

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA  
SOUZA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTONIO SEABRA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA QUALIDADE**

**DENISE ALVES AVELINO**

**CICLO PDCA APLICADO À GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM  
INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS**

**LINS/SP  
1º SEMESTRE/2023**

# **CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTONIO SEABRA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA QUALIDADE**

**DENISE ALVES AVELINO**

## **CICLO PDCA APLICADO À GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de Lins para a obtenção do título de Tecnóloga em Gestão da Qualidade.

Orientador: Prof. Dr. João Luís Cardoso de Moraes

**LINS/SP  
1º SEMESTRE/2023**

Avelino, Denise Alves

A948c      Ciclo PDCA aplicada à gestão da manutenção em instalações fotovoltaicas / Denise Alves Avelino. — Lins, 2023.

19f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão da Qualidade) — Faculdade de Tecnologia de Lins Professor Antonio Seabra: Lins, 2023.

Orientador(a): Dr. João Luís Cardoso de Moraes

1. Ferramenta da Qualidade. 2. Plano de Manutenção. 3. Eficiência Energética. I. Moraes, João Luís Cardoso de. II. Faculdade de Tecnologia de Lins Professor Antonio Seabra. III. Título.

CDD 658.562

**DENISE ALVES AVELINO**

**CICLO PDCA APLICADO À GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES  
FOTOVOLTAICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de Lins como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnóloga em Gestão da Qualidade sob orientação do Prof. Dr. João Luís Cardoso de Moraes.

Data de aprovação: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_

---

**Prof. Dr. João Luís Cardoso de Moraes**

---

**Profa. Dra. Adriana de Bortoli**

---

**Profa. Dra. Ana Carolina Cortez Noronha**

## SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	5
1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 FERRAMENTAS DA QUALIDADE.....	6
2.1.1 Ciclo PDCA.....	7
2.1.2 Ferramenta 5W2H.....	7
2.1.3 Diagrama de Ishikawa.....	8
2.1.4 <i>Brainstorming</i> .....	8
2.2 Planos de Manutenção.....	9
2.3 Sistemas de Energia Fotovoltaica.....	9
3 METODOLOGIA.....	10
4 ESTUDO DE CASO.....	11
4.1 Aplicar o Ciclo PDCA.....	11
4.1.1 Planejar.....	11
4.1.2 Identificar o Problema.....	11
4.1.3 Observar o Processo.....	11
4.1.4 Analisar o Processo.....	12
4.1.5 Estabelecer a Manutenção Correta do Sistema Fotovoltaica.....	13
4.1.6 Aplicar o Plano de Ação.....	14
4.2 Planos de Ação.....	14
4.3 Executar.....	16
4.4 Verificar.....	16
4.5 Agir.....	16
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17

# CICLO PDCA APLICADO À GESTÃO DA MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES FOTOVOLTAICAS

Denise Alves Avelino<sup>1</sup>  
Prof. Dr. João Luís Cardoso de Moraes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Acadêmica do Curso de Tecnologia em Gestão da Qualidade da Faculdade de Tecnologia de Lins Prof. Antônio Seabra – Fatec, Lins – SP, Brasil

<sup>2</sup>Docente do Curso de Tecnologia em Gestão da Qualidade da Faculdade de Tecnologia De Lins Prof. Antônio Seabra – Fatec, Lins – SP, Brasil

## RESUMO

O controle de qualidade é agora visto como um fator estratégico para melhorar a competitividade e a produtividade tanto na ciência quanto nos negócios. Como a qualidade desempenha um papel vital no mundo de hoje, o objetivo deste trabalho é demonstrar a aplicabilidade da ferramenta PDCA (*Plan, Do, Check, Act*) na manutenção de sistemas de energia fotovoltaica com o propósito de garantir qualidade e eficiência energética por toda vida útil do material com base nas diretrizes da folha de dados do produto. A pesquisa atual se concentra na manutenção preventiva, corretiva e preditiva de geradores de energia solar fotovoltaica para garantir a máxima eficiência energética do sistema ao longo de sua vida útil estimada de 25 a 30 anos. Neste trabalho foram estabelecidos planos de ação e boas práticas na manutenção dos equipamentos de energia fotovoltaica, utilizando a Ciclo PDCA visando à solução de problemas e analisando as oportunidades de melhoria contínua identificadas no processo.

**Palavras-chave:** Ferramentas da Qualidade. Plano de Manutenção. Eficiência Energética.

## ABSTRACT

Quality control is now seen as a strategic factor to improve competitiveness and productivity in both science and business. As quality plays a vital role in today's world, the objective of this paper is to demonstrate the applicability of the PDCA tool in the maintenance of photovoltaic power systems for the purpose of ensuring quality and energy efficiency throughout the material lifetime based on product data sheet directives. The current research focuses on preventive, corrective and predictive maintenance of photovoltaic solar energy generators to ensure maximum energy efficiency of the system throughout its estimated lifetime of 25 to 30 years. In this work, action plans and best practices in the maintenance of photovoltaic energy equipment were established, using the PDCA Cycle aiming at problem solving and analyzing the opportunities for continuous improvement identified in the process.

**Keywords:** Quality Tools. Maintenance Plan. Energy Efficiency.

# 1 INTRODUÇÃO

A otimização de processos é um importante passo para que as empresas tenham melhor desempenho e sejam mais competitivas. Isso porque o mercado preza pela qualidade dos serviços oferecidos, desde a cadeia produtiva até o produto, de modo a satisfazer os seus clientes (SILVA *et al*, 2006). As ferramentas da qualidade são um conjunto de métodos usados para definir, medir, analisar e resolver problemas que afetam o desempenho organizacional.

Existem diversas ferramentas que permitem a melhoria da qualidade nas organizações. O ciclo PDCA, por exemplo, possui como princípio a clareza e a agilidade dos processos de gestão, visando melhoria e o controle contínuo de processos e produtos ao detectar problemas, suas causas e propor soluções com ações e metas planejadas (ALVES, 2015).

Com a indústria em rápido processo de desenvolvimento, e a necessidade de se manter em pleno funcionamento todas as máquinas e processos, surgem novos seguimentos de gestão, como a de manutenção, tão necessária quanto a gestão de produção. Foram criados métodos de gestão da manutenção para garantir total disponibilidade das máquinas com seu máximo poder produtivo, evitando parada inesperada. A gestão da manutenção dividiu-se em três partes para aperfeiçoar e evitar gastos desnecessários, como: a manutenção preventiva, corretiva e preditiva.

Atualmente o setor de geração de energia renovável ganhou um destaque significativo e com grandes investimentos, e em especial a geração de energia fotovoltaica.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar a utilização de ferramentas da qualidade para auxiliar na criação de um plano de ação e boas práticas na manutenção dos equipamentos de energia fotovoltaica a ser implementado por empresas prestadoras de serviço no segmento solar.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Ferramentas da qualidade, segundo (FRANCO, 2017), são técnicas que se podem utilizar para definir, mensurar, analisar e propor soluções para problemas, eventualmente encontrados e interferem no bom desempenho dos processos de trabalho.

As ferramentas do controle de qualidade mais utilizadas são: Fluxograma, Diagrama Ishikawa, Folha de Verificação, Diagrama de Pareto, Histograma, Diagrama de Dispersão, 5W2H, Brainstorming, Cartas de Controle e o Ciclo PDCA (ALVES, 2015). Estas ferramentas fazem parte de um grupo de métodos estatísticos elementares relacionados ao desenvolvimento, à implementação, ao monitoramento e a melhoria dos preceitos da qualidade nas organizações. Os programas e ferramentas da qualidade representam importantes e necessários instrumentos para que os sistemas de gestão da qualidade atinjam níveis máximos de eficiência e eficácia. A seguir são apresentadas as ferramentas da qualidade utilizadas neste trabalho.

### 2.1.1 Ciclo PDCA

O método mais difundido nas práticas e programas de melhoria contínua é o Ciclo PDCA. De acordo com Rodrigues (2017), trata-se de uma ferramenta de solução de problemas e melhoria contínua, em que as causas do problema são analisadas sob a perspectiva dos fatos, e a relação da causa e efeito é investigada com detalhe, resultando em contramedidas planejadas para o problema.

Conforme Deming (1990), este método de controle é composto por quatro etapas:

- *Plan* (Planejamento): Estabelecer claramente objetivos e métodos para alcançá-los; metas de manutenção e metas relacionadas ao equipamento são claramente definidas. Isso é feito criando um plano de manutenção por um período. Nessa etapa, é o momento de estabelecer padrões de inspeção, troca e reforma. Procedimentos de diagnóstico de falhas, para avaliar os recursos como peças, mão de obra e criar o orçamento.

- *Do* (Execução): Informar e treinar as partes interessadas sobre o método a ser utilizado e colocar o plano em ação, de forma que todos os envolvidos entendam e concordem com o que se está propondo ou foi decidido. Ocorre a implementação do plano de manutenção, com as inspeções, trocas e reformas das máquinas. Quando a maioria das falhas é detectada e a equipe de manutenção pode examinar as causas fundamentais e realizar as ações corretivas para repará-las.

- *Check* (Verificação): Observar a situação e certificar-se de que os resultados do trabalho realizado o aproximem de seus objetivos. Consiste em avaliar a eficácia da gestão da manutenção por meio de elementos de controle. Durante e após a execução, deve-se comparar os dados obtidos com a meta planejada, para saber se está indo em direção certa ou se a meta foi atingida. Nessa etapa que se reflete sobre as decisões tomadas e verifica-se o plano inicial realmente funcionou. Com o feedback da equipe será possível identificar partes problemáticas do processo e eliminá-las. Se caso ocorrer algo de maneira inesperada, encontra-se a causa raiz para ajustar os próximos passos.

- *Act* (Ação): tem como premissa agir sobre os resultados alcançados no processo. Se os resultados não estiverem se movendo em direção aos seus objetivos, deve-se transformar em uma nova maneira de fazer as coisas. Na etapa de ação, acontece a revisão dos padrões depois que todas as inspeções, trocas e reformas foram registradas. São deveres da equipe de manutenção revisar ações corretivas de falhas realizadas, e criar um arquivo de todos esses registros e novas informações sobre os equipamentos. Essa abordagem repetitiva ajuda a equipe encontrar soluções, além de melhorá-las por meio de um ciclo que visa reduzir o desperdício.

Para atingir metas, é necessário implementar sistematicamente o PDCA em quatro fases, para obter qualidade, durabilidade e estabilidade (MARTINS, 2019).

### 2.1.2 Ferramenta 5W2H

O 5W2H auxilia no mapeamento e padronização de processos e elaboração do plano de ação. Quando bem implementado, a definição dá lugar à

produtividade, e este resultado traduz-se numa rentabilidade de tempo e recursos. Os intervenientes de um projeto específico têm o conhecimento exato de o que fazer, quando, onde, de que forma, por que.

Consiste em uma técnica de estruturação de ações, sendo feitas algumas perguntas ao que deve ser feito. O 5W2H vem do inglês e significa *What* (O que), *Why* (Por que), *Who* (Quem), *When* (Quando) e *Where* (Onde), enquanto o 2H significa *How* (Como) e *How much* (Quanto custa). Aplicando essa técnica na elaboração de um plano de ação, a chance de sucesso na fase de execução aumenta consideravelmente, pois a ação fica mais clara (MASSARONI, 2015).

Conforme se fez em relação ao Ciclo PDCA, cabe agora verificar a aplicabilidade da metodologia 5W2H para a gestão de manutenção no sistema fotovoltaico, a partir do estudo de projeto que já empregou a metodologia com o fim de se obter maiores níveis de eficiência energética.

### 2.1.3 Diagrama de Ishikawa

Para este diagrama, todos os problemas possuem causas específicas que devem ser verificadas uma a uma para a comprovação do que efetivamente causa o problema, facilitando a eliminação, ou seja, “eliminando as causas, elimina-se o problema”.

A análise de causas dá-se através de alguns passos: primeiramente, deve se definir um problema (efeito) a ser analisado; seguido por um *brainstorming* (tempestade de ideias levantamento das causas que podem gerar os problemas); as causas devem ser separadas em categorias principais de forma coerente ao problema.

O Diagrama de *Ishikawa* é efetivo na busca das raízes do problema (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009). Com ele, os processos são simplificados e as causas dos problemas são divididas em categorias de causas: máquinas, meio ambiente, medidas, materiais, métodos e mão de obra.

### 2.1.4 *Brainstorming*

*Brainstorming* é uma ferramenta da qualidade conhecida como técnicas de geração de ideias. Foi originalmente desenvolvida por Osborne, em 1938. Em inglês, significa “tempestade cerebral”. O *Brainstorming* é uma técnica de ideias em grupo que envolve a contribuição espontânea de todos os participantes. Soluções criativas e inovadoras para resoluções de problemas, quebrando os paradigmas estabelecidos, são alcançadas com a utilização de *Brainstorming*.

O *Brainstorming* é usado para gerar inúmeras ideias em curto prazo de tempo. Pode ser aplicado em qualquer etapa do processo de solução de problemas, sendo importante para a identificação e na seleção das questões a serem tratadas e na formação de possíveis soluções.

É uma ferramenta muito útil quando se deseja a participação de toda equipe. A saber:

- Para levantar problemas ou “gargalos” nos processos.
- Para desenvolver novos produtos ou serviços.
- Para incentivar as discussões criativas para planejamento de melhorias.

Por outro lado, o *brainstorming* é uma ferramenta de geração de ideias, usada de maneira disciplinada a partir de uma discussão em grupo (GODOY, 2001).

## 2.2 Planos de Manutenção

O conjunto de atividades de manutenção é executado para evitar ou identificar quando o subsistema/equipamento irá apresentar defeito ou falha durante seu ciclo de vida. Segundo (VIANA, 2006), alguns fatores devem ser considerados para a definição da melhor estratégia de manutenção, são eles:

- Recomendações do fabricante: informações sobre ajustes, inspeção periódica, periodicidade de manutenção, procedimentos para correção de falhas e reparos, etc.
- Segurança do trabalho e meio ambiente: observações de exigências legais e normas a fim de obter a integração perfeita entre homem/máquina/meio ambiente.
- Características do equipamento (falha e reparo): observar o tempo médio entre falhas, a vida útil mínima, o tempo médio de reparo, etc.
- Fator econômico: custos de manutenção com materiais, recursos humanos, interferência em outros ciclos produtivos e perdas no processo.

De maneira geral, existem três categorias de manutenção que também aplicado na manutenção de painéis solares e outros componentes do sistema fotovoltaico têm-se excelentes resultados; a manutenção preditiva, preventiva e corretiva (SILVEIRA, 2016).

- Preditiva, é a manutenção que monitora possíveis degradações de desempenho e inspecionam visualmente os equipamentos do sistema como degradações, temperatura e baixa geração.

- Preventiva, é a manutenção que identifica os danos e reparos programados com antecedência, prolongando a vida útil dos equipamentos como: limpeza dos painéis fotovoltaicos, e inspeção completa de todos os componentes elétricos.

- Corretiva, é a manutenção que intervém na produtividade do sistema de maneira a corrigir o problema. Essa categoria de atuação normalmente tem-se por falta de programação de qualidade que envolva com eficácia a manutenção preditiva e preventiva.

Os itens citados acima melhoram a disponibilidade e facilidade de manutenção do sistema (SILVEIRA, 2016).

## 2.3 Sistemas de Energia Fotovoltaica

Um sistema fotovoltaico de geração de energia converte a energia da radiação solar em energia elétrica. Seu principal componente são os módulos fotovoltaicos que são compostos por inúmeras células fotovoltaicas que são responsáveis em fazer a conversão da radiação solar em energia elétrica. Podem ser em grandes quantidades e conectados em série e em paralelo (ZILLES et al. 2012).

Além dos módulos fotovoltaicos, existem outros componentes que integram o sistema, permitindo seu pleno funcionamento. O inversor é um equipamento fundamental visto que a energia elétrica produzida pelos módulos é em corrente

contínua (CC) e, caso seja necessário, para a conversão em corrente alternada (CA) é utilizado tal dispositivo.

Os sistemas fotovoltaicos são comumente classificados em duas categorias principais: conectados à rede (*grid-tie*) ou isolados (*off grid*). Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são aqueles no qual a energia produzida é transferida diretamente na rede e devem atender os padrões normativos da concessionária local que, no Brasil, é regulamentado pela Resolução 13 Normativa ANEEL nº 482/2012. Nos sistemas isolados não há conexão com a rede elétrica da concessionária e, portanto, necessita de algum dispositivo de armazenamento para transferir energia quando não houver irradiação solar. Atualmente, as baterias se apresentam como método de armazenamento de energia comumente utilizado ao redor do mundo (ANDRADE, 2017).

O sistema de energia solar consiste na instalação de placas com células fotovoltaicas normalmente feitas em telhados e fachadas, de residências, prédios. Busca-se a melhor posição solar para captar radiação proveniente do sol, transformando em energia elétrica para ser usado nos locais instalados. Todo excedente é injetado na rede convencional de energia, gerando créditos de energia (GUIMARÃES, 2016). “O grande aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio” (GUIMARÃES, 2016, p. 33).

A energia fotovoltaica é considerada uma fonte de energia alternativa renovável, limpa e sustentável.

### **3 METODOLOGIA**

No delineamento deste trabalho, adota-se o tipo de pesquisa descritiva, tendo as informações obtidas por meio de livros, artigos, periódicos especializados, revistas e sites da internet. De acordo com Gil (2002), uma pesquisa pode ser classificada em básica ou aplicada.

A técnica utilizada foi estudo de caso, que de acordo com Gil (1999), apresenta como objetivo a análise profunda e exaustiva de uma, ou poucas questões, visando permitir o seu conhecimento amplo e detalhado. O estudo foi realizado em uma empresa de energia solar localizada em Lins, no interior do Estado de São Paulo, fundada em 2015 no regime de micro empresa Individual, com o propósito de desenvolver Soluções, Serviços Elétricos e Eletrônicos Industriais. Com o passar do tempo e com o mercado de energia solar em expansão, buscou aperfeiçoamento no seguimento de energia solar e oferecendo também vendas de equipamentos de geração de energia fotovoltaicas, projetos e integração de sistemas de Energia Solar Fotovoltaico homologado conectado à rede elétrica. A empresa atua nos três segmentos do mercado: residencial, comercial e industrial.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia para criação de um plano de ação e boas práticas na manutenção dos equipamentos de energia fotovoltaica na empresa de prestação de serviço no setor desse segmento. Utilizando o ciclo PDCA visando à solução de problemas e analisando as oportunidades de melhoria contínua identificadas no processo de atividades.

## 4 ESTUDO DE CASO

Atualmente o setor de geração de energia renovável ganhou um destaque significativo e com grandes investimentos, e em especial a geração de energia fotovoltaica.

Para a elaboração do estudo de caso foi realizada uma reunião na empresa de prestação de serviço no setor de sistema fotovoltaico, aplicando a ferramenta da qualidade *brainstorming* para obter informações detalhadas sobre todos os processos realizados dentro da organização, visando analisar as causas e efeitos dos problemas levantados e apresentados pelos participantes.

O estudo de caso desse trabalho está relacionado com o desenvolvimento de um plano de ação e boas práticas para garantia da melhoria na manutenção de instalação de equipamentos utilizados na geração de energia fotovoltaica, buscando aperfeiçoar e garantir ao máximo sua vida útil, visto que, a intempérie é de fato uma variável do tempo (clima). O Ciclo PDCA foi aplicado para sugerir formas de solucionar os problemas relacionados a garantia da qualidade e vida útil dos equipamentos, de maneira que a utilização das ferramentas seja contínua no processo e ajude a melhorar o desempenho de suas atividades.

### 4.1 Aplicar o Ciclo PDCA

Com aplicação do ciclo PDCA no estudo de caso da empresa, foi possível identificar e analisar as informações obtidas para melhorias no processo de manutenção com mais qualidade oferecido ao cliente final, conforme descrição a seguir.

#### 4.1.1 Planejar

Na primeira etapa foram definidos os objetivos e métodos para atingir a melhoria buscada, para manutenção em instalações fotovoltaicas, que serão as diretrizes a serem seguidas e controladas durante o serviço. A definição de um objetivo não realizável devido a recursos ou mesmo falta de treinamento pode acarretar a perda da qualidade do material. Um bom planejamento determinará a eficiência e eficácia do ciclo de vida útil do sistema fotovoltaico.

#### 4.1.2 Identificar o Problema

Com aplicação do Diagrama de Ishikawa no estudo de caso da empresa foi possível definir as causas fundamentais do problema e criadas planos de ações efetivas para evitar a parada inesperada do sistema fotovoltaica.

Seguindo essa diretriz, e mediante observação, pode-se identificar como problema na manutenção em instalações fotovoltaicas a falta de programação semestral ou anual para fazer a manutenção adequada de limpeza nos módulos solares para garantir a eficiência do sistema e a economia investida do cliente.

#### 4.1.3 Observar o Processo

Nesta etapa foi feita a observação do problema para definir suas características.

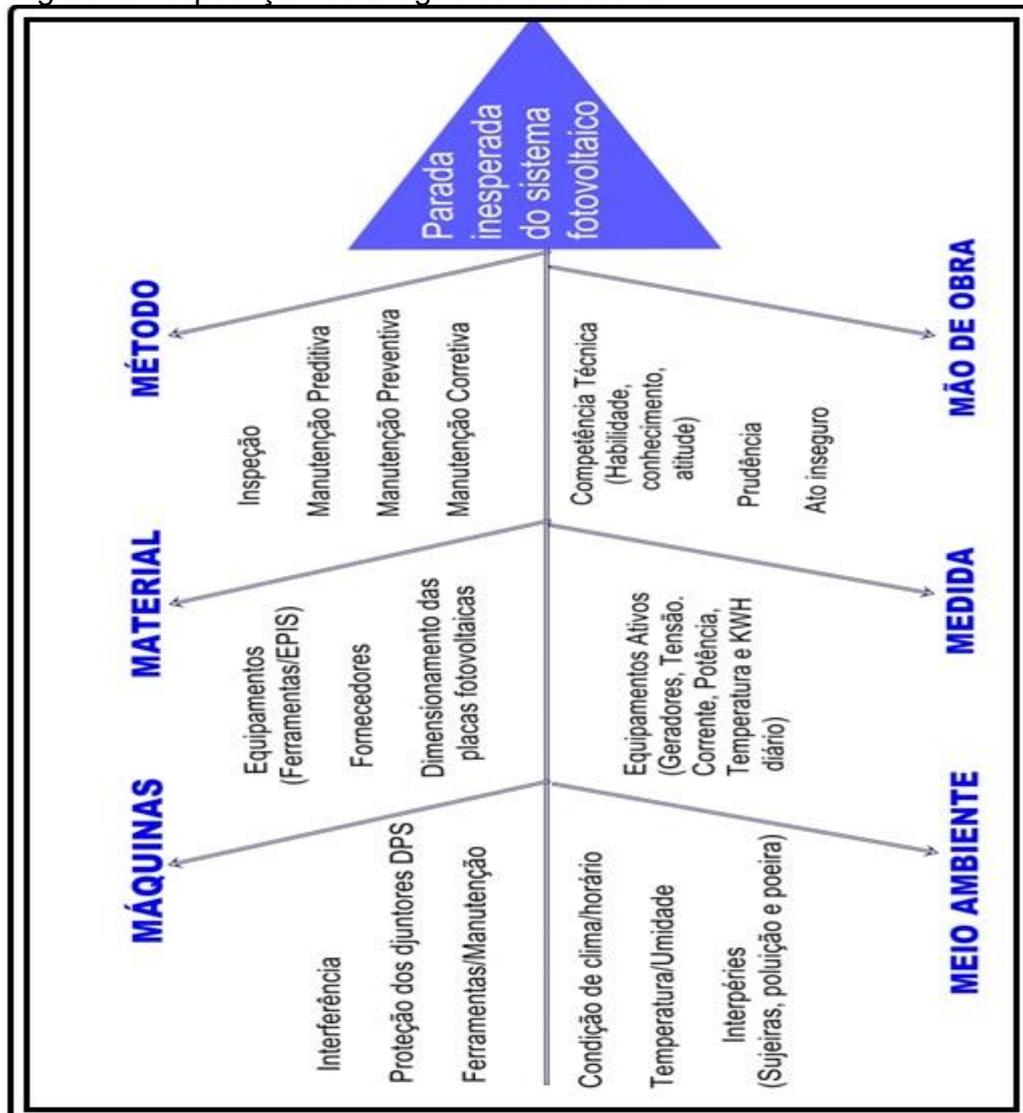
Como característica principal da falta de programação de manutenção do sistema fotovoltaico definiu-se a falta de controle e monitoramento do processo. Sem a programação das manutenções adequadas fica impossível garantir a eficiência do sistema fotovoltaico e o cliente fica prejudicado economicamente.

#### 4.1.4 Analisar o Processo

A análise do processo consiste em definir as causas fundamentais do problema definido. Por meio de informações obtidas sobre todos os processos realizados na aplicação do *Brainstorming*, foram obtidas informações suficientes e após serem analisadas foi elaborado o Diagrama de Ishikawa para encontrar possíveis erros ou pontos de melhorias nos processos da manutenção de instalação fotovoltaicos.

A figura 4.1 apresenta o Diagrama de Ishikawa, que é uma ferramenta efetiva na busca das raízes do problema (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009).

Figura 4.1: Aplicação do Diagrama de Ishikawa



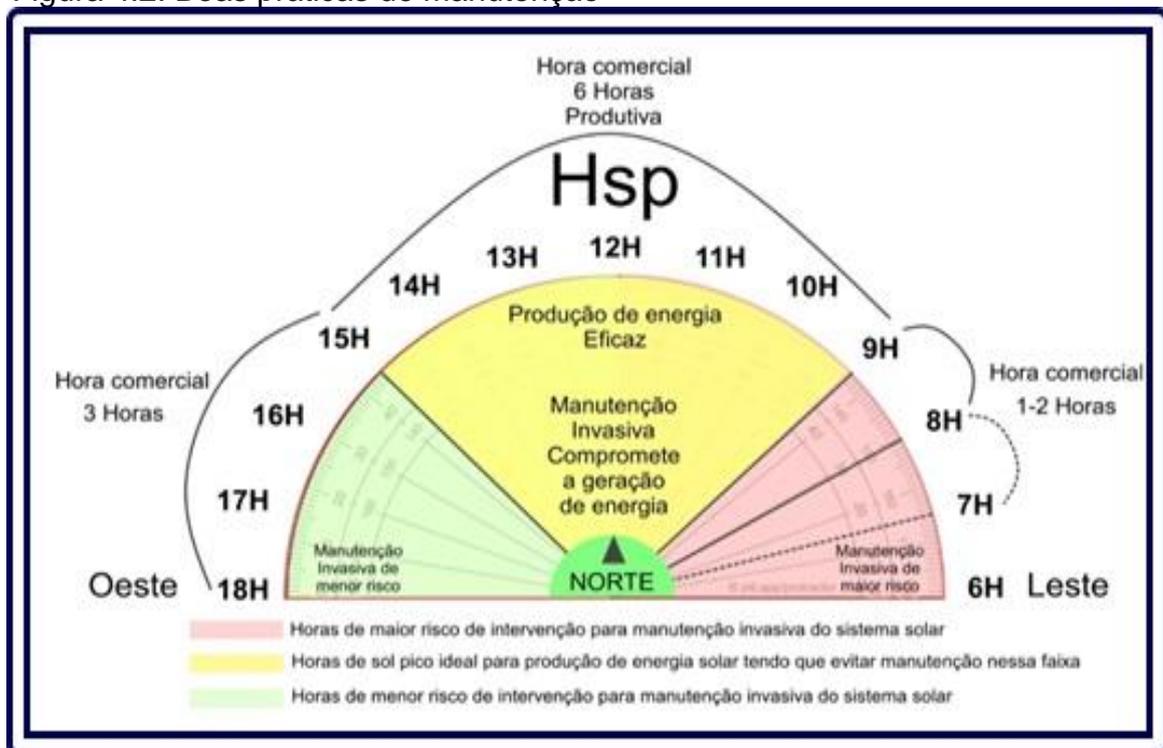
Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

#### 4.1.5 Estabelecer a Manutenção Correta do Sistema Fotovoltaico

Uma instalação bem dimensionada garante que o sistema fotovoltaico tenha o mínimo de perdas possíveis, e os fatores como sombreamento, poeira e outros prejudiciais à geração de energia solar devem que ser observados com previsões e periodicidades. Deve-se objetivar a orientação dos painéis fotovoltaicos sempre que possível ao norte com inclinação adequada de maneira a aproveitar ao máximo o ângulo solar de maior incidência de radiação do sol, conforme se observa na figura 4.2.

Além do posicionamento correto dos painéis fotovoltaico, a infraestrutura também é um dos fatores que influencia nas perdas de geração e transmissão de energia elétrica eficaz como equipamentos de conversão de energia corrente contínua (CC) dos painéis fotovoltaicos em corrente alternada (CA) injetado na rede elétrica.

Figura 4.2: Boas práticas de manutenção



Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

As boas práticas de instalação e manutenção da eficiência energética exige uma gestão estratégica utilizando normas, ferramentas e mão de obra especializada. A aplicação da manutenção invasiva com qualidade deve seguir as orientações estratégicas conforme figura 4.2 que prevê horários de intervenção de maior e menor risco, evitando o horário de maior incidência de sol pico (Hsp) entre 9 horas da manhã até às 3 horas da tarde. Essa premissa também orienta no desempenho do sistema de limpeza preventiva conforme figura 4.3.

Figura 4.3: Antes e Depois da Limpeza nas placas solar



Fonte: Silva *et al.*, 2019.

A limpeza mantém seu sistema entregando altos retornos financeiros, ao passo que a manutenção preventiva mantém seu sistema funcionando com segurança, pois previne desgastes e permite detectar falhas antes que aconteçam. As Falhas em sistemas fotovoltaicos podem comprometer a segurança dos equipamentos e dos usuários, é necessário responsabilidade e cuidado.

A vida útil dos painéis pode passar de 25 anos, mas lembramos de que outros componentes fazem parte do seu gerador fotovoltaico, tais como: inversor, estrutura de fixação, string Box, cabos CA, disjuntores, chaves seccionadoras, conectores. Estes não terão uma vida útil muito longa se não forem inspecionados com frequência. A preventiva é uma questão de evitar antecipadamente a queima de um equipamento, parada de geração devido a falhas e até mesmo evitar acidentes elétricos.

Na inspeção periódica da instalação elétrica nós avaliamos o cabeamento, os pontos de calor e possíveis deteriorações que podem ocorrer ao longo do tempo. Esse tipo de inspeção deve ser realizado por pessoas com experiência em instalações fotovoltaicas e, também, com auxílio de materiais apropriados.

#### 4.1.6 Aplicar o Plano de Ação

Por meio das informações adquiridas e aplicadas no Diagrama de Ishikawa desenvolvido, observaram-se alguns problemas no processo de manutenção do sistema fotovoltaico, sendo classificada como principal problema a parada inesperada do sistema solar. Baseado nessas informações foi proposto um Plano de Ação contendo sugestões de melhoria para ambos. Conforme apresentado no quadro abaixo.

#### 4.2 Planos de Ação

Quadro 4.1- Plano de Ação- Inspeção Periódica

<b>O QUE?</b>	Analisar o estado dos módulos, a estrutura do sistema e a conexão dos cabos elétricos dos painéis solares.
<b>QUEM?</b>	Engenheiros ou Técnicos responsáveis pela instalação.
<b>QUANDO?</b>	Semestralmente.
<b>POR QUÊ?</b>	Para garantir a integridade funcional do sistema, além de sua vida útil, são suscetíveis a intempéries que causam a baixa produtividade.
<b>ONDE?</b>	Nos painéis solares (módulos, inversores, cabos e estrutura completa).

<b>COMO?</b>	Averiguando visualmente a qualidade do sistema por meio das orientações recomendadas pelos fabricantes.
<b>QUANTO CUSTA?</b>	1% ao ano do valor investido.

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

#### Quadro 4.2- Plano de Ação- Manutenção Preditiva

<b>O QUE?</b>	Análise visualmente dos módulos fotovoltaicos.
<b>QUEM?</b>	Equipe técnicas responsáveis da manutenção.
<b>QUANDO?</b>	Mensalmente.
<b>POR QUÊ?</b>	Para analisar se há danos nos painéis solares como arranhões, manchas, rachaduras ou indícios de quebra.
<b>ONDE?</b>	Nos módulos, <i>String Box</i> , cabos e conectores, estrutura de fixação.
<b>COMO?</b>	Seguindo as orientações dos técnicos responsáveis pela manutenção.
<b>QUANTO CUSTA?</b>	1% ao ano do valor investido.

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

#### Quadro 4.3- Plano de Ação- Manutenção Preventiva

<b>O QUE?</b>	Análise no equipamento fotovoltaico e a limpeza das placas.
<b>QUEM?</b>	Equipe técnicas responsáveis da manutenção especializadas.
<b>QUANDO?</b>	Anualmente.
<b>POR QUÊ?</b>	Para evitar perdas de eficiência e redução de produtividade de energia.
<b>ONDE?</b>	Nos módulos fotovoltaicos.
<b>COMO?</b>	Seguindo as orientações dos técnicos responsáveis pela manutenção.
<b>QUANTO CUSTA?</b>	1% ao ano do valor investido.

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

#### Quadro 4.4- Plano de Ação- Manutenção Corretiva

<b>O QUE?</b>	Diagnosticar redução ou interrupção dos geradores.
<b>QUEM?</b>	Equipe técnicas especializadas pela manutenção.
<b>QUANDO?</b>	Quando for necessário e apresentar esse tipo de falha ou problema.
<b>POR QUÊ?</b>	Quanto maior for o cuidado com a conservação dos equipamentos, maior será seu rendimento e retorno ao cliente.
<b>ONDE?</b>	No sistema fotovoltaico.
<b>COMO?</b>	Entrar em contato com assistência técnica da empresa integradora responsável que fez a instalação.
<b>QUANTO CUSTA?</b>	1% ao ano do valor investido.

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

Quadro 4.5- Plano de Ação- Monitoramento do Sistema

<b>O QUE?</b>	Acompanhamento do funcionamento do sistema fotovoltaico.
<b>QUEM?</b>	O próprio cliente ou empresa especializada integradora.
<b>QUANDO?</b>	Diariamente.
<b>POR QUÊ?</b>	Para avaliar os dados de geração de energia e acompanhar o desenvolvimento do sistema.
<b>ONDE?</b>	Sistema de Proteção (disjuntores DPS).
<b>COMO?</b>	Seguindo informações através de aplicativos.
<b>QUANTO CUSTA?</b>	3% ao ano do valor investido.

Fonte: Elaborada pela autora, 2023.

### 4.3 Executar

Na execução, alinhamos o Plano de Ação elaborado com as partes interessadas, descrevendo todas as sugestões de melhorias propostas, apresentando um serviço especializado para a manutenção das placas solares. Ao manter ações de limpeza e inspeções periódicas é possível reduzir custos com eventuais reparos e prejuízos, o que aumenta o aproveitamento da energia solar e amplia a vida útil do sistema.

### 4.4 Verificar

Na verificação, sugerimos que os profissionais especializados da área de manutenção mantenham-se por verificar e garantir a execução correta do Plano de Ação, avaliando se o que foi proposto como melhoria atingiu o resultado esperado quanto ao funcionamento do plano, analisando sua eficácia.

### 4.5 Agir

Caso seja encontrado falhas no processo de verificação realizar a implantação de ações corretivas e caso alcance o resultado almejado realizar a padronização do PDCA.

Através das ações realizadas, todos os processos que funcionou deve se tornar-se padrão para evitar que os problemas voltem a aparecer. Sendo assim, os documentos que descrevem os processos do projeto podem precisar de revisão.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a indústria em rápido processo de desenvolvimento, e a necessidade de se manter em pleno funcionamento todas as máquinas e processos, surgem novos seguimentos de gestão, como a de manutenção, tão necessária quanto a gestão de produção.

Neste trabalho foi apresentado um estudo de caso em que foram aplicadas as ferramentas da qualidade nos processos da organização a fim de observar possíveis problemas na manutenção do sistema fotovoltaico podendo gerar prejuízos e perdas. Foi desenvolvido o transferidor solar exclusivo da equipe

estratégica de manutenção da empresa que prevê horários de intervenção de maior e menor risco, evitando o horário de maior incidência de sol pico (HSP) entre 9 horas da manhã até às 3 horas da tarde.

As manutenções dos sistemas fotovoltaicos devem ser acompanhadas por equipes especializadas compostas por engenheiro eletricista, técnicos responsáveis para realizar a manutenção com segurança dos equipamentos devidamente certificados.

A aplicação do ciclo PDCA neste trabalho apontou que a previsibilidade dos processos de uma organização por meio da padronização de procedimentos resulta em um diferencial mais competitivo. A gestão de manutenção centrada na criação de planos de manutenção de equipamentos fotovoltaicos proporciona o aumento das disponibilidades dos equipamentos, aumento do lucro da organização, aumento da segurança dos trabalhadores e das instalações e redução de custos.

Para melhoria da qualidade de um sistema de gestão de manutenção que mantenha os equipamentos e instalações sempre operando com o melhor custo é necessário estabelecer os passos necessários propostos nesta metodologia apresentada. Para obter uma qualidade na manutenção em instalação fotovoltaica, sendo preditiva, preventiva ou corretiva, criou-se um plano de ação para levantamento e priorização das possíveis falhas, onde foram apresentados os passos a serem executados através do 5W2H.

Desta forma observa-se que a utilização das ferramentas da qualidade, com gestão adequada, contribui no desempenho das atividades rotineiras, observando possíveis problemas, ajudando na organização e na eficiência dos processos, diminuindo perdas de materiais ou de tempo, tornando a empresa mais competitiva.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE Caio Vinícius Aguiar. **Análise da inserção de armazenadores de energia na rede elétrica de distribuição**. Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília. Brasília, 2016. Disponível em <[https://fga.unb.br/articles/0001/6659/Caio\\_Andrade\\_TCC\\_1.pdf](https://fga.unb.br/articles/0001/6659/Caio_Andrade_TCC_1.pdf)>. Acesso em 5 junho 2023.

ALVES, A. C. **O PDCA como ferramenta de gestão da rotina**. Universidade Federal Fluminense 2015. Trabalho apresentado ao Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro, 2015.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.

FRANCO, J. O. B. **Ferramentas da Qualidade e Seis Sigmas**. 1ªed. Maringá, Unicesumar, 2017.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GODOY, M. H. C. **Brainstorming**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2001.

GUIMARÃES, Daiane Costa. **O impacto da aplicabilidade de tecnologia de placa fotovoltaica voltada para residência familiar usando prospecção tecnológica**. 2016. 79 f. Dissertação. (Mestrado em Ciência da Propriedade Intelectual) - Pós-Graduação em Ciência da Propriedade Intelectual. Universidade Federal de Sergipe – UFS. Disponível em: <[https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/3431/1/DAIANE\\_COSTA\\_GUIMARAES.pdf](https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/3431/1/DAIANE_COSTA_GUIMARAES.pdf)>. Acesso em: 4 junho 2023.

MARTINS, T. **Aplicando o Ciclo PDCA na manutenção**. 2019. Disponível em: <<https://tuliomartins.com.br/aplicando-o-ciclo-pdca-na-manutencao/>>. Acesso em: 16 set. 2022.

MASSARONI, I. F.; SCAVARDA, A. J. R. R. **Gestão de Serviços em Bibliotecas Públicas: aplicação do 5W2H na política de aquisição de acervo**. **Incid: Revista de Ciência da Informação e Documentação**, Ribeirão Preto, v. 6, n. 1, p.4-16. 2015.

RODRIGUES, A. L. P. **A utilização do ciclo PDCA para melhoria da qualidade na manutenção de shuts**. p. 23. Universidade de Santa Catarina: Revista Iberoamericana Journal Of Industrial Engineering. Florianópolis, SC. Brasil. v. 9. n. 18. p. 70. 2017.

SILVA, P. R.; BARBOSA, R. J.; MICHEL, M. **A importância da qualidade dos produtos para manter a competitividade das organizações**. Revista Científica Eletrônica de Administração, n. 10, p. 6, 2006. Disponível em: <[http://www.faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/U61NiRBgjtfysfw\\_2013-4-29-15-39-2.pdf](http://www.faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/U61NiRBgjtfysfw_2013-4-29-15-39-2.pdf)>. Acesso em: 07 set. 2022.

SILVA, A. M. et al. **The study and application of evaluation methods for photovoltaic modules under real operational conditions, in a region of the Brazilian southeast**. Renewable Energy, [s. l.], v. 138, p. 1189- 1204- 2019.

SILVEIRA, B. C. **Manutenção planejada**. 2016. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/tipos-manutencao-industria/>>. Acesso em: 11 set. 2022.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**; Revisão técnica Henrique Correia, Irineu Giasesi. São Paulo: Atlas, 2009.

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

ZILLES, R.; MACÊDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. Acesso em: 07 set. 2022.