ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Manutenção e Operação

Realização:

FÓRUM DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

UFRR

Instituto Euvaldo Lodi - RR

PELO FUTURO DA INDÚSTRIA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA - UFRR

PRÓ-REITORIA DE ASSUNTOS ESTUDANTIS E EXTENSÃO– PRAE

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - DEE

Programa de Extensão:
Elaboração e Divulgação de Cartilhas, Minicurso e Visitas Técnicas sobre Sistemas Fotovoltaicos.

AÇÃO DO CONVÊNIO ESTABELECIDO ENTRE A UFRR E O FÓRUM DE ENERGIAS RENOVÁVEIS / IEL

EQUIPE

Profª. Me. Jamille Tuanne Dantas Alves (UFRR)
Profª. Me.Luizalba Santos e Souza Pinheiro (UFRR)
Profª. Dra. Susset Guerra Jimenez (UFRR)
Prof. Dr. Alexander Fernandez Correa (UFRR)
Jardel Farias Maciel (UFRR)
Rosilene Oliveira Maia (FÓRUM DE ENERGIAS RENOVÁVEIS / IEL-RR)
Charly da Silva Nascimento (UFRR)
Gabriel Matias Machado (UFRR)
João Homero de Souza Cruz Camillo (UFRR)

Boa Vista - RR, 2023

FÓRUM DE
ENERGIAS RENOVÁVEIS

Em memória de Alexandre Henklain (1960-2022)
Incentivador das Energias Renováveis e Sustentáveis em Roraima e na Amazônia.

Estes são produtos resultantes da parceria Fórum de Energias Renováveis e Universidade Federal de Roraima (UFRR) que propiciou a construção do Laboratório de Energia Solar Fotovoltaica *Alexandre Henklain* - entusiasta das energias renováveis, como forma de promoção da sustentabilidade inclusiva e justa.

O laboratório foi estruturado fundamentalmente para dar suporte à formação prática dos estudantes do Curso de Engenharia Elétrica da UFRR, porém numa perspectiva extensiva à sociedade local, incluindo produtores rurais e comunidades indígenas que vêm, de forma crescente em nosso estado, sendo assistidas com kits solares para geração de energia elétrica.

Os produtos consistem em 3 Cartilhas sobre Energia Solar Fotovoltaica:

- **Manutenção e Operação – com o objetivo de explicar de forma explícita a importância da manutenção e operação dos sistemas fotovoltaicos.**
- **Dimensionamento de Sistemas de Geração Fotovoltaica – com o objetivo de instruir estudantes e a comunidade em geral sobre sistemas de energia solar fotovoltaica.**
- **Comunidade Rural e indígena – com o objetivo de divulgar à comunidade rural e indígena do estado de Roraima a importância da energia solar fotovoltaica para geração de energia elétrica.**

São conjuntos de informações práticas e simples que vão auxiliar o leitor para uma melhor compreensão do tema.

SOBRE ESTA CARTILHA!

A busca por um modelo energético baseado no desenvolvimento sustentável em curto, médio e longo prazo, que permita a satisfação das necessidades energéticas e minimize os impactos ambientais, sem comprometer as condições de vida no planeta, tem se tornado uma área de pesquisa em destaque.

Dentre as diversas fontes alternativas de energia renovável, a energia solar fotovoltaica tem ganhado espaço significativo no mercado. Diante disso, esta cartilha tem como objetivo discutir e explicar de forma explícita a importância da **manutenção** e **operação dos sistemas fotovoltaicos**.

MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO

O Que é?

Para uma operação eficiente e minimização dos problemas nos Sistemas Fotovoltaicos (SFVs):

- Inspeções periódicas
- Plano de operação e manutenção
- Seguir diretrizes dos fabricantes
- Aplicar normas de segurança e de uso dos equipamentos

Plano de Operação e Manutenção do SFV:

- Maximiza seu desempenho
- Garante sua eficiência e confiabilidade
- Detecta precocemente possíveis falhas
- Minimiza riscos de interrupções no fornecimento de energia elétrica.

(EMAP SOLAR, 2020).

MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO

O Que é?

Conforme Mühleisen et al. (2019), o plano de operação e manutenção deve incluir atividades como inspeções visuais, testes de desempenho dos módulos fotovoltaicos, verificação dos sistemas de monitoramento, análise do estado das baterias, limpeza dos painéis solares, verificação e aperto dos conectores elétricos, entre outros procedimentos. A frequência e a abrangência dessas atividades devem ser estabelecidas com base nas recomendações dos fabricantes, nas condições ambientais locais e nas características específicas do sistema.

Além disso, é crucial seguir as normas de segurança aplicáveis durante todas as etapas do processo de operação e manutenção do SFV. Isso inclui a utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs) adequados, o treinamento dos profissionais responsáveis pelas atividades de manutenção e a adoção de medidas para prevenir riscos elétricos, como o isolamento adequado das partes energizadas do sistema. Além de fazer parte de um processo de verificações para o início de operação de um SFCR, um ensaio termográfico, conforme a NBR 16274 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014).

MANUTENÇÃO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

A energia solar fotovoltaica está ganhando crescente reconhecimento em âmbito global como uma das principais fontes de energia renovável. Todavia, a eficácia energética e a vida útil dos sistemas fotovoltaicos estão intrinsecamente ligadas às boas práticas de manutenção e cuidado, como apontado por Mendes (2020).

Os sistemas fotovoltaicos (SFV) requerem inspeção e manutenção periódica, visando assegurar uma operação eficiente e prevenir futuros problemas, com o intuito de manter a segurança e a viabilidade dos equipamentos que compõem o sistema fotovoltaico. A manutenção inclui principalmente a limpeza regular dos módulos, tarefa que pode ser realizada pelos próprios usuários dos sistemas (CTBOTELHO, 2023).

***Fonte**: GENYX, 2023.*

A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO

Conforme Villalva (2017), a manutenção é de extrema importância para os sistemas fotovoltaicos, pois o seu principal objetivo é garantir e manter as disponibilidades dos equipamentos, e eliminar os problemas eventuais, mantendo o mesmo padrão de qualidade dos equipamentos. A falta de revisão e manutenção periódica, reduz drasticamente a vida útil do destes equipamentos.

De acordo com a Solarprime (2019), manter uma manutenção periódica no seu sistema fotovoltaico, pode garantir:

- Aumento de sua vida útil;
- Eficiência nos painéis;
- Redução de quedas de energia na geração;
- Redução de custos.

Para tal, recomenda-se elaborar um plano de manutenção, baseado nas recomendações feitas pelos fabricantes dos equipamentos utilizados e nas normas pertinentes à segurança e à utilização dos equipamentos envolvidos na instalação.

***Fonte**: SOLARPRIME, 2019.*

TIPOS DE MANUTENÇÃO

Supervisão na Instalação

É muito importante que tenha uma supervisão nos painéis; esta supervisão tem como objetivo analisar os parâmetros de funcionamento da instalação fotovoltaica de uma forma periódica, que pode ser realizada pelo próprio cliente (PINHO; GALDINO, 2014).

***Fonte**: CASAECO-SUSTENTÁVEL, 2020.*

TIPOS DE MANUTENÇÃO

Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva define um conjunto de ações de atividades necessárias para impedir que ocorram avarias nos equipamentos, evitando falhas na condução do SFV, garantindo um bom funcionamento dos equipamentos e a vida útil dos componentes (ALDO, 2020). De forma resumida, a manutenção preventiva consiste em uma boa limpeza periódica dos painéis solares.

***Fonte**: SOLARZ, 2022.*

TIPOS DE MANUTENÇÃO

Manutenção Preventiva

"Recomenda-se fazer inspeções periódicas nos SFVs, já que desta forma pequenos problemas podem ser identificados e corrigidos, de modo a não afetar a operação do sistema. A inspeção periódica deve ser iniciada logo após a instalação do sistema, quando ele, supostamente, está operando satisfatoriamente." (PINHO;GALDINO,2014, p. 408). Manutenção preventiva tem como principal objetivo prevenir a ocorrência de avarias, evitando a manutenção corretiva.

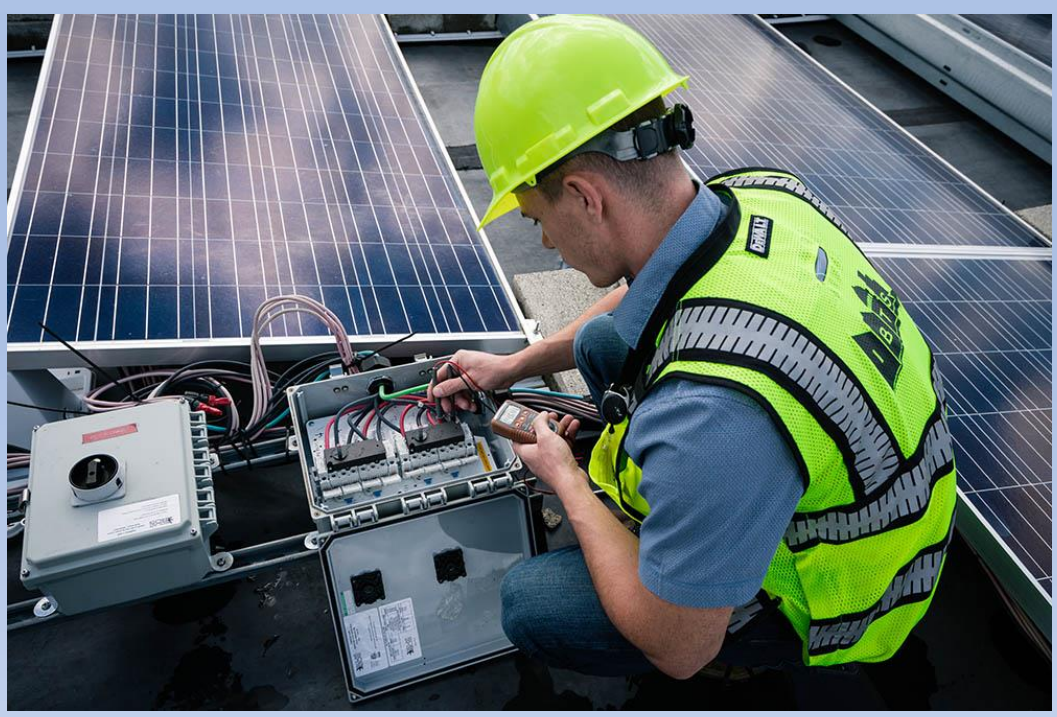
Conforme destacado por Tristão et al. (2021), a adoção de medidas de manutenção preventiva desempenha um papel essencial na minimização das perdas de energia em sistemas fotovoltaicos, ao mesmo tempo em que assegura a segurança e a extensão da vida útil dos componentes que compõem o sistema.

TIPOS DE MANUTENÇÃO

Manutenção Preditiva

Segundo Viana (2006), a manutenção preditiva envolve a monitorização contínua, em tempo real, das partes internas de um equipamento por meio de sensores ou dispositivos similares. É possível rastrear parâmetros como nível de ruído, vibração e temperatura das peças internas. Qualquer desvio desses valores em relação às especificações do fabricante pode indicar uma redução na eficiência ou um funcionamento inadequado do equipamento, sinalizando a necessidade de intervenção ou substituição.

Essa abordagem estende a vida útil do equipamento, programando a substituição somente no final do ciclo, priorizando a disponibilidade operacional e a redução de custos. Uma simples observação e análise nos painéis solares podem ser realizadas pelo próprio usuário, reduzindo os custos com a manutenção corretiva ao identificar possíveis danos logo no início (TRISTÃO ET AL. 2021).



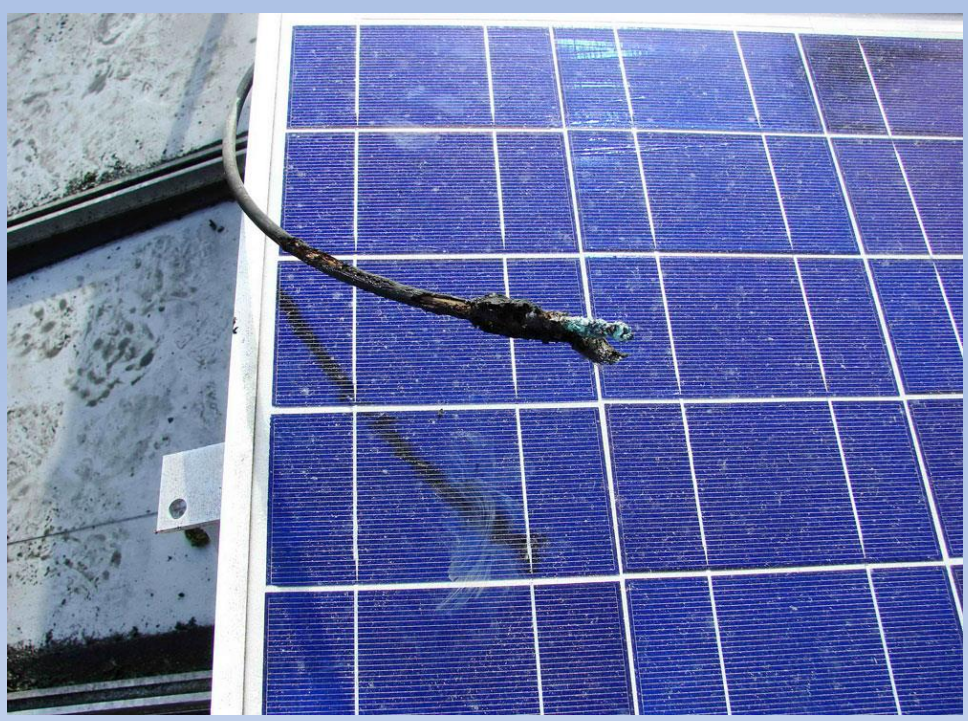
Fonte: *IBTS, 2023*

TIPOS DE MANUTENÇÃO

Manutenção Corretiva

Conforme Souza (2021), este tipo de manutenção entra em ação após a falha de um componente no sistema, ou seja, quando um equipamento deixa de cumprir sua função previamente definida e requer uma intervenção para ser restaurado ao funcionamento adequado, ou seja, a manutenção corretiva procura reparar defeitos ou falhas dos sistemas fotovoltaicos, a fim de restaurar a instalação ao serviço o mais rápido possível.

Esta abordagem pressupõe que as ações de reparo ocorrerão somente quando o equipamento atingir o fim de sua vida útil e não puder mais operar. Com base nesse pressuposto, a substituição rápida por um equipamento idêntico pode ser planejada. Conhecida por sua natureza reativa e associada ao registro de incidentes, a manutenção corretiva é, por natureza, emergencial, imprevista e historicamente mais dispendiosa, conforme Viana (2006).



Fonte: *SACHVERSTAENDIGER-TMEYER, 2023.*

TIPOS DE MANUTENÇÃO

Manutenção Corretiva

Essa metodologia de manutenção pode ser subdividida em dois enfoques distintos (SOUZA, 2021):

Manutenção corretiva planejada: Essa estratégia se baseia na operação contínua de um equipamento até que ocorra sua falha. A ideia é adotar medidas preventivas para mitigar custos significativos que podem surgir durante a paralisação do equipamento. A escolha por essa estratégia é geralmente feita quando a substituição do equipamento é simples e a inatividade acarreta perdas substanciais, conforme mencionado por Kardec (1998). Além disso, a manutenção corretiva planejada pode ser combinada com a manutenção preditiva, onde parâmetros internos do equipamento são monitorados, e a intervenção ocorre com base em sua condição atual.

Manutenção corretiva não-planejada: Esse método, como indicado por Loch (2007), envolve a correção de falhas de forma aleatória, ou seja, a manutenção atua após o ocorrido, seja em caso de falha, ou quando o desempenho do equipamento fica abaixo do esperado. Nesse contexto, não há tempo para o planejamento do serviço, o que frequentemente resulta em custos substancialmente mais elevados.

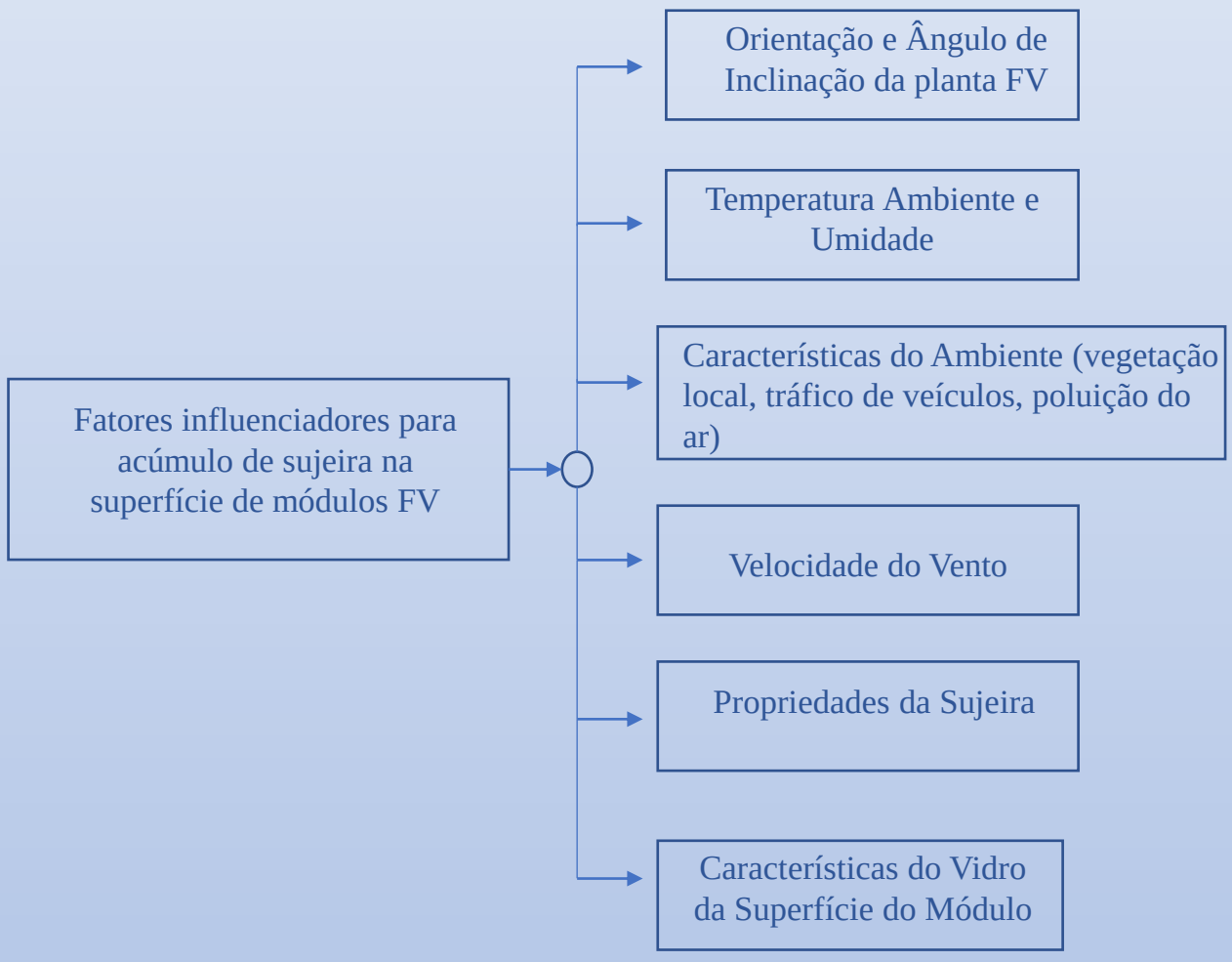
O que pode sujar os módulos solares?

Diversos fatores, como folhas, galhos, fuligem, dejetos de aves, poluição, poeira e partículas no ar, podem sujar os módulos fotovoltaicos, reduzindo sua eficiência. O acúmulo de sujeira na superfície dos módulos fotovoltaicos é um fator que prejudica a captação direta da radiação solar (JAMIL et al., 2017). Essa sujeira, frequentemente representada por poeira, é composta por partículas com menos de 500 μm de diâmetro e pode ser proveniente de diversas fontes, incluindo vento, emissões de veículos, erupções vulcânicas e poluição do ar. Além de poeira, a sujeira pode conter elementos como pólen, fungos, bactérias, vegetação, microfibras e minerais orgânicos como areia, argila e calcário erodido (DARWISH et al., 2015).

A avaliação dos impactos da sujeira é um desafio complexo, com múltiplos fatores influenciadores, incluindo condições ambientais, características dos módulos fotovoltaicos, ângulo de inclinação e orientação, entre outros (ILSE et al., 2018). A Figura 1 apresenta os principais fatores que afetam o acúmulo de sujeira na superfície dos módulos.

O que pode sujar os módulos solares?

Figura 1 - Fatores influenciadores para acúmulo de sujeira na superfície de módulos FV.



Fonte: *Adaptado de Jamil et al., 2017*

Qual a consequência do acúmulo de sujeira nos módulos solares?

A sujeira depositada sobre os módulos fotovoltaicos contribui para impedir que a luz do sol alcance as células fotovoltaicas nos seus painéis solares, reduzindo a eficiência de tais painéis, implicando na menor produção de energia, causando perdas de até 25% em alguns casos, de acordo com o Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos (NREL).

O acúmulo de sujeira ao longo do tempo pode causar manchas nas placas, facilitar o surgimento de fungos e causar corrosão nos painéis, reduzindo sua vida útil. Além disso, pode causar perdas nos sistemas fotovoltaicos (HICKEL, 2016).

Fonte: *GHAZI; SAYIGH e IP, 2014.*

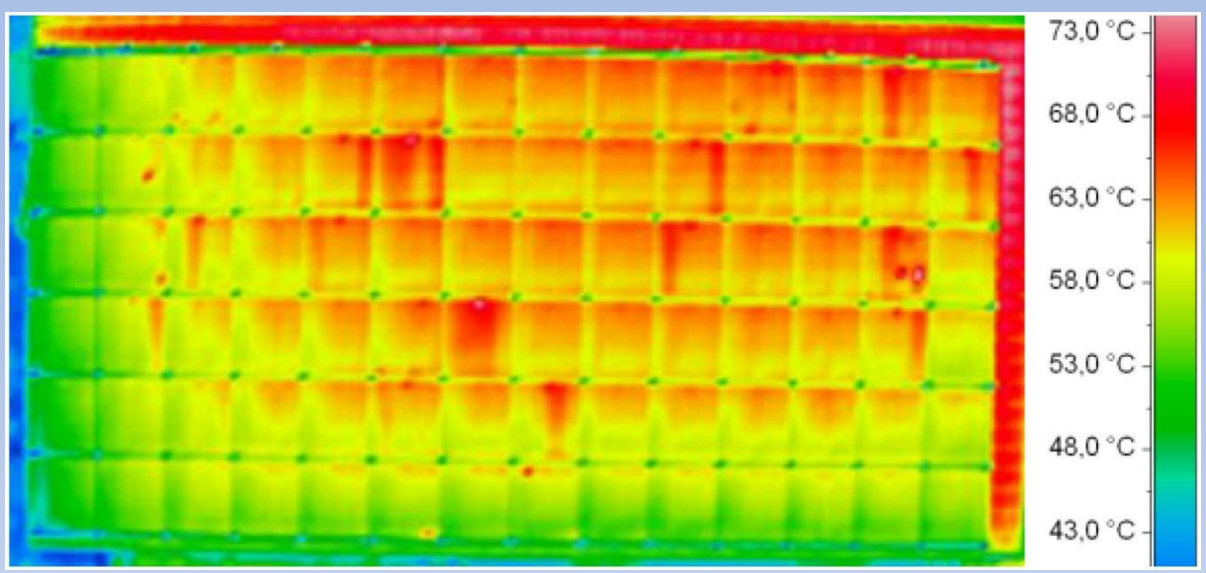
Perdas nos módulos fotovoltaicos

Conforme Sako e Silva (2019), a incompatibilidade da corrente elétrica entre as células fotovoltaicas é uma das principais fontes de perda em sistemas fotovoltaicos. Essa incompatibilidade pode ser causada por:

- Sujidades;
- Sombreamentos;
- Defeitos de fábrica;
- Células danificadas;
- Diferenças de inclinação e orientação azimutal;
- Discrepâncias na distribuição de temperatura no módulo.

A Figura 2 ilustra um termograma de um módulo fotovoltaico, onde a variação na radiação emitida pelas células indica discrepâncias na corrente elétrica entre elas. O desequilíbrio na corrente elétrica entre células e módulos fotovoltaicos é denominado "mismatch“, conforme SAKO; SILVA (2019). Esse fenômeno ocorre em sistemas fotovoltaicos quando os módulos geram potências diferentes das especificadas pelos fabricantes, mesmo sob condições padrão de teste (STC).

Figura 2 - Termograma de um módulo fotovoltaico com mismatch causado por sombreamento.

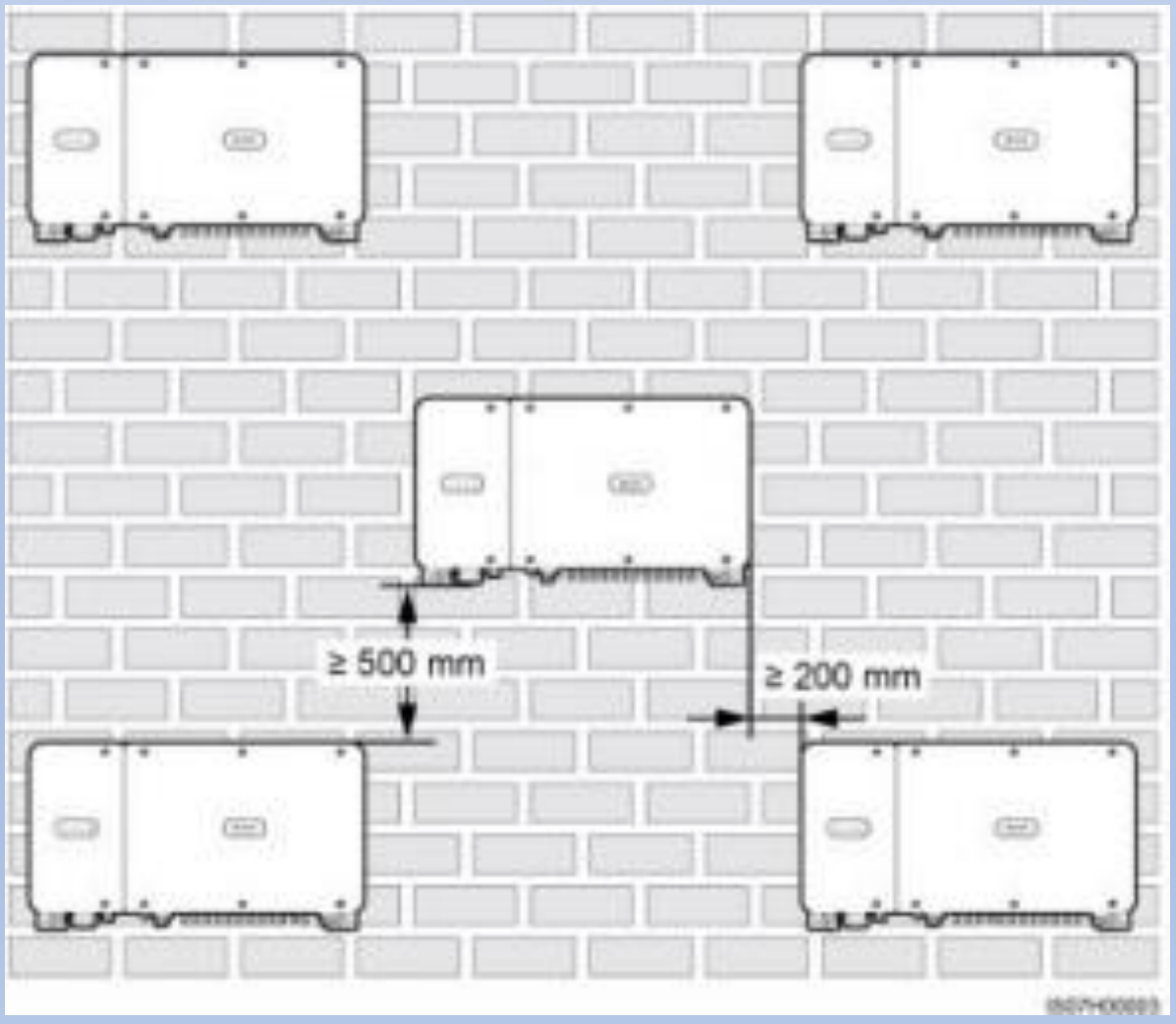


Fonte: *SOUZA, 2019.*

Perdas no Inversor Fotovoltaico

Conforme Moreira (2019), o aumento da temperatura interna do inversor fotovoltaico, conhecido como derating, resulta na redução da potência de saída do sistema. Essa temperatura é influenciada pela radiação solar, temperatura dos módulos, exposição direta ao sol e condições de instalação, como a altitude do local e a proximidade com fontes de calor. Os manuais de instalação fornecem orientações específicas, como os espaçamentos adequados entre inversores, conforme ilustrado na Figura 3 para o inversor Huawei SUN2000-33KTL.

Figura 3: Orientação quanto à instalação de inversores fotovoltaicos e seus respectivos distanciamentos



Fonte: *HUAWEI, 2020.*

Perdas no Inversor Fotovoltaico

Portanto, quanto mais elevada for a temperatura interna do inversor, menor será a potência de saída disponível. Quando a temperatura interna máxima do inversor é atingida, o dispositivo ajusta a potência de operação ou, em casos extremos, interrompe a saída de energia para preservar seus componentes internos e normalizar a temperatura (SOUZA, 2021).

Operar um inversor fotovoltaico fora das especificações do fabricante aumenta o risco de falhas nos componentes internos, devido à degradação química e à dilatação térmica. Para garantir a estabilidade operacional do inversor em diversas condições de temperatura, os fabricantes adotam materiais com alta condutividade elétrica, minimizam soldas, emendas e junções internas, e frequentemente utilizam sistemas de refrigeração, como aletas ou ventoinhas (PERIN, 2016).

Manutenção dos inversores

Segundo NREL (2016), a manutenção dos inversores deve seguir as especificações sugeridas pelo fabricante. Caso não possua essas informações, o procedimento padrão de inspeção é:

- Validar os valores das medições apresentados no display do inversor;
- Verificar o último log de erro do sistema;
- Limpar os filtros;
- Limpar o interior do gabinete do inversor;
- Testar o cooler;
- Verificar os fusíveis;
- Verificar o torque dos terminais;
- Verificar a junta de vedação;
- Confirmar se todas as etiquetas de aviso estão fixadas;
- Procurar por qualquer anormalidade aparente, como descoloração e sobreaquecimento;
- Verificar a continuidade do aterramento do sistema e do equipamento;
- Verificar o sistema anti-ilhamento;
- Verificar se o firmware instalado é o mais atual.

Fonte: *SOLARIS-STORE (2016).*

Equipamentos e tipos de manutenções necessárias

A otimização dos custos de manutenção é alcançada pela escolha estratégica adequada para cada componente da Usina Foto Voltaica (UFV). Quando o custo da inatividade é comparável ao custo de aquisição e mão de obra para reparo de um equipamento, a manutenção corretiva planejada é recomendada.

A Tabela 1 lista os componentes da UFV e as estratégias recomendadas para cada um.

Tabela 1 - Equipamentos e tipos de manutenção recomendadas

Equipamento	Estratégia
Módulos fotovoltaicos	Preditiva/Preventiva
Conectores	Preventiva
Cabos elétricos CC	Preventiva
Stringbox	Preventiva/Corretiva planejada
Estrutura de fixação	Preventiva
Inversor fotovoltaico	Preditiva/Preventiva
Quadro geral de baixa tensão	Preventiva/Corretiva planejada
Transformador de potencial	Preditiva/Preventiva
Subestação de proteção e medição	Preventiva

Fonte: *Adpatado de Souza (2021).*

Limpeza dos módulos fotovoltaicos

Conforme Rezende (2018), a limpeza regular dos módulos fotovoltaicos é essencial para o desempenho do sistema, mas deve ser feita com cuidado para evitar danos, como arranhões no vidro, danos à camada hidrofóbica e de laminações.

A manutenção adequada e a limpeza das placas solares são questões de extrema importância para proprietários atuais ou futuros de painéis fotovoltaicos. Se o seu objetivo é alcançar o máximo desempenho energético e retorno financeiro com o sistema fotovoltaico, é crucial manter uma rotina de manutenção e limpeza adequada das placas solares (PINHO; GALDINO, 2014).

Diante disso, o Portal Solar desenvolveu um manual que explora determinadas práticas relacionadas à limpeza adequada e segura das placas solares, as quais serão discutidas a seguir.

Fonte: *MIRANDA, 2023.*

É preciso limpar as placas solares?

A limpeza das placas solares é fundamental para otimizar o desempenho da tecnologia fotovoltaica, já que a sujeira reduz a passagem da luz solar e pode causar perdas de eficiência de até 25%, de acordo com o NREL. Poeira e fuligem de poluição urbana são as principais fontes de sujeira, que podem se acumular em períodos secos. Em casos de sujeira extrema, a perda de eficiência pode chegar a 30% ou mais.

Como lavar placa solar?

A lavagem das placas solares exige precauções específicas e é mais apropriada quando realizada por empresas especializadas, seguindo as orientações dos fabricantes. Essas empresas possuem equipes treinadas e equipamentos adequados para evitar danos e preservar o desempenho e a garantia das placas fotovoltaicas. É importante lembrar que a limpeza das placas solares pode envolver trabalho em altura, exigindo conformidade com normas de segurança, como a NR 35, e o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI).

Como lavar placa solar?

Os manuais do fabricante contêm informações detalhadas sobre a limpeza, incluindo a frequência, cuidados e materiais recomendados, tornando fundamental a consulta do manual ou a orientação da empresa instaladora para executar a limpeza adequadamente.

Segundo Pinho e Galdino (2014), a limpeza dos módulos deve ser feita com flanela limpa e água com baixa pressão. Deve-se atentar para que partículas abrasivas que ficam presas na flanela não risquem a superfície dos módulos. Em dias claros e com poucas nuvens, o procedimento deve ser realizado no início ou fim do dia, momentos estes em que a temperatura dos módulos é menor e o impacto da água fria utilizada não ocasione possíveis choques térmicos.

Qual o melhor horário para lavar a placa solar?

Antes de qualquer manutenção no sistema fotovoltaico, desligar o sistema usando a chave interruptora na string box. Em seguida, realizar uma inspeção visual nos módulos solares em busca de rachaduras, danos ou conexões soltas, seguindo as orientações do fabricante. Após verificar que tudo está em ordem, pode-se prosseguir com a limpeza das placas fotovoltaicas usando os materiais apropriados.

Quais produtos podem ser utilizados na limpeza de placas solares?

Geralmente, as fabricantes recomendam a limpeza das placas solares com água limpa corrente, aplicada de cima para baixo e seguindo a inclinação das placas. Evitar limpar os módulos quando estiverem muito quentes para evitar choque térmico e usar água que não seja fria. É estritamente proibido o uso de produtos corrosivos ou alcalinos, como ácido hidrofluorídrico, acetona e álcool industrial. Além disso, cuidado com os materiais e ferramentas utilizados, evitando abrasivos ou pontas rígidas, que podem causar arranhões ou remover a camada antirreflexo das placas, resultando em maior acúmulo de sujeira e perda de eficiência.

Conforme Rezende (2018), a limpeza inadequada das placas solares pode causar danos, como trincas e microfissuras nas células solares, comprometendo o funcionamento e levando à perda de garantia. É essencial usar máquinas de água pressurizada com pressão adequada, respeitando as especificações do fabricante, que variam de até 5.000 kPa (50 bar) a 690 kPa (6,89 bar). Recomenda-se o uso de escovas com mangueiras e cerdas macias, evitando pisar nas placas. Após a limpeza, secar as placas com um rodo e pano macio para evitar o acúmulo de cálcio pela evaporação da água.

De quanto em quanto tempo é necessário lavar a placa solar?

Os manuais das fabricantes JA Solar, Longi, Jinko e etc. recomendam limpar as placas solares pelo menos anualmente, mas em regiões com pouca chuva e muita poeira, a cada seis meses. Proprietários do sistema devem monitorar regularmente a condição das placas e a produção de energia. Se notarem que as placas estão muito sujas e a geração de energia caiu significativamente desde a última limpeza, uma nova limpeza é recomendada.

Recomendações sobre Segurança da manutenção

Ao trabalhar com sistemas fotovoltaicos, é imprescindível adotar precauções, tanto durante a instalação, quanto durante a manutenção. Embora os módulos fotovoltaicos e as baterias geralmente gerem baixa tensão em um sistema fotovoltaico, eles têm o potencial de fornecer níveis perigosos de corrente elétrica. Conforme estabelecido pela Norma NR-10, a instalação e a manutenção devem ser executadas por profissionais qualificados e treinados, que também devem possuir conhecimentos de primeiros socorros. Se a instalação dos módulos fotovoltaicos ocorrer em telhados, será considerado trabalho em altura, o que requer familiaridade com os procedimentos da NR-352. Além disso, os trabalhadores devem possuir conhecimentos sobre o uso e a inspeção adequada dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), incluindo ferramentas e instrumentos de medição.

De acordo com Pinho e Galdino (2014), os módulos fotovoltaicos geram eletricidade sempre que expostos à luz solar, sendo necessário evitar a passagem de luz ao cobri-los com um material opaco. Durante a manutenção, o técnico precisa tomar precauções ao lidar com partes energizadas dos circuitos ou pontos de aterramento. É essencial usar luvas e calçados isolantes durante o manuseio do sistema fotovoltaico.

Recomendações sobre Segurança da manutenção

A desenergização de um sistema fotovoltaico envolve a desconexão dos painéis fotovoltaicos e do banco de baterias, o que é necessário para realizar modificações na instalação ou substituir equipamentos.

Entretanto, no caso do banco de baterias, a desenergização não é possível, o que exige extrema cautela durante a manutenção desse equipamento. No caso dos painéis solares, a desenergização ocorre quando há obstrução total dos raios solares. Além disso, é fundamental tomar cuidado ao utilizar ferramentas metálicas durante a manutenção, utilizando apenas as ferramentas apropriadas. Em hipótese alguma, ferramentas ou objetos metálicos devem ser colocados sobre as baterias, pois isso pode resultar em curto-circuito.

Operação de um Sistema Fotovoltaico

Assim como a manutenção , a operação de um SFV geralmente é simples de ser realizada. Muitos sistemas fotovoltaicos são planejados para operar de forma automática. Os sistemas fotovoltaicos são fabricados para operar de 25 a 30 anos. A operação é uma ferramenta muito importante para assegurar o comissionamento.

Até mesmo para os sistemas fotovoltaicos que estão em operação e condicionados pela distribuidora, deve-se elaborar o manual de procedimentos de operação, seguindo as recomendações dos fabricantes (COSTA et al. 2021).

Fonte: *NEOSOLAR, 2023.*

Comissionamento

De acordo com Marques (2021), o comissionamento envolve uma série de verificações e testes experimentais, conduzidos de forma sistemática antes da operação de um equipamento. Quando os resultados do comissionamento atendem aos requisitos estabelecidos em normas, isso assegura que o início da operação de um projeto ocorrerá com riscos reduzidos para a segurança de pessoas e do meio ambiente. É um marco essencial na execução de um projeto, onde o responsável técnico confirma o pleno funcionamento do sistema e transfere a responsabilidade da operação ao proprietário ou operador (PINHO; GALDINO, 2014).

É aconselhável que profissionais qualificados, com instrumentos devidamente calibrados, conduzam as rotinas de comissionamento, fornecendo um relatório abrangente com procedimentos e medições (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014).

A ABNT NBR 16274 estabelece requisitos mínimos para documentação, testes de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, abrangendo instalações de corrente contínua e corrente alternada em baixa tensão.

Comissionamento

Essa norma se concentra em três áreas principais:

- Requisitos de documentação, detalhando as informações mínimas a serem fornecidas após a instalação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR);
- Verificação e comissionamento, indicando as inspeções e testes que devem ocorrer antes da energização do sistema;
- Avaliação de desempenho, visando analisar o comportamento dos principais componentes do sistema para estimar parâmetros anuais de desempenho e geração de energia, um aspecto relevante na operação e manutenção do sistema.

O estudo de técnicas de comissionamento aplicadas a sistemas fotovoltaicos se baseia na realização e avaliação de resultados de testes experimentais realizados em um sistema real.

Eficiência

A eficiência de um sistema fotovoltaico é um parâmetro fundamental para a operação do sistema e está diretamente relacionada à comparação entre diferentes formas de geração de energia fotovoltaica. Em um sistema fotovoltaico, a eficiência dos painéis solares está ligada a dois principais fatores. O primeiro é a eficiência da conversão de energia gerada pelas células fotovoltaicas, pois diversos fatores podem interferir nesse processo, resultando em perdas significativas de energia solar. O segundo fator é a localização dos painéis solares em relação ao sol (SOARES, 2021).

A incidência solar nos painéis solares varia de acordo com a orientação do sistema em relação ao sol, incluindo a inclinação e o nível de sombreamento sobre os painéis. Além disso, outros fatores também influenciam o desempenho dos painéis solares, como perdas nos sistemas de energia (por exemplo, baterias), perdas causadas pelo efeito da massa de ar atmosférica e perdas nos inversores de frequência. Todos esses fatores de perda devem ser analisados e minimizados, a fim de possibilitar uma maior eficiência dos painéis solares (BLASZCZAK, 2017).

***Fonte**: PETROSOLGAS, 2019*

Informações de operação e manutenção

Consoante a NBR 16274 (2014), as informações a respeito da manutenção e operação devem ser fornecidas, como especificado abaixo:

- Os procedimentos para verificar o funcionamento correto do sistema;
- Uma lista do que fazer em caso de uma falha do sistema;
- Os procedimentos de desligamento de emergência;
- Recomendações de manutenção e limpeza;
- Considerações para futuras construções relacionadas ao arranjo fotovoltaico (por exemplo, obras no telhado);
- Documentação da garantia dos módulos fotovoltaicos e inversores - incluir data de início da garantia e período de garantia.

REFERÊNCIAS

ALDO. **aldo.blog**, 2020. Disponível em: <https://www.aldo.com.br/blog/manutencao-de-sistema-de-energia-solar-como-otimizar-esse-servico/ >. Acesso em: 30 de Agosto 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16274: sistemas fotovoltaicos conectados à rede: requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho.** Rio de Janeiro, 2014.

BLASZCZAK, Vinícius. **Análise de eficiência de Painel Fotovoltaico com Sistema Tracker Seguidor Solar**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2017.

CASAECO-SUSTENTÁVEL. **Casaecosustentavel**, 2020. Projeto fotovoltaico: como planejar e instalar com assertividade. Disponível em: < https://casaecosustentavel.com.br/projeto-fotovoltaico-como-planejar-e-instalar-com-assertividade/>. Acesso em: 30 de Agosto 2023.

COSTA, A. L. C.; HIRASHIMA, S. Q. da S.; FERREIRA, R. V. **Operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**: inspeção termográfica e limpeza de módulos FV. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 201-220, out./dez. 2021.

REFERÊNCIAS

CTBOTELHO. **Glossario.ctbotelho.com**. O que é a operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos?. Disponível em: <https://glossario.ctbotelho.com.br/glossario/o-que-e-a-operacao-e-manutencao-de-sistemas-fotovoltaicos/#:~:text=A%20opera%C3%A7%C3%A3o%20e%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20de%20sistemas%20fotovoltaicos%20%C3%A9,com%20eletricidade%20e%20contribuir%20para%20a%20sustentabilidade%20ambiental>. Acesso em 13 de outubro de 2023.

DARWISH, Z. A. et al. **Effect of dust pollutant type on photovoltaic performance**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [s. l.], v. 41, p. 735-744, 2015.

GENYX. **Genys**. Perda de eficiência do módulo solar: Veja 6 motivos que podem atrapalhar o resultado da geração de energia!. Disponível em: <https://genyx.com.br/eficiencia-do-modulo-solar/>. Acesso em: 20 de Agosto 2023.

GHAZI, S.; SAYIGH, A.; IP, K. **Dust effect on flat surfaces - a review paper.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, [s. l.], v. 33, p. 742–751, 2014.

HICKEL, B. M. et al. **Análise da influência do acúmulo de sujeira sobre diferentes tecnologias de módulos fv: revisão e medições de campo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., Belo Horizonte, 2016. Anais [...] Belo Horizonte, 2016.

REFERÊNCIAS

HUAWEI. **Suport.huawei.com**, 2020. Manual do usuário Huawei SUN2000 2020. Disponível em: <https://support.huawei.com/enterprise/br/doc/EDOC1100024501>. Acesso em: 13 de outubro de 2023.

IBTS. **Ibts.org.** Solar PV Quality Management (QM). Disponível em: <https://www.ibts.org/what-we-do/energy-and-sustainability/solar-pv-quality-management/ >. Acesso em: 30 de Agosto 2023.

ILSE, Klemens K. et al. **Fundamentals of soiling processes on photovoltaic modules**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [s. l.], v. 98, n. january, p. 239-254, 2018.

JAMIL, W. J. et al. **Performance degradation of photovoltaic power system: Review on mitigation methods.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, [s. l.], v. 67, p. 876-891, 2017.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção (Função Estratégica)**, 1.ed, RJ, Quality Mark, 1998.

LOCH, C. A. **Estudo da Gestão da Manutenção em uma Empresa do segmento Logístico**. Dissertação (Mestrado), Universidade do Estado de Santa Catarina, 2007.

MENDES, B. E. S. **Projeto e implantação de sistema de arrefecimento para melhoria da eficiência energética de um sistema de geração fotovoltaica com supervisão online**. 2020. Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2020.

REFERÊNCIAS

MIRANDA, Emerson Luiz de. **Emersol.com**. Painéis Solares Sujos? Disponível em: <https://www.emersol.com.br/paineis-solares-sujos>. Acesso em: 13 de novembro de 2023.

MÜHLEISEN, W. et al. **Scientific and economic comparison of outdoor characterisation methods for photovoltaic power plants**. Renewable Energy, v. 134, p. 321–329, 2019.

NEOSOLAR. **Neosolar.com.br**. Normas de Instalação e Comissionamento em Energia Solar (Curso) Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/normas-de-instalacao-comissionamento-de-plantas-fotovoltaicas.html>. Acesso em: 30 de Agosto 2023.

NREL; Sandia; **Sunspec Alliance SuNLaMP PV O&M Working Group. Best Practices in Photovoltaic System Operations and Maintenance 2nd Edition**. Denver, Colorado. 2016. 116p.

PERIN, A. L. **Análise da influência de diferentes estratégias de arrefecimento no desempenho e durabilidade de inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2016.

PETROSOLGAS. **Petrosolgas.com.br**, 2019. Copel vai implantar sistema de energia solar fotovoltaica com potência de 5,36 MWp. Disponível em: < https://petrosolgas.com.br/copel-vai-implantar-sistema-de-energia-solar-fotovoltaica-com-potencia-de-536-mwp/amp/>. Acesso em: 30 de Agosto 2023.

REFERÊNCIAS

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, março de 2014.

REZENDE, V. G. S. de. **Análise das perdas de produtividade em geradores fotovoltaicos por efeito de sujidade**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, Santa Catarina, Brasil, 2018.

SOARES, Ana Beatriz Pinheiro. **Eficiência energética em sistemas fotovoltaicos**. 2021. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Engenharia Elétrica – Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

SOUZA, J. P. **ECORI ENERGIA SOLAR**, 2019. Módulos Fotovoltaicos - Perdas por Mismatch em Sistemas Fotovoltaicos. Disponível em: <https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/modulos-fotovoltaicos---perdas-por-mismatch-em-sistemas-fotovoltaicos>. Acesso em: 28 de janeiro de 2019.

SACHVERSTAENDIGER-TMEYER. **sachverstaendiger-tmeyer.de**, 2023. Disponível em: <https://www.sachverstaendiger-tmeyer.de/so-nicht.html>. Acesso em: 13 de novembro de 2023.

SOLAR PRIME. **Solarprime.com.br**, 2019. Como oferecer manutenção de painéis solares para os clientes? Disponível em: < https://solarprime.com.br/manutencao-de-paineis-solares-para-clientes/ >. Acesso em: 30 de Agosto 2023.

REFERÊNCIAS

SOLARZ. **Solarz.com.br**, 2022. Manutenção de sistemas fotovoltaicos: o que você precisa saber. Disponível em: <https://www.solarz.com.br/manutencao-de-sistemas-fotovoltaicos-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 30 de Agosto 2023.

SOUZA, Thiago Miranda de. **Estudo de técnicas de manutenção preventiva em instalações fotovoltaicas.** 2021. 65 f., il. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Energia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

SOLAR. Energia Solar - Áreas de Negócio - O&M. Disponível em: <https://emapsolar.com.br/areade-negocio/om/>. Acesso em: 01 out. 2020.

VIANA, H. R. G. **Planejamento e Controle da Manutenção**. Dissertação (Mestrado) - , Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2006.

VILLALVA, Marcelo Gardela; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica**: conceitos e aplicações sistemas isolados e conectados à rede. 2ª Edição Revisada e Atualizada, Editora Saraiva, 2017.