com que esse tempo decaia. Para este trabalho, foi analisada a usina fotovoltaica de chão da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA, campus Pau dos Ferros, por meio de visitas à usina e posteriores análises dedutivas, com auxílio de livros e artigos científicos, a fim de se observar, analisar e propor possíveis soluções desses problemas. Foram observadas manifestações patológicas nos suportes de fixação da estrutura no solo, em caixas de passagens e calhas de aterramento; bem como trincas e fissuras nos módulos fotovoltaicos e nos parafusos e borrachas que fixam os painéis à estrutura metálica. Muitos desses problemas estão relacionados ao uso incorreto de materiais e ambientes de implementação da usina, além de condições ambientais enfrentadas pela estrutura. A área em questão sofre com alagamentos em determinados períodos do ano, fazendo com que este seja não só um agente corrosivo, mas um acelerante das já existentes. Outro problema enfrentado é a falta de autonomia da Comissão de Gestão de Usinas Fotovoltaicas do *campus*. Foram, então, propostas medidas visando aprimorar a longevidade da usina e implementar ações preventivas e corretivas da mesma, como a troca de componentes e drenagem e cercamento da área em que o sistema é implementado. Por fim, foi sugerido a continuação de análises do referido sistema, a fim de se averiguar a evolução das manifestações patológicas existentes e a criação de novas pesquisas envolvendo a eficiência do conjunto.

Palavras Chave: Energia Solar; Vida útil; Materiais; Corrosão.

ABSTRACT

Photovoltaic power is a renewable alternative source of energy with a low environmental impact. Due to the increasing demand and exponential use of photovoltaic systems, their efficiency has increased the lifespan to around 25 years, attracting consumers who seek to reduce costs, minimize environmental impact, and improve energy tariffs. These systems work with frequency inverters that collect the direct current generated by the solar panels and convert it into alternating current for consumer use. However, issues such as corrosion, can arise due to inappropriate materials and poor project conditions, leading to a decrease in their lifespan. For this research the ground-mounted photovoltaic plant at the Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA was analyzed through site visits and subsequent deductive analyses, with the assistance of books and scientific articles, in order to observe, analyze, and propose potential solutions to these issues. Pathologic manifestations were observed in the structural fixation supports in the ground, junction boxes, and grounding conduits, as well as issues with cracks and fissures in the photovoltaic modules and in the screws and rubber components that secure the panels to the metal framework. Many of these problems are related to the improper use of materials and the environmental conditions in which the plant is implemented. The area in question experiences seasonal flooding, which not only acts as a corrosive agent but also accelerates existing issues. Another problem faced is the lack of autonomy of the Photovoltaic Plant Management Committee on campus. Therefore, measures were proposed to enhance the plant's longevity and implement preventive and corrective actions, such as component replacement, drainage, and the enclosure of the area where the system is implemented. Lastly, it was suggested to continue analyzing the system in question to monitor the evolution of existing pathological manifestations and to initiate new research related to system efficiency.

Keywords: Solar Energy; Lifespan; Materials; Corrosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Configuração de matriz fotovoltaica.....	14
Figura 2 – Módulo fotovoltaico monocristalino.....	15
Figura 3 – Módulo fotovoltaico policristalino.....	16
Figura 4 – Inversor solar <i>on grid</i>	17
Figura 5 – Disjuntor fotovoltaico.....	18
Figura 6 – Dispositivo de Proteção Contra Surtos.....	18
Figura 7 – Módulo fotovoltaico fixado em solo.....	19
Figura 8 – Módulo fotovoltaico fixado em telhado.....	20
Figura 9 – Componentes de um sistema isolado.....	21
Figura 10 – Sistema fotovoltaico conectado à rede.....	21
Figura 11 – Formas de corrosão.....	24
Figura 12 – Corrosão uniforme em estrutura metálica.....	25
Figura 13 – Parafuso e porca sofrendo corrosão galvânica em estrutura metálica...	26
Figura 14 – Corrosão eletrolítica.....	27
Figura 15 – Fluxograma de atividades.....	30
Figura 16 – Mapa da localização de Pau dos Ferros.....	31
Figura 17 – UFERSA em imagem de satélite.....	31
Figura 18 – Vista superior da usina na UFERSA - Campus Pau dos Ferros.....	32
Figura 19 – Usina Fotovoltaica de chão da UFERSA - Campus Pau dos Ferros.....	33
Figura 20 – Abrigo de alvenaria com os inversores.....	33
Figura 21 – Quadro de média de dados da Usina Fotovoltaica.....	34
Figura 22 – Área da usina fotovoltaica alagada.....	35
Figura 23 – Marca de água em blocos de apoio.....	36
Figura 24 – Avaria em bloco de apoio de estrutura.....	37
Figura 25 – Vegetação crescente.....	38
Figura 26 – Porcas com indícios de corrosão.....	39
Figura 27 – Corrosão em aterramento.....	40
Figura 28 – Tampa de calha de aterramento abaixo do nível.....	40
Figura 29 – Parafuso e cabo com início de corrosão.....	41
Figura 30 – Caixas de passagem danificadas.....	42
Figura 31 – Pequenos animais enroscados nos disjuntores.....	42
Figura 32 – DPS's queimados.....	43
Figura 33 – Matriz apresentando deslizamento de painéis.....	44
Figura 34 – Painéis deslocados.....	45
Figura 35 – Painéis deslizantes.....	45
Figura 36 – Painel deslizante.....	46
Figura 37 – Borrachas fora do lugar.....	47
Figura 38 – Borracha ressecada entre estrutura.....	48

Figura 39 – Borracha em processo de deterioração.....	49
Figura 40 – Módulo trincado.....	50
Figura 41 – Placa com trincas na sua face superior.....	50
Figura 42 – Trincas na face posterior da placa.....	51
Figura 43 – Paineis com fissura.....	52
Figura 44 – Paineis com parafusos corroídos em grampos centrais.....	53
Figura 45 – Parafuso em avançado processo de corrosão.....	53
Figura 46 – Módulo com excremento de pássaros.....	54
Figura 47 – Paineis sujos de poeira.....	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1. GERAL.....	13
2.2. ESPECÍFICO.....	13
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
3.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	14
3.2. COMPONENTES DO SISTEMA.....	15
3.2.1. Módulos.....	15
3.2.2. Inversores.....	16
3.2.3. Material elétrico.....	17
3.2.4. Suportes de fixação.....	19
3.3. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA.....	20
3.4. PROBLEMAS ASSOCIADOS.....	22
3.5. CORROSÃO.....	23
3.5.1. Formas de Corrosão.....	23
3.5.2. Corrosão uniforme.....	25
3.5.3. Corrosão galvânica.....	25
3.5.4. Corrosão eletrolítica.....	26
3.5.5. Formas de prevenção à corrosão.....	27
3.5.5.1. Proteção Anódica.....	27
3.5.5.2. Proteção Catódica.....	28
3.5.5.3. Proteção Galvânica.....	28
3.6. SUJIDADE.....	28
4. METODOLOGIA.....	29
4.1. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	29
4.2. USINA FOTOVOLTAICA DA UFERSA – CAMPUS PAU DOS FERROS.....	30
4.2.1. Características da Usina.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1. PROBLEMAS ASSOCIADOS AO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	35
5.1.1. Problemas nos suportes de fixação no solo.....	35
5.1.2. Problemas em elementos de passagem elétrica.....	39
5.1.3. Módulos danificados.....	44
5.1.4. Manutenção.....	54
5.2. SUGESTÕES.....	55
6. CONCLUSÕES.....	57
REFERÊNCIAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

A energia sempre esteve em foco no cotidiano humano, assim como a geração dessa energia em associação a suas fontes. A fonte mais próxima e abundante sempre foi a própria estrela que ilumina e protege o planeta, e a criação de artificios que consigam aproveitar a energia que o Sol emana e transformá-la em energia elétrica se torna cada vez mais imprescindível já que essa conversão é uma fonte de energia que não desperdiça recursos (Balfour; Shaw; Nash, 2019).

Energia solar é um tipo de fonte de energia renovável, que possui sua fonte por meios que se regeneram e são inesgotáveis – tal qual a luz solar – e faz parte das energias alternativas, as quais emitem pouco ou nenhuns gases nocivos, já que não usam de combustíveis fósseis (Schleeter, 2023). Essas energias são consideradas limpas e baixas causadoras de impactos negativos, além de preservar recursos não renováveis do planeta.

A expansão do uso e procura de sistemas fotovoltaicos – sistemas que convertem energia solar em energia elétrica – ocasionou melhorias de rendimento e confiabilidade nos módulos fotovoltaicos, podendo ser dimensionados conforme a necessidade (Vian *et al.*, 2021). Esses sistemas operam através da conversão da radiação solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas construídas de material semicondutor; e inversores, responsáveis por converter a corrente contínua gerada em corrente alternada a ser consumida; além da conexão dos sistemas com a rede elétrica e/ou sistemas de armazenamento de energia, como baterias.

Eles podem ser integrados nos mais variados cenários, seja no uso para a geração de energia residencial, comercial, agrícola ou industrial; a fim de contribuir com a sustentabilidade ambiental ou diminuir tarifas energéticas, fatores que podem vir a pesar na hora de escolher qual fonte de energia a ser usada, uma vez que o apelo de sustentabilidade e economia são agentes de grande importância. As estruturas de suporte a esse sistema podem ser afixadas de diversas formas, de telhados, pisos e até fachadas, dependendo das demandas de energia e espaço existente para a implantação do sistema.

Em contrapartida, existem manifestações patológicas que podem acontecer, podendo prejudicar tanto os módulos fotovoltaicos, quanto a estrutura que os estabiliza. E estes problemas podem provir de fatores diversos, desde falhas em

projeto de dimensionamento de cargas, ambiente em que as células estão situadas, assim como formas de fixação das mesmas e exposição a agentes químicos. O estudo dessas patologias é essencial para que possam ser sanadas ou evitadas, a fim de que a eficiência do sistema seja maior e as perdas de elementos ou energia sejam diminutas.

Para o presente trabalho, foi realizada uma análise das partes estruturais da usina fotovoltaica de chão da UFERSA – Campus Pau dos Ferros, com a finalidade de se averiguar os problemas existentes e desenvolver proposições de melhorias, no intuito de se acrescer a vida útil da usina em estudo, bem como se obter ótimos índices de eficiência quanto ao funcionamento dela.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Analisar manifestações patológicas encontradas em usina fotovoltaica da UFERSA – Campus Pau dos Ferros e realizar observações quanto às melhorias que possam ser implementadas.

2.2. ESPECÍFICO

- Identificar quais as patologias existentes nos sistemas fotovoltaicos da UFERSA – Campus Pau dos Ferros.
- Avaliar os possíveis motivos dos problemas na estrutura da usina fotovoltaica da UFERSA – Campus Pau dos Ferros.
- Propor possíveis soluções a fim de sanar os problemas existentes e evitar futuros.

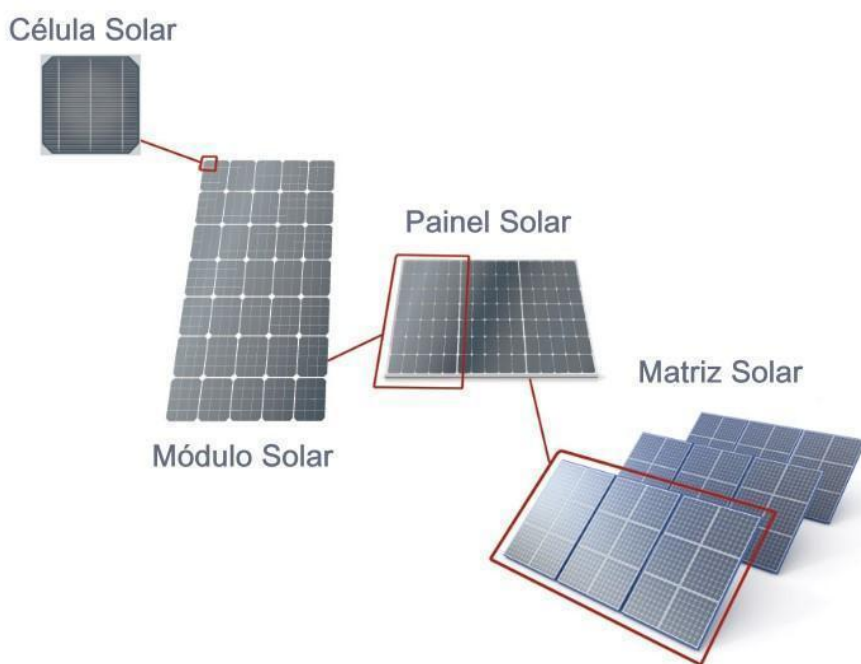
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Sistemas fotovoltaicos são sistemas compostos pela associação de módulos fotovoltaicos, também chamados de painéis, que são formados por várias células fotovoltaicas interligadas em série ou em paralelo, para o fornecimento de tensão e corrente (Balfour, Shaw e Nash, 2019). As células fotovoltaicas são componentes eletrônicos, produzidos com material semicondutor – geralmente silício – que converte radiação solar em eletricidade, a partir do efeito fotovoltaico. A ligação em série ou em paralelo de vários módulos fotovoltaicos, é chamada de matriz fotovoltaica.

Abaixo uma ilustração da configuração de matriz fotovoltaica, onde se é possível compreender a organização dos componentes citados (Figura 1).

Figura 1 – Configuração de matriz fotovoltaica.



Fonte: Ensolare, 2020.

3.2. COMPONENTES DO SISTEMA

3.2.1. Módulos

De acordo com Yaqoob (2021), existem alguns tipos de módulos fotovoltaicos como os produzidos com células monocristalinas, e os módulos com células policristalinas.

Os módulos monocristalinos são um produto mais caro e mais eficiente – em torno de 15% a 22% –, uma vez que para fabricação das células, se usa apenas um material, o silício, que é formado em barras e cortado em bolachas. O fato de ser constituído por um único cristal – daí o nome *mono* – faz com que os elétrons tenham mais espaço para se mover.

A Figura 2 mostra um módulo monocristalino, com sua coloração preta característica.

Figura 2 – Módulo fotovoltaico monocristalino.



Fonte: Intelbras, 2023.

Já os módulos policristalinos são compostos por células de vários fragmentos de silício fundidos para formar as bolachas. Como existem muitos cristais em cada célula, os elétrons não possuem tanto espaço para se mover livremente, o que resulta a eficiência do sistema diminuir, ficando entre 14% e 20%. Essa variação de material e eficiência, faz com que o custo de módulos desse tipo seja mais barato em relação aos monocristalinos.

A Figura 3, mostra um módulo fotovoltaico policristalino, com sua coloração característica azul.

Figura 3 – Módulo fotovoltaico policristalino.



Fonte: Intelbras, 2023.

3.2.2. Inversores

Os inversores podem ser considerados como o “coração” do sistema fotovoltaico. Ele é responsável por converter a corrente contínua que os painéis geram, em corrente alternada para o consumo da energia elétrica pelos consumidores. É ele também que mede a quantidade de energia produzida pelo sistema, além de garantir a segurança (Portal Solar, 2023).

Abaixo, na Figura 4, a exemplificação de um inversor.

Figura 4 – Inversor solar *on grid*.



Fonte: Opus Solar, 2023.

3.2.3. Material elétrico

Para o funcionamento do sistema, é necessário a utilização de elementos para a proteção, segurança e conservação do sistema, como disjuntores, Dispositivos de Proteção contra Surtos e cabeamento.

De acordo com Silva (2023), os disjuntores desempenham o papel de realizar a proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos, interrompendo a corrente elétrica quando acontece um desses eventos. A utilização de disjuntores é imperativa para garantir a proteção elétrica, uma vez que eles impedem os surtos na rede de atingir o sistema. A Figura 5 exemplifica um disjuntor fotovoltaico.

Figura 5 – Disjuntor fotovoltaico.



Fonte: Steck, 2023.

O Dispositivo de Proteção contra Surtos, conhecido como DPS, desempenha um papel exclusivo salvaguardando equipamentos. Sua principal responsabilidade é garantir a proteção desses dispositivos contra danos causados por descargas atmosféricas ou mesmo picos de tensão resultantes de manobras executadas pelo sistema fotovoltaico ou pela concessionária de energia, se o sistema for conectado a um (Soprano, 2023). A Figura 6 mostra um DPS.

Figura 6 – Dispositivo de Proteção Contra Surtos.



Fonte: Clamper, 2023.

O cabeamento de um sistema fotovoltaico precisa atender a uma série de requisitos na hora o dimensionamento, um dos aspectos cruciais a serem avaliados é o tipo de revestimento utilizado, que deve ser especificamente projetado para resistir à exposição contínua à luz solar, altas temperaturas e ao risco de queima, além de ser capaz de suportar as tensões específicas de cada sistema de energia solar fotovoltaica (Oca Energia, 2023).

3.2.4. Suportes de fixação

Tratando-se dos suportes de fixação dos módulos solares, estes têm a função de unir os módulos ao solo, telhado ou estrutura em que o sistema será empregado e assegurar que a estrutura esteja fixa e na posição correta. Caso a estrutura fique em uma posição errada, a produção de energia pode ser afetada. Esses suportes são feitos, geralmente, de alumínio ou aço inoxidável, visando a vida longa e maleabilidade do material (Getpower Solar, 2022).

As Figuras abaixo representam duas formas de fixação dos módulos fotovoltaicos, na Figura 7, observa-se além do módulo, a estrutura de suporte fixada em solo.

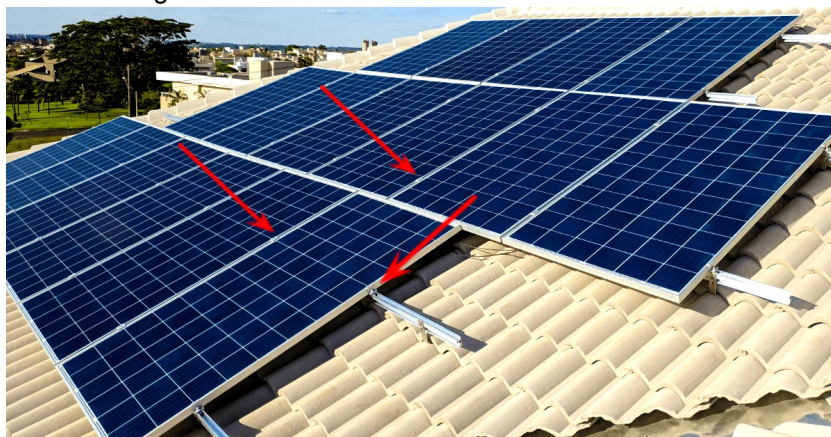
Figura 7 – Módulo fotovoltaico fixado em solo.



Fonte: UFP, 2018.

Na Figura 8, a estrutura de suporte está fixada em um telhado e pode-se visualizar, ainda, elementos de fixação, como grampos que fixam e seguram os painéis à estrutura metálica, indicados por setas.

Figura 8 – Módulo fotovoltaico fixado em telhado.



Fonte: Stilo Solar, 2020.

As estruturas de fixação detêm funções tão importantes quanto o resto dos equipamentos, podendo levar a perda de toda a usina ou gerar um gasto significativo, se necessário a troca dela (Get Power Solar, 2022). Então é importante saber qual o melhor tipo de material a ser utilizado no sistema para que não ocorram prejuízos ligados à incompatibilidade de insumos e o uso empregado a eles.

3.3. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

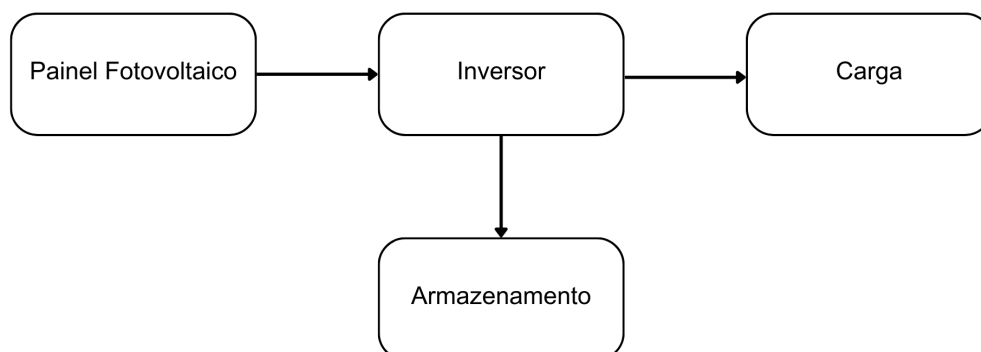
Os módulos solares sofrem o efeito fotovoltaico, que é compreendido na geração de corrente elétrica, quando o material semicondutor da célula é exposto à luz do sol (Blue Sol Energia Solar, 2021). Quando a radiação solar atinge a célula fotovoltaica, os elétrons se separam dos átomos, criando um movimento que gera eletricidade através de um circuito elétrico.

Essa energia gerada pode ser usada de várias formas, dependendo dos componentes do sistema, mas basicamente podem ser divididos em dois grupos, sistemas isolados (*off-grid*) e sistemas conectados à rede (*on-grid*).

Nos sistemas isolados, a energia gerada excedente é armazenada pelo consumidor com o uso de baterias próprias e o sistema não é conectado à rede de distribuição. As baterias servem para sustentar o sistema quando a produção de

energia está mais baixa. Nessa configuração, a corrente produzida pelos painéis fotovoltaicos é encaminhada para a unidade de controle, onde é convertida e encaminhada para o uso dessa carga; a energia que não é consumida, fica armazenada nas baterias. Na Figura 9, é possível observar o caminho de funcionamento de um sistema isolado.

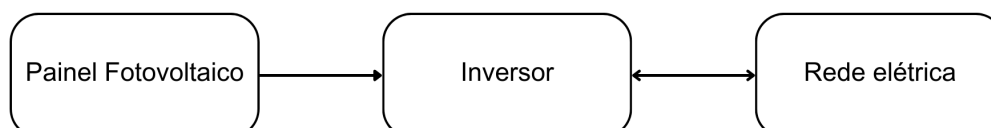
Figura 9 – Componentes de um sistema isolado.



Fonte: Adaptado de Cresesb, 2022.

Na ausência de baterias para o armazenamento de energia, usa-se o sistema fotovoltaico conectado à rede, onde o consumidor só consegue utilizar energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico durante a produção. Quando isso não acontece, a concessionária cede energia, e pode acontecer tanto durante a noite ou até em dias nublados, onde a produção de energia diminui. Nesse sistema, os inversores de corrente são conectados tanto nos painéis fotovoltaicos quanto na rede elétrica; a energia necessária é retirada deles, dependendo da quantidade de energia produzida pelos painéis e disponibilidade concedida pela companhia de energia. Na Figura 10, as formas de obtenção da tensão são encaminhadas aos inversores.

Figura 10 – Sistema fotovoltaico conectado à rede.



Fonte: Adaptado de Cresesb, 2022.

3.4. PROBLEMAS ASSOCIADOS

As formas de corrosão são as mais diversas e podem estar ligadas a muitos fatores. Os prejuízos sofridos devido a patologias podem ser evitados se feito o estudo de como essa corrosão ocorre e então, se encontrar o melhor tipo de material a ser usado. Por serem materiais metálicos, essas estruturas estão sujeitas a problemas estruturais como a corrosão - que se trata da deterioração natural de um material por esforços mecânicos ou não - uma vez que a depender das condições de implementação do material, seja por esforços aplicados ou condições ambientais associados à estrutura, o sistema metálico pode entrar em colapso e haver prejuízos devido a perdas por corrosão (Venturini, 2019).

De acordo com Ecoa Energias Renováveis (2021) e Oca Energia (2020), os materiais constituintes dos suportes são geralmente compostos de alumínio ou aço inoxidável, materiais que estabelecem grande resistência mecânica, além de serem relativamente leves e possuírem elevado grau de resistência a ataques externos.

O aço é uma liga composta por minério de ferro, oxigênio e outros minerais naturais, como o carbono (Arcelormittal, 2023), e quanto maior o teor de carbono, maior resistência mecânica em relação ao com menor quantidade, mas se tornam mais frágeis e menos dúcteis¹. Além disso, são materiais que possuem boa soldabilidade e, se adicionado o cobre na liga, o aço pode adquirir melhor resistência à corrosão (Pfeil, W.; Pfeil, M., 2022). As ligas de ferro e cromo são conhecidas por aço inoxidável devido à sua maior capacidade de resistência à corrosão.

O alumínio é o elemento metálico mais abundante na crosta do planeta (Souza, 2023), e é amplamente conhecido como um material leve e fácil de fabricar, além de sua baixa densidade, alta resistência à fratura e ser mais dúctil que o aço. Esse material é também altamente resistente à corrosão, já que quando exposta à atmosfera, produz uma camada de óxido que protege o material de possíveis oxidações.

O uso do material adequado nas estruturas metálicas é de grande importância, pois afeta diretamente na capacidade do bom funcionamento de todo o sistema. Falhas na estrutura de fixação e suporte podem levar toda a estrutura a

¹Diz-se dúctil o material que possui capacidade de sofrer deformação, sem se romper, quando aplicado força sobre ele (Biopdi, 2022).

perder, ou necessitar de uma interrupção de seu funcionamento para manutenções; além de prejuízos financeiros e/ou físicos.

Outro fator importante, se tratando de painéis fotovoltaicos e sua geração de energia, é o acúmulo de sujeira em sua superfície, uma vez que a concentração de poeira faz com que a eficiência em geração de energia decaia (Juaidi *et al*, 2022).

3.5. CORROSÃO

Segundo Gentil (2022), a corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, por ação química ou eletroquímica e, pode ou não estar associada a esforços mecânicos. Essa degradação representa alterações indesejáveis prejudiciais ao material, como desgaste, mudanças químicas ou alteração da estrutura, tornando-o impróprio para a utilização.

Com a corrosão, os materiais perdem parte de sua resistência, uma vez que suas propriedades são alteradas e isso pode levar a perdas, tanto econômicas, com substituição de peças e equipamentos e manutenções; assim como perdas por paralisação de operações do sistema, perda de produto e eficiência. Há também perdas imateriais, em casos em que a estrutura provoca acidentes que causem perda de aparatos históricos ou vidas.

Corrosões requerem tempo para serem observadas e as formas como ela aparece são diversas, abaixo uma explicação sobre elas.

3.5.1. Formas de Corrosão

As formas de corrosão podem ser apresentadas considerando a aparência ou forma de ataque, bem como causa de corrosão e mecanismos.

Pela morfologia podem aparecer corrosão das formas uniforme, por pite, alveolar, por esfoliação, corrosão na rede cristalina² - filiforme, intergranular e intragranular -, grafítica, dezincificação, em torno de cordão de solda e empolamento de hidrogênio.

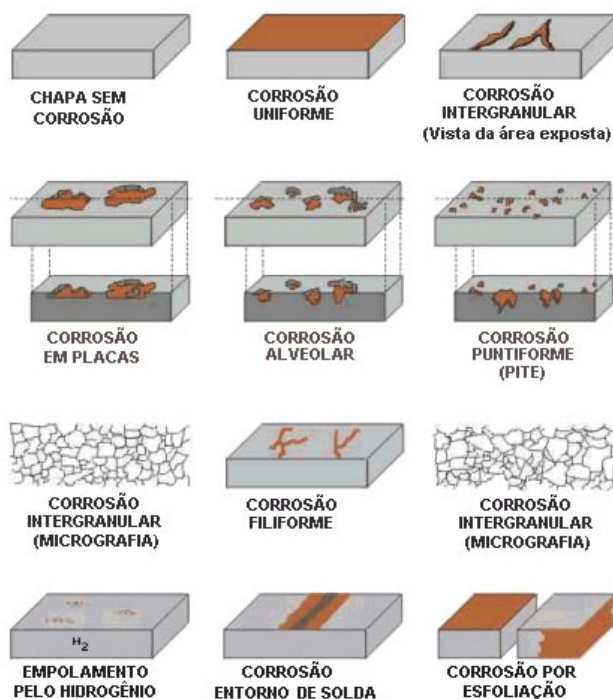
² Rede cristalina é uma organização altamente ordenada de partículas em um sólido, onde as partículas ocupam posições específicas e repetidas em todo o material (Callister Jr., 2020).

Por mecanismos ou causas, a corrosão pode aparecer das formas de aeração diferencial, galvânica, em torno de corrente de solda, eletrolítica, associada a solicitações mecânicas, empolamento, grafítica, dezincificação, por empolamento ou fragilização pelo hidrogênio.

Também há formas que aparecem por fatores mecânicos, seja por fadiga, tensão, atrito ou associada a erosão. Assim como formas que aparecem pelo meio corrosivo e por localização de ataque.

A seguir, a Figura 11 ilustra algumas formas de corrosão.

Figura 11 – Formas de corrosão.



Fonte: Vicente Gentil, 2022.

Além das formas de corrosão demonstradas na Figura 11, também existem corrosão eletrolítica, galvânica, associada a solicitações mecânicas, em torno de cordão de solda, por empolamento, fragilização pelo hidrogênio. Além de corrosão provocada sob tensões, fadiga, atrito ou associada à erosão da peça; e corrosões atreladas aos meios corrosivos em que a estrutura se encontra.

3.5.2. Corrosão uniforme

A corrosão uniforme, também conhecida como corrosão generalizada, é um tipo de deterioração que ocorre em materiais metálicos quando toda a superfície do metal é corroída de maneira relativamente uniforme, resultando na perda geral de espessura do material ao longo do tempo. Esse processo é causado pela reação química contínua entre o metal e um meio corrosivo, como a exposição a umidade, ácidos, substâncias alcalinas, ou até mesmo água (Gentil, 2022).

A Figura 12, exemplifica a corrosão uniforme em toda uma estrutura metálica.

Figura 12 – Corrosão uniforme em estrutura metálica.



Fonte: Santos, 2022.

3.5.3. Corrosão galvânica

A corrosão galvânica é um fenômeno de deterioração que ocorre quando dois materiais metálicos diferentes entram em contato direto em um ambiente externo, criando uma reação eletroquímica que acelera a corrosão de um dos metais envolvidos. Esse processo é especialmente relevante em sistemas fotovoltaicos, nos quais diferentes metais, como alumínio e aço inoxidável, são frequentemente utilizados em componentes estruturais, como suportes, trilhos e parafusos. Esse tipo de corrosão ocorre devido à diferença de potencial eletroquímico entre os metais

envolvidos. Onde metal menos nobre - portanto mais eletronegativo³ - sofre corrosão enquanto o metal mais nobre - menos eletronegativo - atua como um "ânodo de sacrifício", protegendo-o. Isso pode resultar na degradação prematura dos componentes metálicos da estrutura fotovoltaica, levando a falhas e reduzindo a vida útil do sistema (Gentil, 2022).

Abaixo, uma imagem em que um parafuso e porca estão em processo corrosivo de forma galvânica, em uma estrutura metálica, em que possuem metais distintos (Figura 13).

Figura 13 – Parafuso e porca sofrendo corrosão galvânica em estrutura metálica.



Fonte: Venturini, 2019.

3.5.4. Corrosão eletrolítica

De acordo com Gentil (2022), corrosões ocasionadas em estruturas enterradas ou submersas são frequentemente suscetíveis a problemas como esses devido às chamadas correntes de fuga, que são correntes elétricas de interferência, a qual deixam seu circuito original para fluir pelo solo ou pela água. Ao atingir instalações enterradas, podem causar corrosão. Abaixo, a Figura 14 mostra um exemplo de corrosão eletrolítica.

³ Eletronegatividade é uma medida da capacidade de um átomo de atrair elétrons em uma ligação química. Quanto maior a eletronegatividade de um átomo, maior a sua capacidade de atrair elétrons (Callister Jr., 2020).

Figura 14 – Corrosão eletrolítica.



Fonte: Carmox Tubulações, 2023.

3.5.5. Formas de prevenção à corrosão

Existem algumas formas de se reduzir a deterioração da estrutura pela corrosão. Uma vez que o processo é natural e espontâneo, não existem formas de se prevenir totalmente, mas há maneiras de desacelerar esse processo.

De acordo com Venturini (2019), uma dessas formas é o uso de materiais compatíveis, com o diferencial de eletronegatividade menor que 0,5V, a fim de que essa diferença seja tão pequena ao ponto de que a corrosão provocada seja também muito pequena.

Outras formas são por meio de proteção catódica, anódica ou galvânica, descritas abaixo.

3.5.5.1. Proteção Anódica

Esse tipo de proteção envolve o uso de um ânodo de sacrifício ou uma corrente elétrica externa para prevenir a oxidação do metal que se deseja proteger. Isso funciona ao criar um potencial elétrico positivo no metal a ser protegido, impedindo que ele oxide.

3.5.5.2. Proteção Catódica

Essa proteção utiliza uma corrente elétrica controlada para tornar o metal que se deseja proteger o cátodo de um circuito eletroquímico. Isso faz com que o metal seja protegido contra a corrosão, pois a reação eletroquímica ocorre no cátodo (onde a redução ocorre) e não no metal a ser protegido.

3.5.5.3. Proteção Galvânica

A proteção galvânica é um método de prevenção da corrosão de metais que envolve o uso de um metal mais reativo (ânodo de sacrifício) em contato direto com o metal a ser protegido. O metal mais reativo sofre corrosão em vez do metal que se deseja proteger, agindo como uma espécie de "sacrifício". Esse processo aproveita as diferenças na atividade eletroquímica dos metais para evitar que o metal principal seja corroído.

3.6. SUJIDADE

De acordo com Chen *et al* (2019), o acúmulo de poeira, sujeira, sombras e poluição afetam a performance dos painéis fotovoltaicos. E a presença de poeiras e sujeira faz com que parte da luz solar seja bloqueada e os índices de eficiência de produção de energia reduzem, com um fator de redução anual em até 93% da produção energética.

Como a produção de energia de um sistema fotovoltaico é feita através da conversão de radiação solar em corrente, o recobrimento das células fotovoltaicas, faz com que o alcance da mesma seja diminuto, interferindo diretamente na quantidade de energia que o sistema pode produzir.

4. METODOLOGIA

4.1. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho propôs observar e averiguar, através de imagens e visitas à usina fotovoltaica da UFERSA – campus Pau dos Ferros, os níveis de deterioração do sistema fotovoltaico.

Com uma abordagem exploratória, inicialmente foi necessário fazer um estudo sobre usinas fotovoltaicas, seu funcionamento e seus componentes, além das possíveis patologias que possam vir a aparecer. Para isso foi realizada pesquisa bibliográfica em livros de patologia e artigos científicos da área.

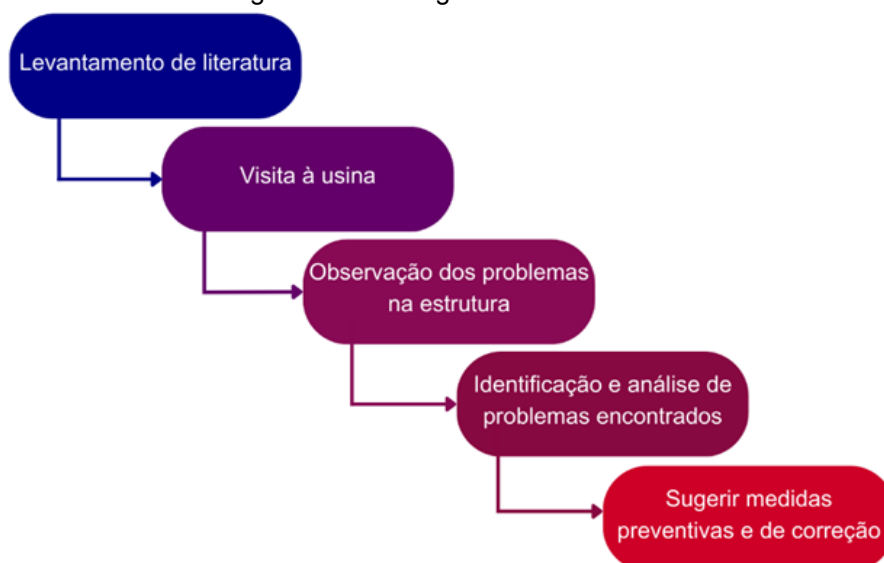
Utilizou-se de livros, artigos e sites da internet para se fazer uma análise prévia quanto ao funcionamento e possíveis patologias existentes na usina e em seguida, foram realizadas visitas à usina fotovoltaica da UFERSA – campus Pau dos Ferros, a fim de se fazer registros de imagens de como os módulos fotovoltaicos e suportes se encontram, para se realizar um estudo dos dados coletados. Esses dados foram observados e, com as teorias previamente estudadas, foi possível uma estimativa dos motivos de suas ocorrências.

Foram realizadas imagens da usina com o uso de drone e as coordenadas reais da área da usina foram obtidas através de GPS, em seguida, esses dados foram levados para softwares a fim de se obter um mapa com as coordenadas e imagens atualizadas.

Também foram obtidos dados meteorológicos provindos da estação meteorológica localizada próxima a área da usina, com o objetivo de dar à usina um histórico dos dados atmosféricos de precipitação e temperatura, principalmente. Esses dados estão disponíveis no site oficial da universidade.

Por fim, foram propostas formas de prevenção e combate das manifestações patológicas. A Figura 15 mostra um fluxograma com detalhamento de cada etapa realizada no presente trabalho.

Figura 15 – Fluxograma de atividades.



Fonte: Autora, 2023.

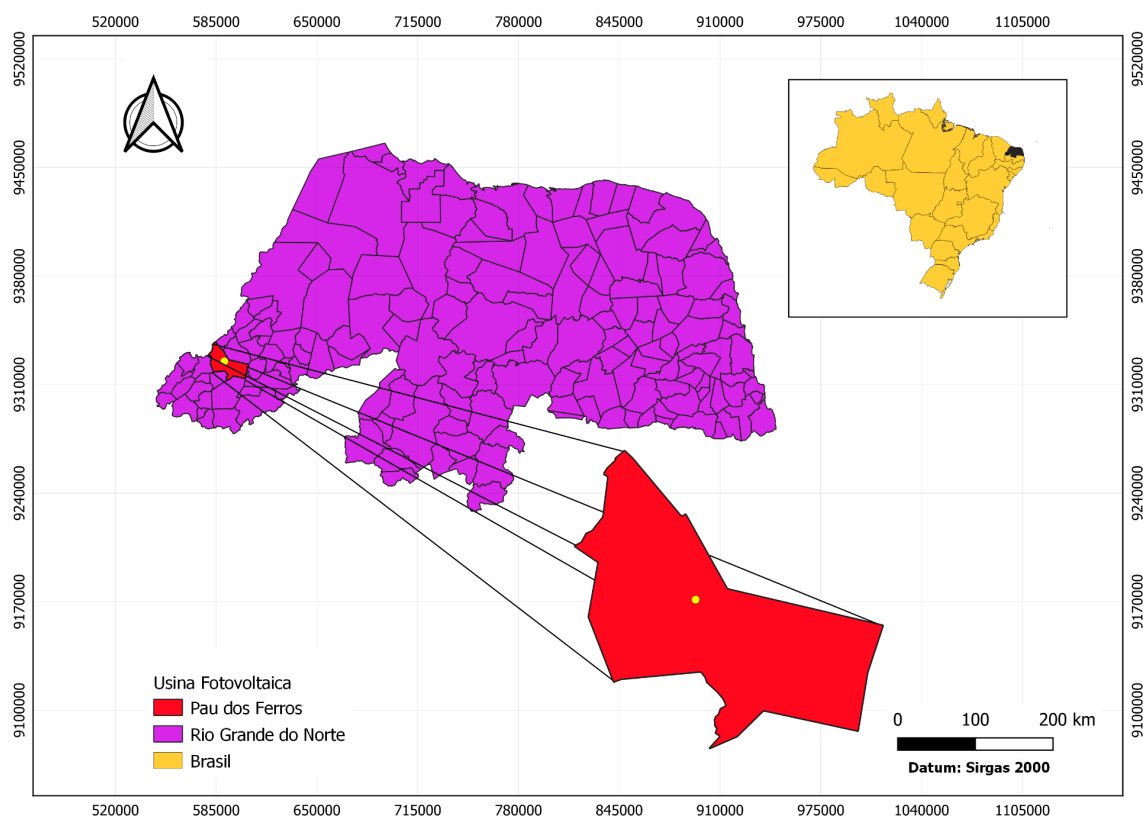
A pesquisa realizada visa usar do método dedutivo – que utiliza a lógica dedutiva para derivar conclusões específicas a partir de princípios gerais ou teorias estabelecidas – para se explicar os fenômenos patológicos encontrados na usina, para assim, serem propostas formas de intervenção.

4.2. USINA FOTOVOLTAICA DA UFERSA – CAMPUS PAU DOS FERROS

4.2.1. Características da Usina

A usina fotovoltaica da UFERSA - Campus Pau dos Ferros, é localizada na BR 226, KM 405, Bairro São Geraldo. Pau dos Ferros-RN. Com as coordenadas UTM 24S 590248.00E 9325025.00S, como é representado na Figura 16.

Figura 16 – Mapa da localização de Pau dos Ferros.



Fonte: Autora, 2023.

Dentro da universidade é possível a localização visual do lado oeste da sua entrada, como é possível observar na Figura 17.

Figura 17 – UFERSA em imagem de satélite.



Fonte: Google Earth, 2023.

Na Figura 18, uma visualização superior da usina e seus limites dentro da universidade, obtida por meio do uso de drone.

Figura 18 – Vista superior da usina na UFERSA - Campus Pau dos Ferros.



Fonte: Autora, 2023.

De acordo UFERSA (2023), a única usina aberta para visitação do campus, começou a sua operação no dia 13 de novembro de 2018, contando com 190 módulos fotovoltaicos dispostos em aproximadamente 400m² (Figura 20), com geração de energia de projeto estimada em 62,7kWp⁴.

⁴ kWp ou quilowatt-pico, é a unidade de medida usada para medir a capacidade máxima de potência de um sistema fotovoltaico, em funções ideais de funcionamento (Sirius, 2021).

Figura 19 – Usina Fotovoltaica de chão da UFERSA - Campus Pau dos Ferros.



Fonte: Autora, 2023.

O sistema é conectado à rede elétrica da universidade através de inversores instalados em um abrigo de alvenaria (Figura 20) onde há 2 inversores de 25kW e 1 de 15kW.

Figura 20 – Abrigo de alvenaria com os inversores.



Fonte: Autora, 2023.

A estação meteorológica associada à usina registrou, entre agosto de 2019 e novembro de 2022 - período de tempo em que está associada ao sistema - uma média de temperatura de 28,37 °C e uma precipitação de chuva de 0,0055 mm/ano, com evapotranspiração de 5,77 mm e uma umidade relativa média de 61,87%. A usina também recebeu uma média de radiação solar de 244,74 W/m².

A Figura 21 apresenta as médias anuais para as variáveis de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar, precipitação, evapotranspiração e ponto de orvalho durante o intervalo de tempo mencionado.

Figura 21 – Quadro de média de dados da Usina Fotovoltaica.

MÉDIAS					
	2019	2020	2021	2022	média
Intervalo de tempo	06/08 à 31/12	01/01 à 31/12	01/01 à 31/12	01/01 à 07/11	
TEMPERATURA (°C)	29,40	28,14	28,59	27,36	28,37
UMIDADE RELATIVA (%)	49,99	65,72	62,08	69,69	61,87
VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	2,08	1,46	1,49	1,29	1,58
DIREÇÃO DO VENTO (°)	116,84	143,59	139,74	160,62	140,20
RADIAÇÃO SOLAR (W/m ²)	261,97	240,94	239,21	236,84	244,74
CHUVA (mm)	0,00	0,01	0,01	0,01	0,0055
EVAPOTRANSPIRAÇÃO (mm)	7,59	5,29	5,23	4,97	5,77
PONTO DE ORVALHO (°C)	16,87	20,18	19,69	20,56	19,32

Fonte: Adaptado de UFERSA, 2023.

Ao ser visitada a usina, foram encontrados problemas no sistema, tanto nas placas solares quanto na área circundante. Além disso, foram observadas deficiências na alvenaria que protege os inversores. A seguir, serão apresentadas seções detalhadas para abordar essas questões com maior profundidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. PROBLEMAS ASSOCIADOS AO SISTEMA FOTOVOLTAICO

5.1.1. Problemas nos suportes de fixação no solo

No sistema em estudo, percebe-se a grande presença de elementos que possam ocasionar corrosão e deterioração na estrutura. A presença de água no entorno da estrutura, e os sais contidos nela, por exemplo, podem vir a acelerar esse processo. Essa corrosão está presente e pode ser visível nos parafusos que asseguram os módulos na estrutura metálica.

Durante os períodos chuvosos, que ocorrem entre fevereiro e abril, conforme os dados meteorológicos da UFERSA, a área onde a usina está localizada pode ficar inundada. Isso resulta em parte dos blocos que servem como suporte e nivelamento da estrutura ficarem submersos, como pode ser observado na Figura 22.

Figura 22 – Área da usina fotovoltaica alagada.



Fonte: Autora, 2023.

A ação da água na estrutura de fixação pode ser vista através das marcas que ela deixa após o alagamento da área, onde todos os blocos de apoios possuem essas marcas características, indicando a altura em que a água sobe, como visto na Figura 23.

Figura 23 – Marca de água em blocos de apoio.



Fonte: Autora, 2023.

Em alguns desses blocos, foram identificadas falhas em suas bases, possivelmente causadas pela ação da água. Na Figura 24, foi possível visualizar uma abertura na base do bloco. Caso essa abertura se propague para outros blocos e afete partes mais profundas da peça, pode resultar no colapso da usina. Isso ocorre porque a perda de massa do bloco está diretamente relacionada à instabilidade e desalinhamento na estrutura, podendo causar a diminuição de sua resistência, o que pode causar.

Figura 24 – Avaria em bloco de apoio de estrutura.



Fonte: Autora, 2023.

Outro fator que pode contribuir para a deterioração das estruturas, tanto as metálicas quanto as de alvenaria, é a vegetação que cresce ao redor da área. Isso ocorre porque essa vegetação pode causar movimentação no solo e introduzir elementos orgânicos nas estruturas metálicas, resultando na aceleração do processo de corrosão, uma vez que estes são acelerantes no processo corrosivo (Gentil, 2022). Essa vegetação tende a crescer entre os blocos e sob os painéis, como ilustrado na Figura 25. Dependendo do intervalo de tempo entre a remoção da vegetação, ela pode se espalhar até atingir as placas e o cabeamento, resultando em danos.

Figura 25 – Vegetação crescente.



Fonte: Autora, 2023.

Conforme apontado por Gentil (2022), a corrosão pode ser influenciada por várias substâncias presentes na água, tais como gases dissolvidos, matéria orgânica, bem como a presença de bactérias. Portanto, os riscos de aumento no processo corrosivo aumentam sempre que ocorrem alagamentos e crescimento de vegetação na área em questão.

Em relação as porcas da estrutura, foi observado que algumas delas já iniciaram seu processo corrosivo, provavelmente devido a esforços mecânicos durante a instalação que retiraram a película protetora ou criou fissuras no material, fazendo com que o processo corrosivo se acelerasse, como pode ser visto na Figura 26. Essa perda de parte de sua camada protetora, pode fazer com que a porca corra de forma mais acelerada do que o previsto, o que pode modificar suas características de resistência à corrosão (Gentil, 2022).

Figura 26 – Porcas com indícios de corrosão.



Fonte: Autora, 2023.

5.1.2. Problemas em elementos de passagem elétrica

Foram observadas que algumas das calhas de aterramento, que tem como função proteger o aterramento da estrutura e estão localizadas na lateral da matriz, se encontram quebradas. Isso torna mais fácil a entrada de água nesses elementos, tornando-o mais suscetível à corrosão. A Figura 27 mostra como pode ser encontrado esse aterramento atualmente.

Figura 27 – Corrosão em aterramento.



Fonte: Autora, 2023.

Foi observado também que algumas dessas calhas estão posicionadas em um nível mais baixo do que outras no solo, o que aumenta a probabilidade de alagamento e pode até tornar sua presença difícil de identificar. Isso representa um risco, pois alguém pode inadvertidamente pisar sobre elas ou cobri-las ainda mais. A Figura 28 ilustra uma calha de aterramento praticamente coberta por brita, localizada no solo da área da usina.

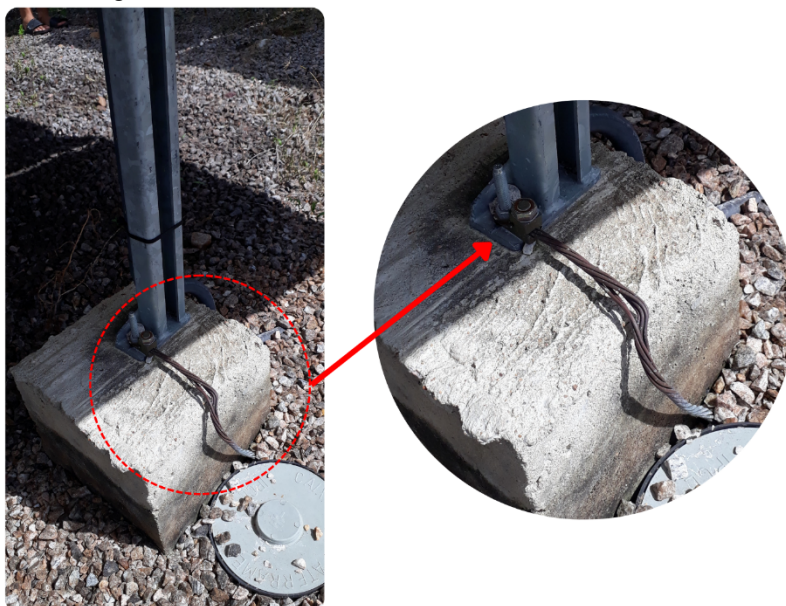
Figura 28 – Tampa de calha de aterramento abaixo do nível.



Fonte: Autora, 2023.

O alagamento das calhas também desencadeia a corrosão de parafusos e do cabeamento do sistema de aterramento, como ilustrado na Figura 29, onde a coloração avermelhada do cabeamento metálico é visível. Essa coloração é característica da corrosão em materiais que contêm ferro em sua composição. Além disso, nota-se que o parafuso apresenta a mesma coloração avermelhada, evidenciando o processo corrosivo em andamento.

Figura 29 – Parafuso e cabo com início de corrosão.



Fonte: Autora, 2023.

As caixas de passagem também se encontram com problemas aparentes. Onde todas possuem suas tampas quebradas ou danificadas, como é visto na Figura 30, possibilitando a entrada de animais, vegetação, água e ainda passível de acidentes em caso alguém pise nelas.

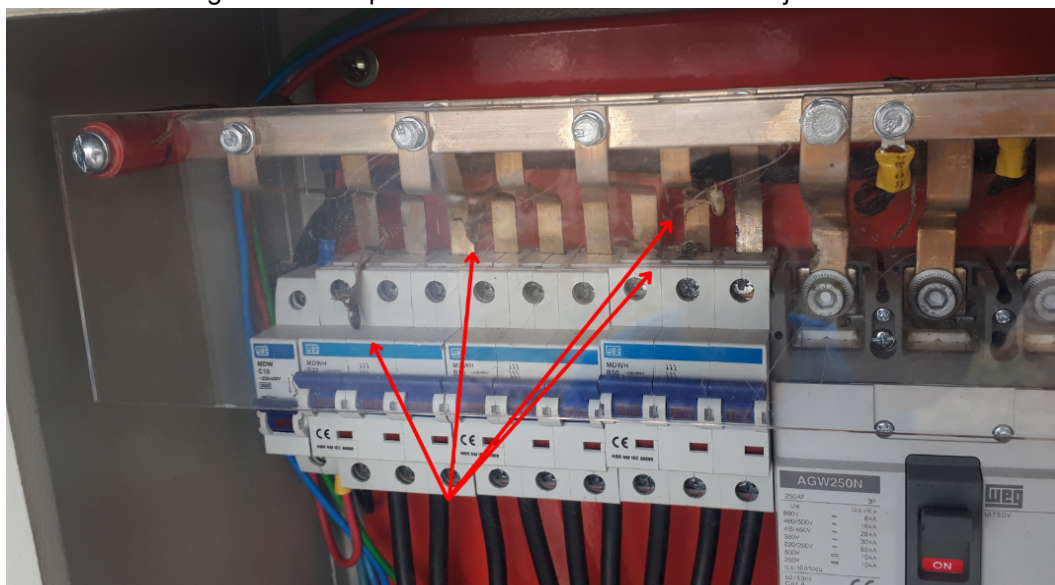
Figura 30 – Caixas de passagem danificadas.



Fonte: Autora, 2023

Na proteção de alvenaria dos inversores, surge a preocupação com a passagem de pequenos animais pelas aberturas das entradas de cabos, o que pode resultar na entrada desses animais no quadro de disjuntores. Isso, por sua vez, pode levar a danos no circuito, como ilustrado na Figura 31.

Figura 31 – Pequenos animais enroscados nos disjuntores.



Fonte: Autora, 2023.

Atualmente, há evidência de dois Dispositivos de Prevenção contra Surto (DPS) que se encontram danificados, como mostrado na Figura 32. Isso provavelmente ocorreu devido tanto ao disparo do dispositivo a fim de proteger o

sistema, ou devido à uma má instalação elétrica e até mesmo alguma patologia relacionada.

Figura 32 – DPS's queimados.



Fonte: Autora, 2023.

A corrosão no aterramento da estrutura traz malefícios ao sistema como todo, uma vez que se houver uma necessidade de descarga, esse aterramento pode não suportar e a carga seja transferida para o solo em torno da usina, tornando um perigo aos transeuntes que estejam na região. Esse perigo se torna maior em períodos chuvosos, onde o aterramento fica em contato direto com o meio aquoso.

O acidente de visitantes na usina - em questão de ocasionar deterioração nos módulos - não é descartado, uma vez que a área é aberta e sem cercamento, podendo ocorrer de alguém pisar em um dos elementos que se encontram no chão, como as calhas de aterramento e caixas de passagem, ou de, indevidamente, provocar a danificação de algum corpo do conjunto.

5.1.3. Módulos danificados

Não apenas existem problemas nas partes de passagem de fios ou estrutura de fixação, como alguns dos módulos possuem defeitos que foram adquiridos com o tempo.

- Deslizamento de módulos

Nas Figuras 33 a 35, é visível o deslocamento dos módulos, o que acontece devido ao desgaste e, eventualmente, à perda das borrachas que estão presas nos grampos intermediários. Essas borrachas têm a função de fixar os módulos na estrutura e evitar que esses dois elementos entrem em contato.

Figura 33 – Matriz apresentando deslizamento de painéis.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 34 – Painéis deslocados.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 35 – Painéis deslizantes.



Fonte: Autora, 2023.

Segundo a Comissão de Gestão da Usina Fotovoltaica, o material usado na usina é o mesmo do tipo usado para lugares com temperaturas mais amenas do que as temperaturas da cidade de Pau dos Ferros. Onde a temperatura média da cidade de Pau dos Ferros entre agosto de 2019 e novembro de 2022 foi de 28,37 °C, a

temperatura média do Estado do Rio Grande do Sul, por exemplo, varia entre 15° e 18°C (Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2022).

Na Figura 36, é evidente que o módulo à direita está deslizando para baixo, o que ocorre devido à degradação da borracha localizada entre ele e o grampo intermediário. Essa borracha sofre desgaste e, conseqüentemente, perde parte ou mesmo a totalidade de sua capacidade de evitar que os painéis deslizem entre si.

Figura 36 – Painel deslizando.



Fonte: Autora, 2023.

Na Figura 37, é perceptível que as borrachas estão fora de posição, e o módulo central encontra-se em uma posição mais baixa do que os outros, sugerindo que, pelo menos, um dos módulos deslizou para baixo.

Figura 37 – Borrachas fora do lugar.



Fonte: Autora, 2023.

Alguns módulos atualmente estão sem suas borrachas devido ao desgaste, e aqueles que ainda possuem as borrachas exibem um alto nível de ressecamento desses componentes. A Figura 38 ilustra a condição atual dessas borrachas.

Figura 38 – Borracha ressecada entre estrutura.



Fonte: Autora, 2023.

O contato entre as molduras metálicas dos módulos resulta no início de corrosão por meio do atrito entre esses elementos, que arranha a estrutura e facilita o processo corrosivo. Isso pode representar um risco futuro significativo para a estabilidade, resistência e integridade da estrutura. A Figura 39 ilustra um desses casos em que a borracha está se deteriorando, já permitindo o contato entre os módulos e os grampos.

Figura 39 – Borracha em processo de deterioração.



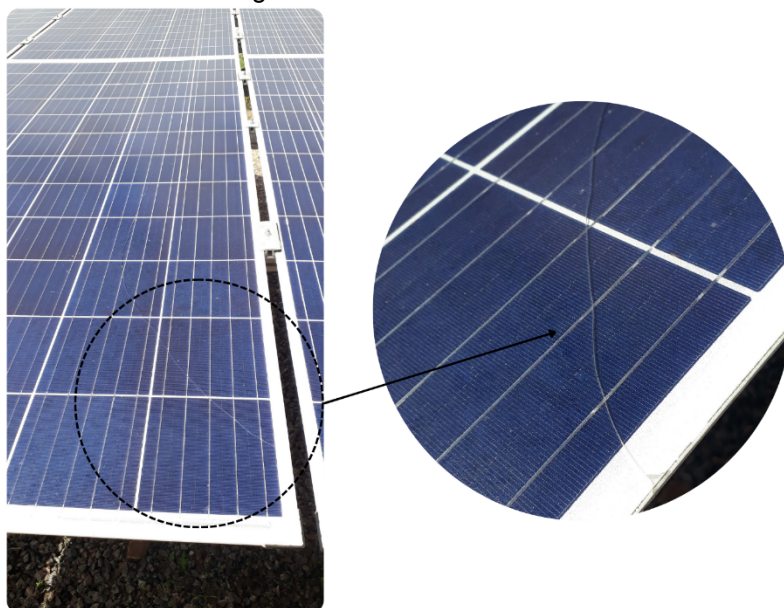
Fonte: Autora, 2023.

A corrosão da figura 39 pode estar associada, inclusive, com umidade acumulada pela borracha.

- Placas quebradas

Na usina fotovoltaica em estudo, também ocorre a presença de placas trincadas e quebradas, como é visto nas Figuras 40 a 42.

Figura 40 – Módulo trincado.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 41 – Placa com trincas na sua face superior.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 42 – Trincas na face posterior da placa.

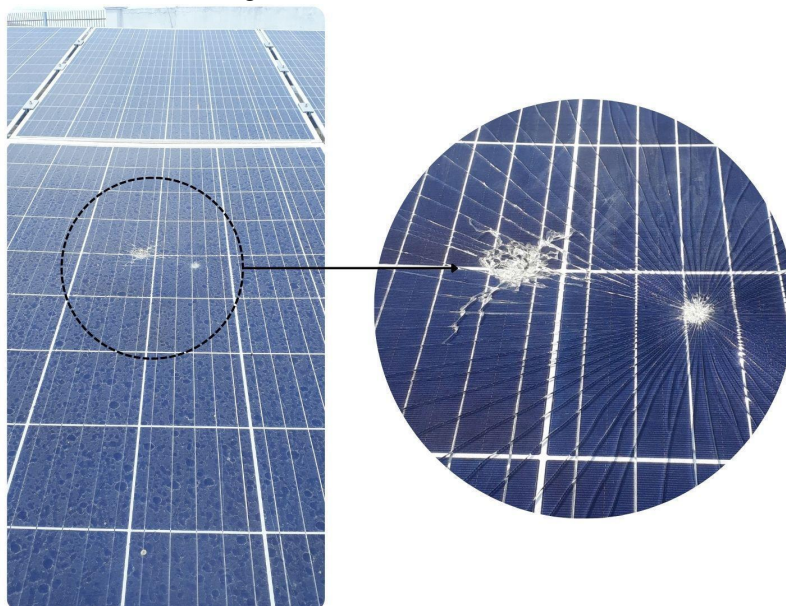


Fonte: Autora, 2023.

Essas trincas geralmente surgem na parte superior dos módulos, mas existem casos mais graves em que essas trincas se estendem até a face posterior da peça. Em tais situações, é correto afirmar que o módulo se encontra em estado crítico, uma vez que, devido à quantidade e localização das trincas, a peça pode se quebrar com maior facilidade.

Em uma das placas, foi identificada uma fissura em sua superfície superior, conforme mostrado na Figura 43. Essa fissura pode ter sido causada pela queda de algum objeto pesado ou por pedras britadas, que é o material utilizado para cobrir o solo na área.

Figura 43 – Pannel com fissura.



Fonte: Autora, 2023.

Alguns possíveis motivos para as trincas e fissuras seriam a movimentação própria da estrutura; com os parafusos perdendo sua capacidade de resistir aos esforços, resulta na folga dos componentes e a consequente movimentação não projetada dos módulos e na aparição de trincas e fissuras.

- Parafusos corroídos

Em cada módulo, três parafusos desempenham um papel crucial na estabilidade do sistema. Na maioria dos painéis, pelo menos um desses parafusos está em um estágio avançado de corrosão. Esse fato pode impactar negativamente no aperto das borrachas mencionadas anteriormente, acelerando o processo de deslocamento das placas. A Figura 44 ilustra módulos com parafusos centrais apresentando corrosão.

Figura 44 – Painéis com parafusos corroídos em grampos centrais.



Fonte: Autora, 2023.

A grande maioria dos parafusos centrais da estrutura, que são responsáveis por fixar um módulo a outro, está em estado avançado de corrosão, como pode ser visto na Figura 45. Por outro lado, as porcas associadas a esses parafusos não mostram sinais significativos de degradação.

Figura 45 – Parafuso em avançado processo de corrosão.



Fonte: Autora, 2023.

Nos parafusos em questão, é evidente que estão sofrendo corrosão do tipo galvânica, uma vez que as porcas associadas a eles não apresentam corrosão evidente ou um nível equivalente de desgaste.

5.1.4. Manutenção

As limpezas da estrutura são realizadas regularmente a cada 3 meses, incluindo a lavagem dos módulos com água, a fim de remover poeira e sujeira, como fezes de pássaros. Abaixo, a Figura 46 mostra um módulo com sujeira causada pelo excremento de pássaros.

Figura 46 – Módulo com excremento de pássaros.



Fonte: Autora, 2023.

Abaixo, a Figura 47 exemplifica um painel com sujeira aparente. Essas impurezas na superfície dos módulos podem vir a prejudicar a produção de energia do sistema.

Figura 47 – Painel sujo de poeira.



Fonte: Autora, 2023.

A manutenção também conta com a limpeza do perímetro da área para a retirada da vegetação que cresce ao redor.

Além disso, a Comissão de Gestão de Usinas Fotovoltaicas do campus não dispõe de autonomia para realizar intervenções de correção e/ou prevenção. Portanto, foi criada uma ficha de Inspeção pela própria comissão, a fim de relatar quaisquer problemas que possam surgir.

5.2. SUGESTÕES

Algumas sugestões de mudanças na usina são, primeiramente, a troca dos componentes corroídos, desde os parafusos usados para a fixação dos módulos na estrutura até o cabeamento e aterramento corroídos. E a troca das borrachas usadas nos grampos de fixação para borrachas adequadas para temperaturas equivalentes à da cidade de Pau dos Ferros/RN.

Quanto aos parafusos, é necessário o uso de componentes que passem por um processo de galvanização a fim de se possuir uma película protetora que não deixe o parafuso se corroer facilmente.

Outra sugestão é a troca das calhas de aterramento de forma que estas fiquem vedadas e niveladas, de forma a não permitir a entrada de água ou serem cobertas acidentalmente.

Os blocos de apoio e nivelamento da usina necessitam ser vistoriados a fim de se saber quais requerem reforço ou reestruturação. Assim como as caixas de passagem, que também precisam de, no mínimo, troca de suas tampas danificadas. Além disso, uma vistoria destes blocos a fim de se garantir nivelamento ajudaria na estabilidade do sistema e talvez diminuísse a quantidade de trincas que os painéis apresentam.

É necessária uma inspeção, além disso, com o intuito de se saber quais desses módulos necessitam de substituição e a realização efetiva dessa troca dos componentes. Bem como o cercamento da área e vedação de abrigo de inversores, a fim de se evitar acidentes ou prejuízos a quem estiver na área ou ao sistema em questão.

Outro ponto importante a ser discutido é a possibilidade de drenagem da área da usina, a fim de se evitar alagamentos e o surgimento de mais patologias, prolongando a vida útil de todo o sistema.

A autonomia da Gestão de Usina Fotovoltaica da UFERSA - Campus Pau dos Ferros é de bom tom, uma vez que muitas manutenções e intervenções seriam aplicadas mais rápidas por uma equipe local a fim do bem estar de todo o conjunto.

A manutenção periódica, inspeção e ações de prevenção são de suma importância para o bom funcionamento da usina fotovoltaica, uma vez que a produção de energia diminui conforme mais componentes apresentam falhas. Além disso, a escolha dos materiais corretos, diminui consideravelmente as ações de grandes intervenções futuras.

6. CONCLUSÕES

Apesar de ser uma usina relativamente nova, tendo em comparação que o tempo de vida útil de um sistema fotovoltaico é em média de 25 anos, o conjunto fotovoltaico apresentado já possui problemas em sua estrutura que podem levar ao colapso da mesma, seja por insuficiência em produzir a energia projetada ou pelo declínio físico do conjunto fotovoltaico.

Foram possíveis identificar diversas manifestações patológicas nos elementos do sistema fotovoltaico em estudo, desde processos corrosivos avançados, à trincas e quebras de painéis e elementos elétricos danificados. Essas manifestações estão ligadas principalmente ao alagamento da área em que a usina é localizada, fazendo com que os processos de deterioração da estrutura se inicie de forma precoce e estes sejam agravados com este fator.

Intervenções são necessárias no intuito de acrescer em vida útil e prevenção de custos maiores futuramente. Então, foram propostas sugestões de medidas corretivas a fim de fazer com que os problemas encontrados sejam erradicados ou diminuídos, como a troca dos componentes corroídos e quebrados. Além disso, foram feitas sugestões visando o não aparecimento de mais e novas manifestações patológicas, como um sistema de drenagem na área.

Este trabalho pode ser tomado como impulso para a criação de novos estudos relacionados à usina em questão, no intuito de análises térmicas e de eficiência do sistema, ou acompanhamento das presentes manifestações patológicas com o objetivo de observar se as sugestões foram aceitas, ou quais novas podem surgir para garantir o beneficiamento da usina.

REFERÊNCIAS

ADEL JUAIDI *et al.* Experimental validation of dust impact on-grid connected PV system performance in Palestine: An energy nexus perspective. **Energy nexus**, v. 6, p. 100082–100082, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772427122000456>>. Acesso em: 17 out. 2023.

ARCELOTMITTAL. **Making steel**. Arcelormittal. Disponível em: <<https://corporate.arcelormittal.com/about/making-steel>>. Acesso em: 5 jul. 2023.

BALFOUR, John R; SHAW, Michael L ; NASH, Nicole Bremer. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. Trad. Luiz Claudio de Queiroz Faria. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2019.

BENY ELECTRIC. **Tipos e aplicações de disjuntores para sistemas solares | Beny**. Disponível em: <<https://www.beny.com/pt/solar-system-circuit-breaker-types-and-applications/>>. Acesso em: 7 out. 2023.

BLUE SOL ENERGIA SOLAR. **Módulo Fotovoltaico: as 5 principais Questões Respondidas + Bônus**. Blog Blue Sol. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/modulo-fotovoltaico/>>. Acesso em: 6 jul. 2023.

CALLISTER JR., William D ; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. Trad. Soares Sérgio Murilo Stamile ; Faria Luiz Claudio de Queiroz. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

CARMOX TUBULAÇÕES. **Corrosão eletrolítica: o que é e como afeta as tubulações?** Disponível em: <<https://www.carmox.com.br/corrosao-eletrolitica-o-que-e-e-como-afeta-as-tubulacoes>>. Acesso em: 8 out. 2023.

CHEN, Yingya *et al.* Experimental Study on the Effect of Dust Deposition on Photovoltaic Panels. **Energy Procedia**, v. 158, p. 483–489, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219301493?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=81784a848a6627f5>. Acesso em: 17 out. 2023.

CLAMPER. **CLAMPER - Loja Oficial**. Disponível em: <<https://www.lojaclamper.com.br/>>. Acesso em: 8 out. 2023.

COSTA, Mardoqueu da. **Ductilidade: principais conceitos**. Biopdi. Disponível em: <<https://biopdi.com.br/artigos/ductilidade>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

EOA ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Tipos de estrutura de fixação para sistema fotovoltaico**. Eoa Energias Renováveis. Disponível em: <<https://ecoaenergias.com.br/estrutura-fixacao-sistema-fotovoltaico/>>. Acesso em: 5 out. 2023.

ENESSUL ENGENHARIA DE CORROSÃO. **Formas de Corrosão e Meios Corrosivos**. Disponível em:

<<https://www.enessul.com.br/2017/05/10/formas-de-corrosao-e-meios-corrosivos/>>. Acesso em: 6 out. 2023.

ENGENHEIRO DE MATERIAIS. **As Formas de Corrosão**. Disponível em:

<<https://engenheirodemateriais.com.br/2017/04/26/as-formas-de-corrosao/>>. Acesso em: 18 set. 2023.

ENSOLARE. **Efeito fotovoltaico - Como a energia é gerada. Ensolare - Energia Solar Fotovoltaica**. Ensolare - Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em:

<<https://www.ensolare.com.br/blog/efeito-fotovoltaico-como-a-energia-e-gerada>>. Acesso em: 5 jul. 2023.

GENTIL, Vicente ; JOSÉ DE CARVALHO, Ladimir. **Corrosão**. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2022.

GENTIL, Vicente ; JOSÉ DE CARVALHO, Ladimir. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

GET POWER SOLAR. **Estrutura De Fixação Para Pannel Fotovoltaico**. Disponível em: <<https://getpowersolar.com.br/blog/estrutura-de-fixacao-pannel-fotovoltaico/>>. Acesso em: 13 nov. 2022.

GUIDOTTI, Eduardo. **Protegendo seu investimento fotovoltaico contra a corrosão**. Somos Energiza. Disponível em:

<<https://somosenergiza.com.br/protegendo-seu-investimento-estrategias-contr-a-a-corrosao-galvanica-em-estruturas-fotovoltaicas/>>. Acesso em: 24 set. 2023.

ICZ. **Corrosão**. Disponível em: <<https://www.icz.org.br/corrosao.php#>>. Acesso em: 5 out. 2023.

INTELBRAS. **Home | Intelbras**. Disponível em: <<https://www.intelbras.com/pt-br/>>. Acesso em: 8 out. 2023.

LAU, Lucas. **Estruturas para sistemas fotovoltaicos: Tipos e características importantes**. Sharenergy. Disponível em:

<<https://www.sharenergy.com.br/estruturas-para-sistemas-fotovoltaicos-tipos-e-caracteristicas-importantes/>>. Acesso em: 3 set. 2023.

MOREIRA, José Roberto Simões *et al.* **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2021.

OCA ENERGIA. **Componentes Sistema Fotovoltaico: Quais São Eles?** Oca Energia. Disponível em:

<<https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/quais-sao-os-componentes-sistema-fotovoltaico/>>. Acesso em: 5 out. 2023.

OLSEN, Natasha. **O que acontece com um painel solar quando termina sua vida útil?** ArchDaily. Disponível em:

<<https://www.archdaily.com.br/br/948299/o-que-acontece-com-um-painel-solar-quando-termina-sua-vida-util>>. Acesso em: 6 jun. 2023.

OPUS SOLAR. **Inversor Solar Deye 3000w - Monofásico - 220V - Opus Solar.**

Disponível em:

<<https://loja.opussolar.com.br/produto/inversor-solar-monofasico-3000w-deye-copia/>>. Acesso em: 8 out. 2023.

PFEIL, Walter ; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Aço - Dimensionamento Prático**. 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2021.

PORTAL SOLAR. **Inversor Solar: O que é, Como Funciona e Como Escolher? | Portal Solar.** Disponível em:

<<https://www.portalsolar.com.br/inversor-solar-o-que-e>>. Acesso em: 7 out. 2023.

REIS, Pedro. **Como funcionam as células solares fotovoltaicas.** Portal Energias Renováveis. Disponível em:

<<https://www.portal-energia.com/como-funcionam-celulas-solares-componentes-operacoes>>. Acesso em: 21 nov. 2022.

REIS, Pedro. **Qual o tempo de vida útil real dos painéis solares fotovoltaicos.**

Portal Energias Renováveis. Disponível em:

<<https://www.portal-energia.com/qual-o-tempo-de-vida-util-real-de-um-painel-solar>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

SANTOS, LEONARDO. **Corrosão em metais – Princípios e prevenção - Lemarg Projetos e Serviços.** LEMARG. Disponível em:

<<https://lemarg.com.br/corrosao-em-metais/>>. Acesso em: 8 out. 2023.

SCHLEETER, Ryan. **Alternative Energy Use | National Geographic Society.**

National geographic. Disponível em:

<<https://education.nationalgeographic.org/resource/alternative-energy-use/>>. Acesso em: 3 jul. 2023.

SILVA. Estudo e projeto da proteção de uma subestação de 750 kva para conexão de sistema fotovoltaico. **Repositorio.ufu.br**, 2023. Disponível em:

<<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/38885>>. Acesso em: 18 out. 2023.

SIRIUS. **O que é kWp em energia solar e como converter em kWh.** Disponível em: <<https://energiasirius.com/o-que-e-kwp/>>. Acesso em: 15 out. 2023.

SOARES, Adriana *et al.* **Metodologia da Pesquisa Científica**. [s.l.: s.n.], 2018.

Disponível em:

<https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/358/2019/02/Metodologia-da-Pesquisa-Cientifica_final.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2022.

SOLARVOLT ENERGIA. **Aprenda a realizar a manutenção de sistemas solares fotovoltaicos.** Disponível em:

<<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/aprenda-a-realizar-a-manutencao-de-sistemas-solares-fotovoltaicos/>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

SOPRANO. **Por que o dispositivo de proteção contra surtos é um produto indispensável na sua loja de materiais elétricos.** Disponível em:

<

SOUZA, Liria Alves de. **Alumínio.** Mundo Educação. Disponível em:

<<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/aluminio.htm>>. Acesso em: 5 jul. 2023.

STECK. **Steck.** Disponível em: <<https://loja.steck.com.br/>>. Acesso em: 8 out. 2023.

STILO SOLAR | SOLUÇÕES EM ENERGIA SOLAR. **Qual é a durabilidade da placa solar? | A Stilo Solar responde.** Disponível em:

<<https://stilosolar.com.br/energiasolar/2020/08/11/qual-e-a-durabilidade-de-um-sistema-de-energia-fotovoltaica/>>. Acesso em: 6 out. 2023.

VIAN, Ângelo *et al.* **Energia Solar: Fundamentos, Tecnologia e Aplicações.** 1. ed. [s.l.]: Editora Blucher, 2021.

VINTURINI, Mateus. **Corrosão galvânica em estruturas metálicas de sistemas fotovoltaicos.** Canal Solar. Disponível em:

<<https://canalsolar.com.br/corrosao-galvanica-em-estruturas-metalicas/>>. Acesso em: 12 nov. 2022.

YAQOOB, Salam J *et al.* Comparative study with practical validation of photovoltaic monocrystalline module for single and double diode models. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, 2021. Disponível em:

<<https://www.nature.com/articles/s41598-021-98593-6>>. Acesso em: 18 out. 2023.

YES ENERGIA SOLAR. **MÓDULOS MONOCRISTALINOS E POLICRISTALINOS: O QUE VOCÊ PRECISA SABER ?** Disponível em:

<<https://www.yesenergiasolar.com.br/modulos-monocristalinos-e-policristalinos-o-que-voce-precisa-saber>>. Acesso em: 6 out. 2023.

Clima, temperatura e precipitação. Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. Disponível em:

<<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/clima-temperatura-e-precipitacao>>. Acesso em: 16 out. 2023.

Usinas Solares da UFERSA. Ufersa.edu.br. Disponível em:

<<https://usinasolar.ufersa.edu.br/>>. Acesso em: 3 out. 2023.

Usinas Solares da UFERSA | Dados Meteorológicos. Ufersa.edu.br. Disponível em: <<https://usinasolar.ufersa.edu.br/dados-emas/>>. Acesso em: 3 fev. 2023.