



PROJETO DE GRADUAÇÃO

**Planejamento e Controle da Manutenção: estudo
de caso em uma usina fotovoltaica**

Por,
Thiago Carrijo de Sousa
14/0170936

Brasília, 18 de maio de 2021.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

PROJETO DE GRADUAÇÃO
Planejamento e Controle da Manutenção: estudo de caso em uma usina fotovoltaica

Por,

Thiago Carrijo de Sousa
14/0170936

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Produção

Banca Examinadora

Prof. Viviane Vasconcellos Ferreira Grubisic,
UnB/EPR (Orientadora)

Prof. João Mello da Silva, UnB/EPR

Prof. Sanderson César Macedo Barbalho,
UnB/EPR

Brasília, 18 de maio de 2021.

RESUMO

A manutenção de equipamentos é um importante fator na qualidade da produção de bens e serviços. Uma manutenção efetiva reduz o custo total e pode conferir vantagem competitiva para empresas que buscam melhorar seus indicadores de desempenho. O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) consiste em um conjunto de atividades voltadas à alocação adequada de recursos para a eficiência no processo de manutenção, de forma a garantir, sobretudo, a otimização de indicadores de manutenção. Dentro deste contexto, o presente projeto tem como objetivo apresentar um estudo de caso sobre PCM voltado para equipamentos de uma empresa que constrói e gerencia usinas fotovoltaicas (UFV's). Para tal, inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos relacionados à manutenção, indicadores de manutenção, indicadores chave de desempenho e PCM. Logo após, tem-se a metodologia de pesquisa adotada. A abordagem do estudo é qualitativa e o método de pesquisa, estudo de caso. O estudo de caso contemplou procedimentos de coleta, análise e validação de dados. Posteriormente, a proposta de PCM para tal empresa foi elaborada. Por fim, conclusões e sugestões de trabalhos futuros são apresentados.

Palavras-chave: Planejamento e Controle da Manutenção, usina fotovoltaica, estudo de caso.

ABSTRACT

Equipment maintenance is an important factor in the quality of the production of goods and services. Effective maintenance reduces the total cost and can provide a competitive advantage for companies which looks to improve their performance indicators. Planning and Control of Maintenance (PCM) is a set of activities aimed at the appropriate allocation of crucial resources for efficiency of the maintenance process, in order to guarantee, mainly, the optimization of the performance indicators. In this context, the present project aims to present a PCM case in relation to equipment from an enterprise that builds and manages solar photovoltaic power plants. For such, a bibliographic review on the main concepts related to maintenance, maintenance indicators, key performance indicators and PCM was held. Soon after, the research methodology was adopted. The study approach is qualitative and the research method, case study. The case study included procedures for data collection, analysis and validation. Subsequently, the PCM suggestion for such a company was drawn up. Finally, conclusions and suggestions for future work are presented.

Keywords: Planning and Control of Maintenance, solar photovoltaic power plants, case study.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVOS.....	11
1.1.1. Objetivo Geral	11
1.1.2. Objetivos específicos.....	11
1.2. ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. Manutenção	13
2.1.1. Definição	13
2.1.2. Evolução da manutenção	14
2.1.2.1. Primeira geração	14
2.1.2.2. Segunda geração	15
2.1.2.3. Terceira geração.....	15
2.1.2.4. Quarta Geração	16
2.1.3. Tipos de manutenção	18
2.1.3.1. Manutenção corretiva.....	18
2.1.3.2. Manutenção preventiva.....	19
2.1.3.3. Manutenção preditiva.....	20
2.1.3.4. Manutenção detectiva	21
2.2. Indicadores de manutenção	22
2.2.1. Confiabilidade	22
2.2.2. Manutenibilidade	24
2.2.3. Disponibilidade.....	25
2.3. KPI's (key performance indicators – indicadores chave de desempenho).....	25
2.3.1. Índice de retrabalho	26
2.3.2. Distribuição de atividades por tipo de manutenção.....	26
2.3.3. Custo de manutenção por faturamento	27
2.3.4. Custo de manutenção por valor de substituição estimado da planta ou ativos da instalação.....	27
2.3.5. Custo de manutenção por unidade processada	27
2.3.6. Custo de manutenção por valor de reposição (CPMV).....	27
3. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO (PCM).....	29
3.1. Definição	29
3.2. Organização da manutenção.....	31
3.3. Funcionários atuantes na manutenção.....	32
3.4. Sistemas informatizados para o PCM	33
4. METODOLOGIA	35
4.1. Classificação e escolha do método de pesquisa	35
4.2. Procedimentos do método de pesquisa.....	36

5. ESTUDO DE CASO.....	39
5.1. Descrição da Usina Fotovoltaica.....	39
5.2. Processo de manutenção na empresa	41
5.3. Estrutura proposta de PCM para a empresa	43
6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
APÊNDICES	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva da Banheira	23
Figura 2 - Origens dos serviços de manutenção.....	32
Figura 3 - Fluxograma de condução do estudo de caso.	36
Figura 4 - Layout da UFV referente ao estudo de caso.....	41
Figura 5 - Etapas do modelo proposto de PCM.	44
Figura 6 - Sugestão para a aba "Menu".....	54
Figura 7 - Sugestão para a aba "Indicadores de manutenção"	55
Figura 8 - Sugestão para a aba "Manutenção preventiva"	56
Figura 9 - Sugestão para a aba "Manutenção corretiva"	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Evolução da Manutenção	17
Quadro 2 - Profissionais consultados para o estudo de caso	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações sobre os equipamentos da usina fotovoltaica em estudo.....	40
---	----

1. INTRODUÇÃO

O cenário competitivo mundial acirra a necessidade da máxima redução de custos e aumento da produtividade nas empresas. Um dos fatores que contribuem para alcançar ambos os objetivos é o estabelecimento de medidas para assegurar que a capacidade de produção de uma planta industrial seja a maior possível e, para isso, os equipamentos devem possuir baixas probabilidades de falhas (PALMER, 2006).

As responsáveis por produzir esse efeito são estratégias adequadas de manutenção. Manutenções bem planejadas e executadas podem resultar em um prolongamento do tempo de vida útil dos equipamentos, redução da quebra de equipamentos críticos, melhoria da qualidade dos produtos, aumento da disponibilidade dos equipamentos e de outros indicadores de desempenho (SELEME, 2015).

A manutenção, segundo a NBR 5462 (1994), é a combinação de ações destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Pela interpretação da norma, pode-se afirmar que a manutenção pode ser feita antes ou depois da ocorrência de uma falha ou uma queda de performance.

Há algumas décadas, conforme Kardec & Nascif (2009), os gerentes consideravam a manutenção como incontrolável e custosa. Uma referência do ano de 2013 da ABRAMAN (2013) mostra que um valor referente a cerca de 4,7% do PIB do Brasil foi gasto com manutenções em 2013. Esse percentual é derivado do custo total médio da manutenção nas empresas brasileiras e representa, numericamente, um custo de 116 bilhões de dólares. Portanto, a manutenção pode realmente ser cara em relação à produção e, por esse motivo, é preciso que haja investimentos em aprimoramentos dos processos de manutenção, treinamentos e em tipos de manutenção adequados para cada equipamento.

O órgão ligado ao suporte da manutenção numa empresa, capaz de aumentar a eficiência do processo de manutenção por meio do planejamento, programação e análise dos resultados das atividades de manutenção é chamado de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) (VIANA, 2002). Numa empresa menor, o PCM é tido como um conjunto de atividades que geram o que foi dito anteriormente, isto é, não é necessário que exista um órgão de PCM para que os princípios deste sejam realizados na empresa (FILHO, 2020).

Devido a importância desse assunto dentro da gestão da manutenção, este trabalho busca propor um modelo de PCM, desenvolvido por meio de um estudo de caso, para uma empresa que constrói e administra usinas fotovoltaicas (UFV's) em Brasília.

O objetivo de uma UFV, é transformar a energia sob forma de luz em energia elétrica. Para isso, um sistema de energia é instalado no local da usina, sendo as placas fotovoltaicas e os inversores de energia fotovoltaica (PV) os principais responsáveis pela captação e conversão da corrente contínua em corrente alternativa, respectivamente. Apesar do baixo custo de manutenção dos equipamentos das UFV's, comparado com outras usinas de energia, a gestão da manutenção é necessária para que manutenções emergenciais sejam mitigadas, já que elas aumentam significativamente os custos (PRECUP et al., 2019).

A gestão da manutenção nessa empresa é realizada pelos funcionários da área de execução, operação e manutenção, ou seja, não existe um setor de manutenção exclusivo. Esses funcionários precisam conciliar atividades de três subáreas e, frequentemente, a gestão da manutenção é tida como a menos prioritária. Isso gera a execução de atividades de manutenção mais caras para a empresa. Além disso, o sistema informatizado que a empresa contratou, Sienge, não possui um módulo relacionado à manutenção, o que dificulta a coleta e análise de dados para o planejamento, programação e controle da manutenção.

A seguir, serão apresentados os objetivos do presente projeto a fim de definir seu escopo.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Propor uma estrutura de Planejamento e Controle da Manutenção para uma empresa que constrói usinas fotovoltaicas

1.1.2. Objetivos específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos relacionados com o tema manutenção;
- Identificar os principais elementos sobre Planejamento e Controle da Manutenção;
- Realizar uma análise do atual processo de manutenção na empresa considerada;

- Propor sugestões de mudanças e melhorias no processo de manutenção da empresa baseado no PCM.

1.2. ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS

O presente capítulo busca fornecer uma visão clara do tema, problema de pesquisa, justificativas e objetivos deste trabalho.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico sobre manutenção, indicadores de manutenção e indicadores chave de desempenho, temas necessários para o embasamento do projeto.

No Capítulo 3 é abordado as características do Planejamento e Controle da Manutenção, completando a teoria necessária para o prosseguimento do projeto.

No Capítulo 4, descreve-se a metodologia usada para alcançar os objetivos.

O Capítulo 5 elucida a apresentação do estudo de caso.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões derivadas do desenvolvimento do estudo de caso e sugestões para futuras pesquisas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O objetivo deste capítulo é apresentar os principais conceitos relacionados a manutenção como definição, gerações e tipos, de modo a desenvolver uma base teórica que auxiliará no desenvolvimento do modelo de gestão estratégica de indicadores de manutenção.

2.1. Manutenção

2.1.1. Definição

Etimologicamente, a palavra manutenção teve início na língua latina medieval *manus tentione*, esta significando o “ato de segurar” e aquela, “mão”. Juntas e interpretadas, originam a expressão “ato de segurar com a mão” ou “ato ou efeito de manter” (BORMIO, 2000).

Em 1994, a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) emitiu uma norma intitulada de “Confiabilidade e Manutenibilidade” e, segundo o item 2.8.1, manutenção é definida como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida (NBR-5462, 1994).

Segundo Slack et al. (2018), manutenção é como as organizações tentam evitar a falha ao cuidar de suas instalações físicas. Os autores salientam que, da mesma forma que a produção tem de visar a menor probabilidade de falha de todas as extensões do processo relativo ao produto através do uso de mecanismos à prova de falhas (*poka-yoke*), os gerentes também precisam se preocupar com a manutenção da produção.

Moubray (1997) o qual detalha a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) em sua obra, caracteriza manutenção como a garantia de que os bens continuem a fazer o que os usuários desejam que eles façam ¹(MOUBRAY,1997, tradução própria).

Seleme (2015) afirma que a manutenção é uma função geralmente realizada sob circunstâncias adversas e de estresse, objetivando a restauração do equipamento no menor tempo para que o mesmo retorne ao estado de disponível

Xenos (2014) afirma que ainda existem empresas que consideram a manutenção sendo sinônimo de reparo, isto é, a manutenção seria feita apenas após uma quebra, falha

¹ “Maintenance: Ensuring that physical assets continue to do what their users want them to do”

ou redução de desempenho, fazendo com que o termo seja visto como um mal necessário. A mesma frase é citada por Nepomuceno (1989), evidenciando que, apesar da predominância dessa ideia no século passado, atualmente ainda existem gerentes com esse pensamento. Portanto, a não ser que ações concretas estejam sendo tomadas a fim de evitar as falhas, o conserto dos equipamentos após a ocorrência da falha não pode ser considerado como manutenção (XENOS, 2014).

Complementando, Monchy (1987) reconhece que a manutenção não começa no primeiro dia de funcionamento, mas em uma das primeiras fases de um Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP). É durante a concepção do produto que os indicadores de manutenção devem ser definidos, a fim de que sejam acompanhados ao longo da operação ou uso do produto. Dessa forma, no caso da ocorrência de uma falha potencial, a equipe já possui um plano de manutenção baseado em indicadores.

A partir das definições abordadas por Bormio (2000), conclui-se que a manutenção remedeia a falha ou quebra de algo. A interpretação por meio da origem da palavra demonstra que o ato de executar a manutenção requer proximidade com o referente objeto.

2.1.2. Evolução da manutenção

O desejo de que todo o equipamento existente realize suas funções pelo maior período de tempo possível, é atemporal. Porém, com o desenvolvimento da tecnologia e dos objetivos estratégicos de produção, esse desejo foi representado principalmente pelos donos de fábricas devido à queda do sistema feudal e o início do capitalismo, que obteve grande impulso durante a Revolução Industrial (NETO & SCARPIM, 2013).

Na primeira RI, o uso massivo de máquinas aumentou o fluxo de produção e, conseqüentemente, a preocupação com manutenções baratas e rápidas, caso uma máquina falhasse. Assim, no final do capitalismo industrial e início do financeiro, a engenharia começou a ter um novo campo de atuação e um grande desafio (SELEME, 2015).

A seguir, será apresentada a evolução da prática da manutenção dividida em quatro gerações.

2.1.2.1. Primeira geração

A Primeira Geração da manutenção iniciou-se antes da Segunda Guerra Mundial, justamente na parte final da Segunda Revolução Industrial. A preocupação sobre a

existência de pessoas capacitadas para consertar as máquinas surgiu com as criações que visaram aumentar a produtividade, apesar do grande tamanho e simplicidade dessas (MOUBRAY, 1997).

A manutenção, no período pré Segunda Guerra Mundial, se baseava na crença de que a falha ou quebra era algo natural e fazia parte do envelhecimento do equipamento. Por isso, não havia tentativas de reparar a máquina antes da indisponibilidade, a manutenção era puramente corretiva (KARDEC e NASCIF, 2009). Fazendo uma analogia entre máquinas e humanos: é como se as pessoas não tentassem remediar uma doença ou a morte através de exames, consultas ou cirurgias. Monchy (1987) abordou algo semelhante ao dito no período anterior ao afirmar que a manutenção é a “medicina das máquinas” e comparar a saúde humana com a saúde da máquina.

2.1.2.2. Segunda geração

Durante a Segunda Guerra Mundial houve um aumento significativo da demanda por bens em geral, enquanto o contingente de mão-de-obra nas empresas caiu bruscamente. Isso levou à ampliação da mecanização² (MOUBRAY, 1997, tradução própria).

As empresas dependiam muito mais do funcionamento das máquinas, levando à ideia de que falhas poderiam ser prevenidas. Portanto, foi nessa geração que a manutenção preventiva se popularizou. Além disso, houve um aumento no custo de manutenção e no custo das máquinas por não serem simples e possuírem peças pequenas (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.1.2.3. Terceira geração

Após a década de 60, a grande preocupação foi de produzir conforme a demanda e reduzir estoque (*just-in-time*), investir na qualidade do produto, aumentar a vida útil dos produtos e reduzir a carga de poluentes sobre o meio ambiente (MOUBRAY, 1997).

Dentro deste contexto, a aplicação do conceito de confiabilidade e disponibilidade cresceu devido à premência do menor número de falhas possível, para que os produtos fossem entregues a tempo. Paralelo a isso, o custo de manutenção é maior em relação à geração passada em razão do aumento da automação e complexidade das máquinas. O

² “Wartime pressures increased the demand for goods of all kinds while the supply of industrial manpower dropped sharply. This led to increased mechanization” (Moubray, 1997).

conceito e uso da manutenção preditiva foi alavancado devido a necessidade de otimizar o tempo em que a manutenção preventiva deva ser realizada (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.1.2.4. Quarta Geração

A Quarta Geração foi marcada pela maior valorização à confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, cujos conceitos serão explicados mais adiante neste capítulo. Cada falha que ocorria era avaliada para que não acontecesse novamente. Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção preventiva era prioridade apenas se não parasse a produção e a corretiva não planejada trazia malefícios aos indicadores de manutenção e à empresa. Então, aumentou-se o uso da manutenção preditiva em detrimento daquelas.

A evolução da manutenção é mostrada no Quadro 1 de acordo com Kardec e Nascif (2009).

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO				
	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração
Ano				
Aumentos das expectativas em relação à Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Conserto após a falha 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade Crescente • Maior vida útil do equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Melhor relação custo-benefício • Preservação do meio ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Preservação do meio ambiente • Segurança • Influir nos resultados do negócio • Gerenciar os ativos
Visão quanto à falha do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham 	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira 	<ul style="list-style-type: none"> • Existência de 6 padrões de falhas (Nowlan & Heap e Moubray) Ver Capítulo 5 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F (Nowlan & Heap e Moubray) Ver Capítulo 5
Mudança das técnicas de Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidades voltadas para o reparo 	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento manual da manutenção • Computadores grandes e lentos • Manutenção Preventiva (por tempo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da condição • Manutenção Preditiva • Análise de risco • Computadores pequenos e rápidos • Softwares potentes • Grupos de trabalho multidisciplinares • Projeto voltado para a confiabilidade • Contratação por mão de obra e serviços 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição • Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva • Análise de Falhas • Técnicas de confiabilidade • Manutenibilidade • Engenharia da Manutenção • Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida • Contratação por resultados

Quadro 1 - Evolução da Manutenção
 Fonte: Kardec & Nascif, 2009.

O tópico seguinte abordará os tipos de manutenção mais comumente encontrados na literatura.

2.1.3. Tipos de manutenção

Os tipos de manutenção podem ter diferentes classificações. Alguns autores incluem outros tipos além da manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva. Em geral, a definição dos tipos de manutenção apresentados na literatura são, em geral similares. Segundo Kardec e Nascif (2009), existem 4 tipos de manutenção: Manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva e manutenção detectiva.

2.1.3.1. Manutenção corretiva

Segundo a NBR 5462 (1994), a manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

Apesar de ser considerada uma manutenção que somente ocorre após a falha, de acordo com Kardec e Nascif (2009) e Xenos (2014), a manutenção corretiva pode ocorrer sob duas condições: Desempenho deficiente ou perda da função.

Geralmente, é o tipo de manutenção mais cara, caso se analise todas as eventuais perdas, mas que em alguns casos pode ser a melhor opção devido ao baixo custo de manutenção, ou seja, se a máquina não for imprescindível para o andamento do processo, há uma maior possibilidade de que a manutenção corretiva, principalmente a corretiva programada, tenha o melhor custo-benefício. É possível também que essa manutenção seja executada a fim de ajustar o desempenho do equipamento para o desejado (KARDEC E NASCIF, 2009).

A manutenção corretiva pode ser dividida em duas classes: (i) manutenção corretiva não programada e a (ii) manutenção corretiva programada. A primeira, conhecida também como manutenção emergencial, tem a característica de remediar após a falha sem a programação do serviço e, também, de ser a mais cara. Essa é, em grande parte das vezes, a manutenção executada quando os funcionários falam sobre corrigir algum equipamento. Já a manutenção corretiva planejada é baseada na qualidade das informações obtidas das máquinas e feita sob decisão estratégica. O programa de manutenção feito de antemão gera custos menores de manutenção em relação à emergencial.

Independentemente da decisão a respeito de qual manutenção corretiva executar, a parte gerencial da empresa não deve se conformar com a ocorrência de falhas como se fosse natural (XENOS, 2014).

2.1.3.2. Manutenção preventiva

De forma oposta às características da manutenção corretiva, a manutenção preventiva visa evitar ao máximo a falha ou quebra. Para *British Standards Institution* (BSI, 2018), esta é uma manutenção realizada com o objetivo de analisar e/ou mitigar a degradação, bem como reduzir a probabilidade de um item falhar.

Para que a manutenção preventiva seja realizada com sucesso, é necessário conhecer como cada máquina opera e, se possível, o BOM (*Bill of Materials*)³ das máquinas do parque produtivo.

Além disso, a empresa precisa desenvolver, seguir e cumprir cada item de um *checklist* de manutenção preventiva eficiente e assertivo para não aumentar as falhas e ocupar desnecessariamente o tempo do pessoal de manutenção (XENOS, 2014).

O custo da manutenção preventiva tende a ser mais caro do que a anterior porque, geralmente, as peças e componentes são trocados antes do fim da vida útil dos mesmos. Porém, como as falhas tendem a diminuir e a disponibilidade aumentar, o custo total na maioria das vezes é mais baixo. Xenos (2014) acredita que, se feita periodicamente, a manutenção preventiva deve ser a atividade principal do setor de manutenção de todas as empresas.

Exemplos de atividades de manutenção preventiva são: limpezas, inspeções, reparos, substituição de itens desgastados, troca de óleo, lubrificação, ajustes, entre outras.

A lubrificação consiste na aplicação de uma película fluida entre duas superfícies que possuem movimento relativo para que o atrito seja reduzido, evitando desgastes e possível aumento de temperatura. Além disso, os lubrificantes inibem as corrosões, absorvem choques, removem contaminantes e impedem a entrada de partículas estranhas. Os equipamentos que mais comumente recebem a aplicação de lubrificantes são as engrenagens, mancais, atuadores e guias de deslizamento, sendo a aplicação feita através da: gravidade, por meio do uso manual de almotolias; capilaridade, com o uso de estopas, por exemplo; salpico, por anel, corrente ou colar; imersão, por banho de óleo; sistema

³ *Bill of materials* é uma lista de todos os materiais necessários a um fabricante contratado para produzir peças/componentes de um produto para seus clientes (APICS *Dictionary*, 2016, tradução própria).

forçado, por perda ou circulação, ou; graxa, manual com pincel ou pistola, por exemplo (GREGÓRIO E SILVEIRA, 2018).

Quanto às condições do óleo, é possível afirmar que a falha pode ocorrer pela falta de lubrificação ou por problemas com o óleo em si. Na década de 70, o custo da troca manual de óleo nos pontos de lubrificação era ligeiramente maior do que não fazê-la e, à medida que o preço dos derivados de petróleo aumentava, a cautela de não usar óleo deliberadamente crescia. Por isso, as consequências das falhas eram cada vez maiores e um bom planejamento das inspeções periódicas do óleo tornou-se imprescindível. Os problemas relacionados ao óleo em si se devem a fenômenos como a oxidação do óleo base ou a presença de agentes contaminantes (MOUBRAY, 1997).

2.1.3.3. Manutenção preditiva

A manutenção preditiva, ou manutenção controlada, permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva (NBR 5462, 1994). Em outras palavras, este tipo de manutenção se baseia no monitoramento das condições de funcionamento de um item em termos de temperatura, vibração e ruídos excessivos por meio de instrumentos específicos (ALMEIDA, 2014).

O problema sobre não saber exatamente quando se deve trocar as peças e componentes de uma máquina na manutenção preventiva, pode ser reduzido caso haja a aplicação da manutenção preditiva. Xenos (2014) enfatiza que a manutenção preditiva é um dos elementos da manutenção preventiva, ou seja, aquela manutenção oferece recursos para que essa seja mais eficiente.

A manutenção preditiva é bastante mencionada na literatura como um tipo de manutenção avançada em relação aos demais. Isso porque ela exige investimento em tecnologia e pessoal para prever, de forma assertiva, o melhor momento de realizar a manutenção. As tecnologias usadas na manutenção preditiva tendem a encarecê-la em relação à preventiva.

Existem duas formas de monitorar os estados de equipamentos. A primeira é chamada de monitoração subjetiva, na qual se usa apenas a percepção do operador. Por outro lado, na monitoração objetiva são usados instrumentos e técnicas específicas que

geram um valor de medição. Um exemplo dessa é o registro periódico da temperatura de uma máquina através de termômetros industriais (GREGÓRIO E SILVEIRA, 2018).

Em algumas fábricas, as temperaturas dos equipamentos devem ser monitoradas ininterruptamente devido a necessidade de pouca variação entre os produtos, por exemplo. Da mesma forma, a pressão não deve ultrapassar os limites inferiores e superiores especificados pelos fabricantes das máquinas e, por isso, segundo Nepomuceno (1989), é indicado o uso de manômetros integrados a um sistema de monitoramento.

Além disso, os dados sobre a vibração relativa podem auxiliar na definição do estado do equipamento, já que altos níveis podem danificá-lo. Vibração mecânica é um fenômeno percebido através do movimento de partículas entorno de suas posições de equilíbrio em razão da transformação de energia cinética em energia potencial e vice-versa. Para a previsão de uma provável falha devido a vibrações anormais, é preciso que o engenheiro ou técnico de manutenção tenha conhecimentos acerca dos movimentos realizados pelos equipamentos, principalmente movimentos periódicos (NEPOMUCENO, 1989).

2.1.3.4. Manutenção detectiva

A manutenção detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas⁴ ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. Esse tipo de manutenção começou a ser mencionada na década de noventa, quando os computadores começaram a oferecer um maior desempenho em termos de programação, controle e facilidade ao acesso de dados (KARDEC e NASCIF, 2009).

A última barreira de proteção entre a falha e a desempenho normal da máquina é chamada de *trip* ou *shut-down*. Esse sistema é desenvolvido para atuar automaticamente quando se identifica que uma falha ou mau desempenho possa vir a ocorrer. Existe uma complexidade alta e é possível que um *trip* falhe, causando resultados prejudiciais à empresa.

Por ser mais nova e precisar de um investimento ainda maior que a manutenção preditiva, é importante uma análise custo-benefício bem apurada. Para todos os tipos de

⁴ Falha oculta é aquela que será inevidente para os operadores em condições normais se ela ocorrer por conta própria (MOUBRAY, 1997).

manutenção abordados, essa análise precisa ser feita para que a escolha seja ótima (KARDEC e NASCIF, 2009).

2.2. Indicadores de manutenção

Seja qual for o tipo ou o conjunto de tipos de manutenção que uma empresa adota, é de suma importância a coleta e o processamento dos dados acerca de cada ordem de serviço (OS) de manutenção. Alguns tipos de dados são: número da OS, data da OS, tipo de manutenção, duração da atividade de manutenção e custo com materiais de cada atividade de manutenção. Esses dados se transformam em informações indispensáveis no momento em que são usados para construir indicadores de manutenção. Os indicadores mais comumente utilizados são: Confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade (JORDÁN, 2017).

2.2.1. Confiabilidade

A confiabilidade, cuja palavra deriva do inglês *Reliability*, é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo (NBR 5462, 1994). Item, segundo a mesma NBR, é qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente. Portanto, um item é considerado confiável apenas se executar a função requerida por uma porcentagem de tempo predeterminada pela empresa fabricante ou por aquela que utiliza o item.

Kardec e Nascif (2009) apontam que o termo confiabilidade teve origem na década de 1950 durante análises de falha em equipamentos eletrônicos para uso militar. Na década seguinte, um grupo desenvolveu um programa de confiabilidade para a indústria aeronáutica e determinou que, por ser uma probabilidade, a confiabilidade deve variar de 0 a 1, ou de 0% a 100%.

Para Jordán (2017), confiabilidade é a probabilidade de que um sistema ou produto funcione satisfatoriamente durante um período de tempo sob condições de operação especificadas. De forma análoga, Seleme (2015) define confiabilidade como a probabilidade de um produto operar por um tempo especificado, que se refere a vida útil do produto, sem apresentar falhas identificáveis, ou seja, se um produto funcionar 100% do tempo até o fim da vida útil pré-estipulada então a confiabilidade do mesmo será igual a 1.

O indicador de referência mais importante para a confiabilidade é o Tempo Médio Entre Falhas (TMEF), traduzido por:

$$TMEF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de operação}}{N^{\circ} \text{ de falhas ocorridas}} \quad (1)$$

Assim, define-se um período de tempo em horas, minutos ou a unidade de medida que fizer mais sentido para a organização e conta-se quantas falhas ocorreram durante aquele tempo. Claramente, o objetivo da confiabilidade é maximizar o TMEF (JORDÁN, 2017).

Outro indicador importante é a Taxa de Falha (λ), denotado por:

$$\lambda = \frac{1}{TMEF} \quad (2)$$

Portanto, a taxa de falha é o complementar do TMEF, ou seja, se uma máquina apresentar 1 defeito durante 24 horas, por exemplo, quer dizer que naquele dia a máquina não respondeu de forma adequada por aproximadamente 4,2% do tempo.

Em geral, um item apresenta três períodos distintos ilustrados por uma curva da taxa de falha pelo tempo denominada de Curva da Banheira conforme mostrado na Figura 2.

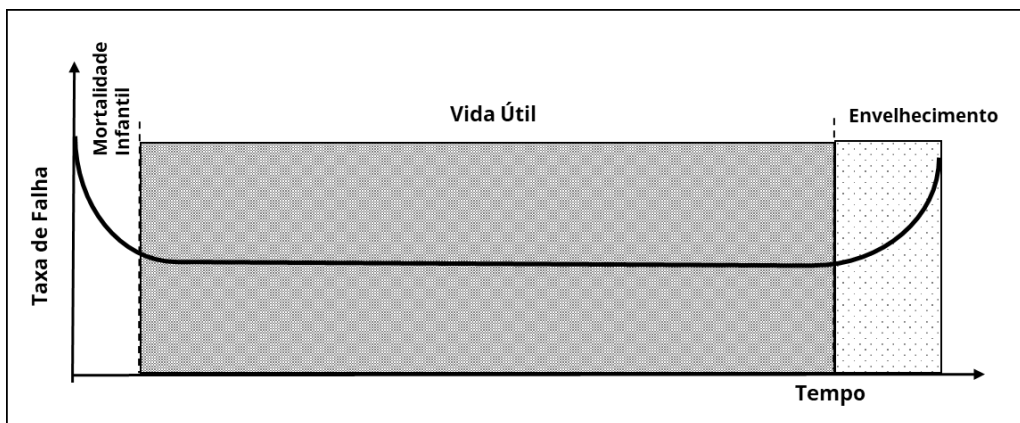


Figura 1 - Curva da Banheira
Fonte: KARDEC E NASCIF, 2009.

O primeiro período mostrado na Figura 2 é chamado de Mortalidade Infantil, onde ocorrem muitas falhas pela simples inicialização do item, ou seja, defeitos de fabricação e erros no projeto e/ou instalação. No segundo período, chamado de Vida Útil, a taxa de falha é menor e mais constante. Falhas aleatórias são menos previsíveis porque os motivos

delas são não controláveis. No último período as falhas acontecem pelo envelhecimento natural dos itens e tendem a crescer à medida que o tempo passa (KARDEC e NASCIF, 2009).

Seguindo uma distribuição exponencial, na qual a taxa de falha é constante, o cálculo da confiabilidade em função do tempo é realizado utilizando-se a equação 03 abaixo:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Sendo:

- $R(t)$, função confiabilidade
- t , tempo de operação
- e , logaritmo normal ($e = 2,718$)
- λ , taxa de falha

2.2.2. Manutenibilidade

Mantenabilidade ou manutenibilidade é a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos (NBR 5462, 1994).

A manutenibilidade mede, basicamente, o quão eficiente é o trabalho de reparo de um equipamento.

O indicador que auxilia nesse cálculo é o Tempo Médio para Reparo (TMPR), isto é, qual é o tempo, em média, entre o acontecimento da falha até o retorno do uso normal da máquina. O objetivo da manutenibilidade, portanto, é minimizar o TMPR.

De forma análoga à definição da taxa de falha (λ), a taxa de reparo é dada como:

$$\mu = \frac{\text{N}^\circ \text{ de reparos efetuados}}{\text{tempo total de reparo da unidade}} \quad (4)$$

Assim como a confiabilidade, a manutenibilidade pode ser definida em razão do tempo, conforma a equação 6:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (5)$$

Sendo:

- M(t), função manutenibilidade
- t, tempo previsto de reparo
- μ , taxa de reparo
- e, logaritmo natural (e = 2,718)

2.2.3. Disponibilidade

Disponibilidade, do inglês *Availability* é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados (NBR 5462, 1994).

Em outras palavras, disponibilidade é uma medida que indica a proporção do tempo total em relação ao tempo que o dispositivo está disponível para utilização (SELEME, 2015).

Os principais indicadores de referência utilizados são: TMEF e TMPR. A expressão varia entre 0 e 1 e é definida como:

$$Disponibilidade = \frac{TMEF}{(TMEF) + (TMPR)} \quad (6)$$

Logo, basta a confiabilidade e a manutenibilidade serem definidas para se obter o resultado da disponibilidade.

2.3. KPI's (key performance indicators – indicadores chave de desempenho)

Segundo Wireman (2005), os indicadores de desempenho visam a comparação com outra companhia para mostrar o quão uma é melhor do que a outra. Todos os indicadores devem estar alinhados com os objetivos estratégicos e a cultura da empresa. Por isso que os indicadores são construídos de cima para baixo na empresa (*top down*).

Na manutenção, existem dezenas de indicadores que mensuram a performance dos equipamentos e o impacto da manutenção no processo de produção. Porém, é

necessário que cada indicador seja acompanhado de perto e, como dito no parágrafo anterior, se encaixe no perfil e objetivos da empresa. Para que isso seja possível, deve-se adotar o uso de poucos indicadores, cuidadosamente estudados e definidos pela empresa. Esses indicadores são chamados de Indicadores Chave de Sucesso ⁵(KPI's – *Key Performance Indicators*) (GREGÓRIO E SILVEIRA, 2018).

Serão apresentados, a seguir, alguns desses KPI's.

2.3.1. Índice de retrabalho

O índice de retrabalho (IR) representa o percentual de horas trabalhadas em OM's (Ordem de manutenção) encerradas e reabertas posteriormente em relação ao total de horas trabalhadas.

$$IR = \frac{\sum \text{Horas Trabalhadas em OS's reabertas}}{\sum \text{Total de horas trabalhadas no período}} * 100\% \quad (7)$$

O objetivo verificado através desse indicador é que a porcentagem se aproxime ou seja igual a 0%, ou seja, que o somatório de horas trabalhadas em OM's reabertas seja igual a 0 hora (VIANA, 2002).

2.3.2. Distribuição de atividades por tipo de manutenção

Para determinar qual a proporção de execução de um tipo de manutenção em relação aos outros, existem dois índices que se complementam: o índice de corretiva (IC) e o índice de preventiva (IP).

O IC auxilia a empresa na identificação do estado do planejamento e da organização das manutenções por meio da porcentagem de horas gastas com manutenções corretivas, representada na Equação 9

$$\text{Índice de Corretiva} = \frac{\sum HMC}{\sum HMC + \sum HMP} * 100\% \quad (8)$$

Sendo:

- HMC, horas de manutenção em corretiva

⁵ Confiabilidade, manutenibilidade e outros indicadores de manutenção também são considerados KPI's. Eles foram descritos anteriormente devido a necessidade de contextualizar o tema manutenção.

- HMP, horas de manutenção em preventiva

Analogamente, o IP é igual à porcentagem de horas gastas com manutenções preventivas. A Equação 10 é apresentada a seguir:

$$\text{Índice de Preventiva} = \frac{\Sigma HMP}{\Sigma HMP + \Sigma HMC} * 100\% \quad (9)$$

É importante ressaltar que um bom IC deve ser menor ou igual a 25% do total de horas de manutenção. Logo, um bom IP deve ser pelo menos igual a 75%. Um índice de corretiva maior que 50% significa que equipamentos são parados muitas vezes e que a gestão de reclamações toma o lugar da gestão da manutenção (VIANA, 2002).

2.3.3. Custo de manutenção por faturamento

O custo de manutenção é composto pelo custo de pessoal, materiais, contratação de serviços externos, depreciação e perda de faturamento, que são os custos da perda de produção e custos com desperdícios de matéria-prima (VIANA, 2002).

2.3.4. Custo de manutenção por valor de substituição estimado da planta ou ativos da instalação

Segundo Wireman (2005), este indicador vem se tornando padrão entre as empresas. Dado que os gastos na planta são fixos, é possível monitorar possíveis aumentos nos gastos com manutenção por área ou pelos equipamentos da empresa. Para isso, basta somar todos os custos de manutenção de uma determinada área da empresa durante um período de tempo e dividir pelo valor estimado da mesma área.

2.3.5. Custo de manutenção por unidade processada

O uso desse indicador é comum, mas não deve ser o principal indicador financeiro porque o volume de produção pode variar por questões externas ao departamento de manutenção, ou seja, se esse indicador apresentar um aumento de um mês para o outro, por exemplo, tanto o custo de manutenção pode ter aumentado quanto o volume de produção pode ter reduzido por outros motivos não referentes à manutenção (WIREMAN, 2005).

2.3.6. Custo de manutenção por valor de reposição (CPMV)

Esse indicador relaciona o custo total da manutenção de um equipamento com relação ao seu preço de compra. O CPMV como é conhecido é indicado, principalmente,

para equipamentos de alta criticidade, ou seja, equipamentos que apresentam fortes consequências nos gastos da empresa caso o mesmo falhe. A Equação 11 mostra como calcular o CPMV.

$$CPMV = \frac{\text{Custo total de manutenção}}{\text{Valor de compra do equipamento}} * 100\% \quad (10)$$

Um valor aceitável do CPMV deve ser abaixo de 6% no período de um ano a depender do retorno financeira e da justificativa do porquê a manutenção apresenta um custo alto (VIANA, 2002).

Essa primeira parte do referencial teórico é base para a seguinte, uma vez que é necessário abordar conceitos básicos sobre manutenção para tratar a seguir sobre os princípios da gestão da manutenção.

Além disso, o entendimento de que todas as empresas possuintes de maquinário devem escolher quais tipos de manutenção usarão em cada máquina é essencial para o presente estudo de caso. É importante saber o porquê da decisão dos engenheiros e técnicos de optarem por um tipo de manutenção em vez de outro. Para tal, os KPIs podem auxiliar na tomada de decisão sobre qual tipo de manutenção selecionar, no controle e monitoramento do trabalho do setor de manutenção.

No capítulo seguinte será apresentada a revisão bibliográfica acerca do processo de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), de modo a integrá-lo aos conceitos de gestão da manutenção.

3. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO (PCM)

O terceiro capítulo é dedicado à definição e estruturação dos processos de planejamento, programação e controle da manutenção. Ao final deste, pretende-se ter abordado a base teórica necessária para a presente pesquisa.

3.1. Definição

Segundo Lafraia (2001), planejamento é um exercício de previsão do comportamento das variáveis estratégicas, o qual baseia a geração de um plano para guiar as atividades dos funcionários e permite um maior conhecimento sobre a área de atuação específica de uma empresa.

De forma similar, o planejamento, para Filho (2020), é um processo que acarreta o estabelecimento de um conjunto coordenado de ações voltadas à consecução de objetivos. Segundo Kardec e Nascif (2019), o planejamento busca essencialmente manter e melhorar a eficácia, efetividade e eficiência do serviço em questão.

No contexto específico do serviço de manutenção, o planejamento basicamente almeja a execução das manutenções no melhor momento para a fábrica como um todo, ou seja, uma empresa que planeja a manutenção é capaz de otimizar recursos por meio do correto preparo e acompanhamento da manutenção (FILHO, 2006).

Já a programação da manutenção é um plano de trabalho que possui um período de tempo específico para ser cumprido. O conceito e a função programação pode se misturar com o planejamento da manutenção, isto é, em várias empresas o ato de planejar e programar são funções da mesma natureza, apesar de serem teoricamente distintas.

Uma das saídas de um plano de manutenção é o fornecimento de informações sobre o que precisa ser seguido pela área de manutenção para que objetivos específicos - como a redução do tempo de parada de um equipamento - sejam atingidos, enquanto um programa de manutenção apresenta, entre outros informes, um conjunto de atividades a serem realizadas em uma determinada sequência e data limite (FILHO, 2020).

Outro processo que possui conexão ao planejamento e à programação é o controle da manutenção. De forma geral e simplificada, segundo Slack et.al (2018), “atividades de controle fazem os ajustes que permitem que a operação atinja os objetivos estabelecidos no plano, mesmo quando as suposições em que o plano foi baseado não se confirmem”. Portanto, essa parte visa fiscalizar as atividades de manutenção, analisar os resultados da

execução dessas e corrigir um eventual desvio do que foi preestabelecido para os indicadores de manutenção utilizados (FILHO, 2020).

O conjunto coordenado das ações que englobam esses três conceitos abordados é chamado de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM). O termo “programação” pode ser inserido após “planejamento”, mas no presente trabalho o conceito será considerado o mesmo.

Então, o PCM intenciona preparar, programar e analisar os resultados das atividades de manutenção, comparando com os valores predeterminados e adotando medidas de correção para atingir os objetivos estratégicos da empresa (FILHO, 2020). Os fatores que pioram o desempenho da manutenção devem ser mitigados ou eliminados e os que afetam positivamente devem ser reforçados (FILHO, 2006).

É importante frisar que o departamento de manutenção deve dispor de seus próprios planejamentos e planos estratégicos, alinhados com os objetivos estratégicos da empresa e gerenciados com máxima eficiência e eficácia levando em consideração uma abordagem holística do sistema. A programação da manutenção, por sua vez, é um meio de garantir que os operadores, as peças e os materiais requeridos estarão disponíveis antes de programar uma determinada OM (DUFFUAA e RAOULF, 2015).

As informações para o planejamento e programação da manutenção (PPM) partem da carteira de serviços, da demanda de especialidades, dos materiais necessários e da priorização das ordens de serviço (VIANA, 2002).

No que se refere a carteira de serviços, existem quatro fontes possíveis: OM’s preventivas, que são geradas dos planos de manutenção do equipamento; OM’s derivadas das solicitações de serviço da operação; OM’s manuais, para atender corretivas, de emergência ou não; OM’s provenientes de inspeções de campo e/ou laudos preditivos. A carteira de serviços é de grande importância para o PCM, pois apenas o que estiver nessa será foco de mobilização para manutenção (VIANA, 2002).

A demanda de especialidades se refere à quantidade de homem hora (HH) prevista para cada OM, ou seja, os cargos específicos e o tempo necessário para a conclusão do serviço. De forma análoga, o planejador deve especificar os itens necessários para cada OM. Se uma ordem é originada de um plano, então a lista de materiais já estará descrita, mas para uma correção não programada há necessidade de compra ou requisição dos materiais necessários. É função do planejador executar a solicitação e *follow-up* de

compras, isto é, acompanhar as etapas de aquisição dos materiais. Se a empresa possuir um software *Enterprise Resource Planning*⁶(ERP), a troca de informações entre as áreas da empresa será mais fácil, ágil e confiável (VIANA, 2002).

Na priorização dos serviços cada ordem de manutenção recebe uma atribuição de prioridade no ato de cadastro da mesma. As prioridades possíveis são: prioridade 0, prioridade 1 e prioridade 2, sendo a primeira mais urgente e a última com prazo maior (VIANA, 2002).

Por fim, o controle da manutenção constitui a última fase do PCM, gerando um ciclo, isto é, a posse das informações de como são efetuadas as manutenções serve para comparar com o que foi planejado e, assim, auxiliar o futuro estabelecimento de metas factíveis (FILHO, 2006).

A estruturação de todo esse conjunto de ações voltadas à manutenção numa indústria é realizada por meio de ferramentas organizacionais, de técnicas de planejamento, do estudo do perfil formativo dos atuantes da área, de indicadores de desempenho e de um sistema de gerenciamento (VIANA, 2002).

3.2. Organização da manutenção

Segundo Viana (2002), as principais ferramentas de organização da manutenção são: tagueamento, codificação de equipamentos, definição do fluxograma de serviços e a ordem de manutenção (OM).

O tagueamento é um código que identifica a localização das áreas operacionais, dos sistemas e das posições dos equipamentos dentro do sistema, ou seja, é basicamente um mapeamento da fábrica. Ele é mais utilizado em empresas de médio e grande porte com o objetivo de agilizar o planejamento e programação da manutenção, além de fornecer informações estratificadas, como o número de quebras, disponibilidade, custos, entre outros (VIANA, 2002).

A codificação de equipamentos possui o objetivo de individualizar cada equipamento para receber a manutenção. O tagueamento é como um endereço e a codificação de equipamentos é como um Cadastro de Pessoa Física (CPF), por analogia

⁶ Enterprise Resource Planning (ERP), ou sistema de gestão integrado é uma tecnologia que auxilia o gestor de uma empresa na melhoria dos processos e na integração das atividades de diferentes setores. Um software ERP agrega e distribui as principais informações de cada atividade da empresa entre os módulos do mesmo, como o financeiro, faturamento, compras, estoque, gerenciamento de projetos, etc (TOTVS, 2019).

(VIANA, 2002). Os códigos devem ser únicos para cada equipamento para que os planejadores mantenham registros individuais, como os históricos de manutenção das máquinas e tempo de vida útil, para cada peça do equipamento. Além da individualidade dos códigos, é importante não colocar muita informação no mesmo. Geralmente, é suficiente inserir o *tag* da planta com o número da unidade, grupo e sistema do equipamento, seguido do código único desse (PALMER, 2006).

O fluxo de serviços de manutenção é a ferramenta mais valiosa para a melhoria da eficácia da manutenção e da produtividade (PALMER, 2006). A definição desse fluxo é feita após o *tag* e tem a finalidade de estabelecer regras para direcionar os serviços do plano de manutenção, das inspeções no local, das demandas – Solicitações de Serviço (SS) – da área de operação e das manutenções corretivas (VIANA, 2002). Essas quatro modalidades (caminhos) que poderão gerar uma OM estão representadas na Figura 2.

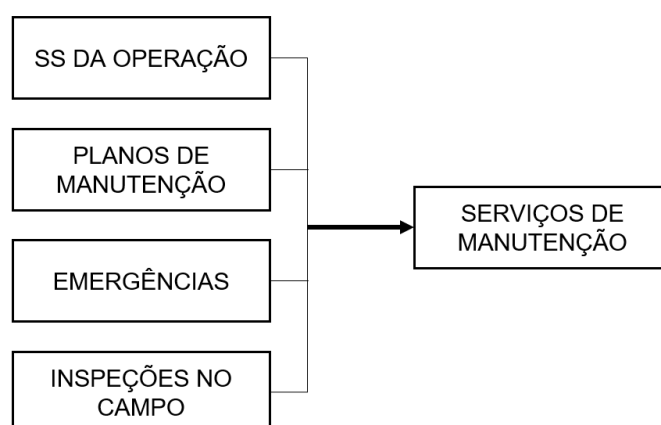


Figura 2 - Origens dos serviços de manutenção.
Fonte: VIANA, 2002.

Finalmente, a Ordem de Manutenção (OM) é um documento que define as instruções de um trabalho a ser executado pela manutenção. Ela é a autorização dos serviços de manutenção que pode ser feita de forma manual, automática ou via SS. Uma OM possui um ciclo, que parte da abertura até o encerramento, de cinco fases ou estados, são elas: (i) não iniciada, (ii) programada, (iii) iniciada, (iv) suspensa e (v) encerrada. Uma OM deve possuir um cabeçalho, com número da OM, TAG, equipamento, centro de custo, tipo de manutenção, equipe responsável e data de manutenção, descrição das tarefas e histórico (VIANA, 2002).

3.3. Funcionários atuantes na manutenção

Para que a área de manutenção atinja seus objetivos, é necessária a atuação conjunta de cinco áreas, formadas pelos executantes, planejador, supervisor de manutenção, engenharia de manutenção e o gerente de manutenção industrial (VIANA, 2002).

Os executantes são os técnicos mecânicos, eletricitas, técnicos eletrônicos e, principalmente, os próprios operadores das máquinas. São esses que realizam tarefas básicas de manutenção e encaminham as SS's para corrigir as falhas observadas. Nota-se, portanto, que a produção e a manutenção são funções correlacionadas e que precisam prosseguir juntas (VIANA, 2002).

O planejador se caracteriza pela convergência da função de planejador, programador e coordenador de materiais, ou seja, ele é responsável pela implementação das atividades que envolvem a preparação, programação e comparação dos resultados reais com os previstos, bem como a adoção de medidas de correção atreladas a esses resultados (FILHO, 2020).

Por outro lado, o supervisor de manutenção coordena a equipe de executantes e realiza tarefas diversas como o encaminhamento de questões técnicas e controle de custos e horas extras de seus subordinados (VIANA, 2002).

A engenharia de manutenção atua para aprimorar o processo de manutenção através de conhecimentos multidisciplinares da equipe. Os membros devem trabalhar em conjunto para sanar dificuldades encontradas no processo e nas máquinas, aumentar a manutenibilidade dos equipamentos, reduzir os riscos e o impacto sobre o meio ambiente (VIANA, 2002).

Por fim, o gerente de manutenção industrial é o responsável pelo sistema que engloba todas as outras áreas citadas. Ele deve liderar, conduzir e orientar a equipe de manutenção, estabelecer e quantificar metas e cobrar desempenho (FILHO, 2020).

3.4. Sistemas informatizados para o PCM

O PCM no Brasil era realizado de modo completamente manual até 1970. Em um período que se inicia nesse ano e vai até 1983, os softwares de gestão da manutenção se limitavam as grandes empresas que possuíam máquinas de grande porte. Com o desenvolvimento dos microcomputadores em face da alta tecnologia das máquinas e da complexidade dos processos nas empresas, houve um copioso aumento da comercialização de softwares que integram e automatizam vários processos, não se

limitando à manutenção (LAFRAIA, 2001). O volume de informações geradas ao longo das atividades do dia a dia dificulta sua análise e tratamento, tornando insuficiente o uso de simples planilhas eletrônicas e demandando o uso de um software ERP (VIANA, 2002).

Um software ERP, conforme comentado anteriormente, busca agilizar o processo de compra e acompanhamento de materiais através de um banco de dados unificado que alimenta todos os módulos contratados por uma empresa. Os funcionários operam e interagem mutuamente numa plataforma comum que consolida grande parte dos processos de um negócio (VIANA, 2002).

Por fim, um sistema informatizado de manutenção visa organizar e padronizar os procedimentos ligados aos serviços de manutenção, gerenciar a estratégia de manutenção, garantindo, assim, o planejamento automático das tarefas em forma de OM, controlar o estado dos equipamentos, entre outros (VIANA, 2002).

Numa empresa, o planejamento e controle da manutenção não é exclusivo do setor de manutenção, necessitando do envolvimento da produção e engenharia. Com o PCM, é possível identificar quando, onde, em que ordem e quais os itens necessários para realizar uma manutenção, além de controlar o que foi estabelecido nos objetivos, impedindo um desvio involuntário do que está contido no plano.

O presente capítulo buscou consolidar a base teórica para as próximas etapas do projeto.

O capítulo seguinte apresenta como o trabalho deverá prosseguir para alcançar os resultados desejados.

4. METODOLOGIA

O Capítulo 4 procura guiar o presente trabalho por meio da apresentação das etapas a serem seguidas. É definida a classificação, o método de pesquisa e os procedimentos do método de pesquisa a serem adotados.

4.1. Classificação e escolha do método de pesquisa

Pesquisa é toda atividade voltada para a solução de um problema. Ela permite a elaboração do conhecimento, que auxilia na compreensão e orientação de ações sobre o assunto pesquisado (PÁDUA, 2019).

Então, da mesma forma que o objetivo de uma empresa é transformar algo, através de materiais, equipamentos, energia, pessoas, informações e um método tecnológico, em produtos que agreguem valor para os clientes, o objetivo de um pesquisador é transformar, através de conhecimentos, recursos e um método de pesquisa, conhecimentos existentes em novos conhecimentos na forma de tese, dissertação, artigo e outros. Esses novos conhecimentos também devem gerar valor para o cliente, que seria, a princípio, a ciência e a faculdade (MIGUEL et al., 2012).

Segundo Miguel et al. (2012), a escolha da abordagem de pesquisa precede a escolha do método de pesquisa. Essa primeira escolha deve ser coerente com as características da pesquisa e com o perfil do pesquisador. Existem três tipos de abordagens: quantitativa, qualitativa e combinada. A primeira abordagem deve levar a uma pesquisa concreta e com possibilidade de teste empírico através de cinco elementos: objetivos, perguntas, justificativa, viabilidade e avaliação das deficiências. Já a segunda abordagem se interessa em se aprofundar nos fenômenos, explorados sob a perspectiva dos participantes. As formulações qualitativas são baseadas na experiência e intuição. A abordagem combinada representa um conjunto de processos sistemáticos, empíricos e críticos de pesquisa e contém a coleta e análise de dados quantitativos e qualitativos (SAMPIERI et al., 2010).

Para este projeto a abordagem será qualitativa, já que a ênfase será nas perspectivas subjetivas dos funcionários da empresa estudada. Essa característica é a principal que difere as abordagens quantitativa e qualitativa, segundo Miguel et al. (2012) e Sampieri et al. (2010). Porém, a realidade objetiva descrita neste projeto não parte apenas de uma fonte de evidência, mas dos pontos de vistas de vários indivíduos da empresa e do pesquisador, fundamentadas no referencial teórico (MIGUEL et al., 2012).

Dentro da abordagem qualitativa, existem dois métodos de pesquisa mais apropriados na engenharia de produção: estudo de caso e pesquisa-ação. Essa última requer um grande envolvimento do pesquisador com os funcionários da organização, além da participação na mudança organizacional por meio da pesquisa. O estudo de caso, por sua vez, exige um menor grau de envolvimento com os indivíduos da organização e a interação decorre de entrevistas, observações e acesso aos documentos da empresa (MIGUEL et al., 2012). Por isso, o método escolhido será o estudo de caso.

4.2. Procedimentos do método de pesquisa

O estudo de caso é baseado no procedimento descrito por Miguel et al. (2012), o qual aborda e detalha quatro passos, conforme mostrado na Figura 3.

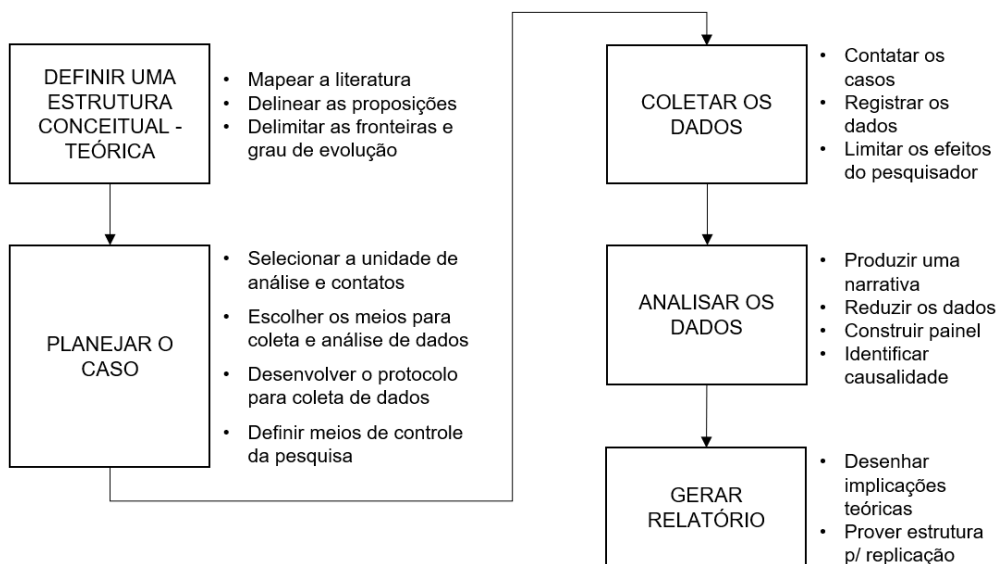


Figura 3 - Fluxograma de condução do estudo de caso.
Fonte: Adaptado de Miguel et al. (2012).

De acordo com a Figura 3, o primeiro passo consiste em definir uma base teórica, mapeando a literatura sobre o tema pesquisado (MIGUEL et al., 2012). Nesse projeto, foram consultados livros, artigos e trabalhos científicos. O conteúdo pesquisado foi analisado e utilizado para o desenvolvimento dos Capítulos 2 e 3, de modo a apresentar os principais temas a serem utilizados no estudo de caso.

No passo seguinte foi definido o tipo de caso a ser estudado, a unidade de análise, os contatos, os meios para coleta e análise de dados, o protocolo para coleta de dados e a definição dos meios de controle.

O estudo de caso foi realizado em uma empresa que constrói e gerencia usinas fotovoltaicas (UFV's), no setor responsável pela manutenção dos equipamentos relacionados à geração de energia solar em usinas fotovoltaicas.

A empresa conta com UFV's em cinco estados do Brasil e em Brasília, Distrito Federal. O estudo de caso foi realizado e uma UFV situada em Brasília.

O modelo de negócio simplificado da empresa, baseia-se no aluguel de lotes da usina para lojas, condomínios, entre outros. Inicialmente, feito um cálculo da média de consumo de energia e a parte equivalente gerada pela usina é destinada para esses clientes. Como as usinas são afastadas dos clientes, essa energia é injetada na rede da concessionária e compensada em sua conta de energia.

O estudo de caso foi realizado na empresa em que o autor atuou como estagiário no período de novembro de 2019 a janeiro de 2021.

Os profissionais que contribuíram com as informações para o estudo de caso foram: gerente da área de estruturação e processos, gerente da área de projetos e suprimentos e operador da área de execução, operação e manutenção. O Quadro 2 mostra a experiência da equipe envolvida na manutenção dos equipamentos da usina fotovoltaica, bem como o cargo de atuação.

Área	Cargo	Período de atividade	Atribuições do cargo
Estruturação e processos	Gerente	3 anos	Responsável pela abertura de um novo negócio, bem como a gestão dos processos que garantem o andamento e sucesso do negócio.
Projetos e suprimentos	Gerente	3 anos	Responsável pelo planejamento e acompanhamento de obras, elaboração de orçamentos, gestão de projetos e gestão de compras.
Execução, operação e manutenção	Operador	1 ano	Responsável pelo controle da execução das obras, segurança do trabalho, operação e manutenção do empreendimento.

Quadro 2 - Profissionais consultados para o estudo de caso
Fonte: O autor (2021).

O terceiro passo, segundo Miguel et al. (2012) se refere a coleta de dados. Inicialmente, foi realizado um contato com o executivo sênior a fim de autorizar e viabilizar a coleta dos dados. Após autorizado, os arquivos relacionados à área de manutenção foram compartilhados com o autor, bem como informações, importantes externas à área de manutenção. Além disso, ocorreram conversas informais e observações.

As informações coletadas foram transcritas para planilhas de Excel e documentos do Word com o objetivo de gerar análises por meio de gráficos e tabelas, de modo a facilitar a compreensão do fenômeno estudado.

5. ESTUDO DE CASO

O objetivo do estudo de caso é aplicar os principais conceitos do PCM no setor de manutenção de uma empresa de engenharia no ramo de construção e gerenciamento de usinas hidrelétricas e usinas solares.

5.1. Descrição da Usina Fotovoltaica

A empresa conta com usinas fotovoltaicas (UFV's) separadas fisicamente e eletricamente, que somam quase 12 MWp (Megawatt-pico) de potência de energia fotovoltaica. Além disso, cada usina possui sua respectiva subestação, correspondente a um conjunto de equipamentos responsáveis por dirigir o fluxo de energia entre o sistema fotovoltaico e as rotas predeterminadas.

Este trabalho abrange o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) de todos os equipamentos que fazem parte das usinas.

As usinas são completamente administradas pela empresa e isso inclui, entre outros processos, a abertura de consórcios, prospecção de terrenos, avaliação da viabilidade do negócio, planejamento da obra, aquisição dos equipamentos, elaboração do plano de marketing, captação do cliente final e execução dos relatórios de geração de energia. Tais processos foram mapeados e padronizados para todas as usinas.

A maior parte dos recursos necessários para o processo de construção são adquiridos mediante capital de investidores, os quais, após a inauguração e funcionamento da usina, recebem uma parcela correspondente do lucro. A parcela que a empresa recebe provém da construção e gestão da usina, além de possíveis investimentos realizados pelos próprios sócios da empresa.

As receitas da empresa e dos investidores partem dos estabelecimentos ou condomínios que alugam uma fração da usina de acordo com a necessidade energética média calculada. Essa modalidade é chamada de geração compartilhada e o aluguel é feito através da constituição de consórcio, isto é, a energia gerada pelas usinas brasilienses é injetada na distribuidora de energia do Distrito Federal, chamada de Companhia Energética de Brasília (CEB), e essa faz a compensação de crédito de energia gerada pela usina fotovoltaica.

A principal vantagem de um estabelecimento realizar esse aluguel está na redução do custo médio da conta de energia elétrica, já que não há cobrança adicionais das

bandeiras tarifárias amarela e vermelha. Outra vantagem para os clientes finais é o uso indireto de uma fonte de energia limpa e renovável sem a necessidade de investimentos.

No que diz respeito à estrutura básica de uma UFV, os principais equipamentos presentes, são: módulos fotovoltaicos, inversores, transformador e estruturas de fixação dos módulos.

A Tabela 1 apresenta os principais equipamentos, especificações técnicas e quantidades na usina fotovoltaica considerada no estudo de caso.

Equipamento	Especificação técnica	Quantidade
Inversores	50 kW	19
Módulos fotovoltaicos	330 Wp	3344
Transformador	1000 kVA	1
Estruturas de fixação	Fixa os módulos no solo	52

Tabela 1 - Informações sobre os equipamentos da usina fotovoltaica em estudo

Fonte: Equipe da empresa consultada no estudo de caso.

Em um sistema de energia solar *on-grid* ou conectado à rede, o processo se inicia com a captação e conversão da energia radiada pelo sol em energia elétrica por meio dos painéis ou módulos fotovoltaicos organizados em *strings*, isto é, sequências de módulos. Esses painéis são conectados a inversores, que transformam a corrente elétrica contínua em corrente elétrica alternada e transferem para uma subestação, a fim de que a tensão elétrica do sistema se torne compatível com a tensão da rede de distribuição (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

Existem dois equipamentos principais na subestação da UFV estudada neste projeto. O primeiro é o quadro geral de inversores (QGI), onde os circuitos que partem de cada inversor são seccionados. Portanto, são dezenove pequenos disjuntores dentro desse QGI e um disjuntor geral que integra todos esses. O segundo equipamento é o transformador, que realiza a conversão do nível de tensão trifásico, ou seja, 380 volts ou 380 V, para uma tensão de 13,8 quilovolts ou 13,8 kV, já que esta é a tensão do poste da CEB.

Após passar pelo transformador, essa corrente parte para a casa de medição, onde há um disjuntor de média tensão para proteger a instalação e nessa mesma casa ocorre a medição da concessionária de energia, registrando a produção por período de tempo. Finalmente, esse fluxo energético segue para as redes de alta tensão da CEB e a mesma é encarregada de distribuir para os comércios, residências e outros locais.

A Figura 4 mostra um desenho da distribuição espacial e localização dos principais equipamentos da UFV estudada. O inversor apresentado na figura é uma representação dos 19 inversores que existem na usina. Os retângulos que foram preenchidos em amarelo se referem aos equipamentos de maior porte da usina. Além destes, podem ser feitas manutenções nos condutores, ligações elétricas, abraçadeiras e outros itens que interconectam equipamentos.

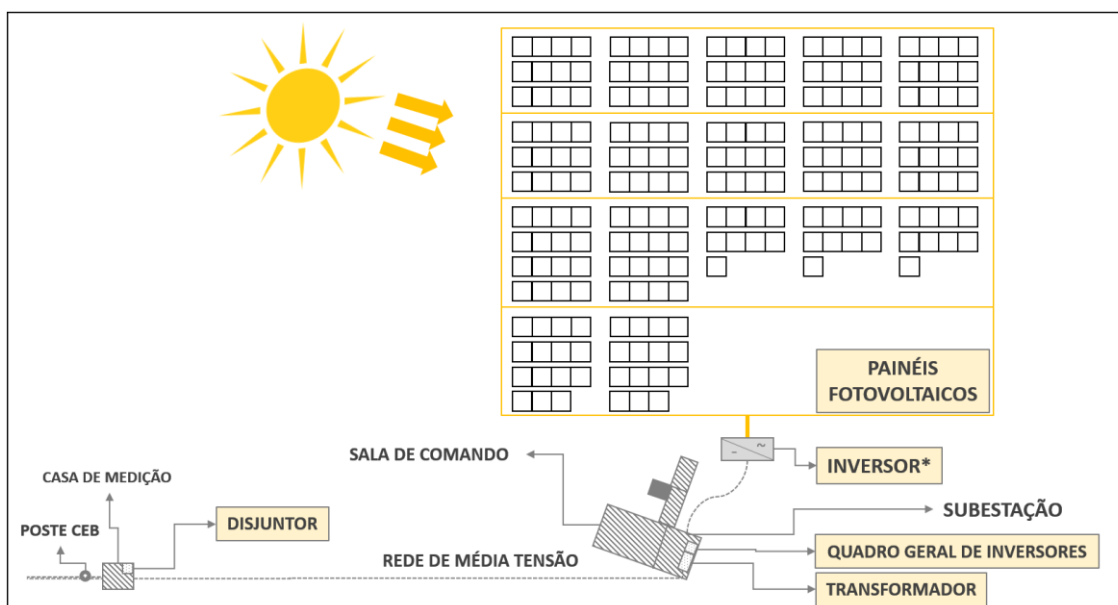


Figura 4 - Layout da UFV referente ao estudo de caso.
Fonte: O autor (2021).

5.2. Processo de manutenção na empresa

No início de 2020, a empresa contratou um engenheiro eletricista com a função de planejar, executar e monitorar atividades que julgar necessárias em relação ao setor de manutenção, além de fornecer outros auxílios à área técnica. Nesse período, após a contratação do engenheiro, a área denominada de “execução, operação e manutenção” era composta por 1 gerente, 3 engenheiros e a equipe de obra da empresa que também auxilia na manutenção das UFVs, conforme a necessidade.

A empresa dispõe de um sistema ERP, chamado Sienge, que é direcionado para empresas de construção, sendo cada vez mais usado pelos funcionários. Porém, esse software não possui o módulo de manutenção ou algo equivalente, inviabilizando o seu uso no que se refere às atividades de manutenção.

Quanto ao PCM, a empresa executa as atividades de planejamento e programação de forma parcial e o controle da manutenção não atende aos critérios básicos do PCM.

Na parte do planejamento da manutenção, em geral, os executantes sabem o que deve ser feito em cada atividade de manutenção baseado no próprio conhecimento, adquirido antes ou após a admissão na empresa. Além disso, a empresa possui um *checklist* com 1 procedimento de manutenção corretiva e 15 procedimentos de manutenção preventiva e recomendações para cada item do *checklist*. Portanto, existe um conjunto de informações gerais sobre o que precisa ser feito pelos funcionários do setor de manutenção, mas não se dispõe de objetivos específicos a serem atingidos.

A programação da manutenção preventiva é realizada com base em um cronograma registrado numa planilha eletrônica. Esse cronograma não tem passado por atualizações ou melhorias.

O controle das atividades de manutenção, contudo, é inexistente ou bastante precário. Como os resultados da execução das atividades de manutenção não são coletados e registrados, torna-se difícil o acompanhamento de indicadores relativos ao desempenho das atividades de manutenção e da provável correção de desvios.

Por sua vez, os relatórios de manutenção apresentam poucas informações. Essencialmente, eles descrevem o que foi realizado na manutenção, a data, as notificações/observações referentes a cada item do *checklist*, os materiais utilizados e os que precisam ser comprados para alcançar os estoques de segurança determinados. Faltam informações como a estimativa de tempo e o gasto real de tempo para cada atividade, uma priorização das atividades de manutenção e os detalhes de custo de pessoal. Tais informações são consideradas necessárias para o cálculo de indicadores de manutenção e a determinação do dimensionamento da equipe de manutenção.

Levando essas questões em conta, um dos funcionários tomou a iniciativa de desenvolver um esquema de controle de gastos e aprimoramento do cronograma de atividades de manutenção. Porém, o documento foi arquivado e constituiu apenas uma tentativa individual de melhoria. O argumento da equipe de manutenção foi de que não havia tempo hábil para a conclusão e implementação dessas iniciativas.

Em 2021, aconteceram algumas mudanças em relação ao ano anterior. O funcionário que se dispôs a desenvolver essas melhorias foi realocado para trabalhar em usinas de Minas Gerais e a empresa como um todo sofreu drástica redução no número de funcionários. A prioridade era a conclusão das obras que começaram em 2020.

O funcionário que realiza as manutenções, qualquer que seja, possui atividades paralelas frequentemente consideradas mais urgentes do que as atividades de manutenção para serem executadas. Diante disso, apenas manutenções corretivas estão sendo realizadas e o diretor executivo possivelmente optará por terceirizar algumas manutenções básicas, como a poda da grama e a limpeza dos módulos fotovoltaicos.

É importante salientar que o tagging e a codificação dos equipamentos não é realizado. Embora o número de equipamentos necessários para o funcionamento de uma usina solar não seja grande, pode haver benefício com o uso dessas práticas, principalmente a codificação, já que facilita a identificação e acompanhamento do *status* de cada equipamento.

5.3. Estrutura proposta de PCM para a empresa

A partir da análise da empresa e do seu processo de manutenção à luz do embasamento teórico dos Capítulos 2 e 3, propõe-se uma estrutura contendo as principais etapas do PCM, de acordo com às necessidades da empresa. Tal estrutura é composta por 8 etapas que constituem um ciclo, de forma a garantir a melhoria contínua da gestão da manutenção na empresa. A Figura 5 apresenta uma representação visual das etapas que formam a estrutura de PCM.

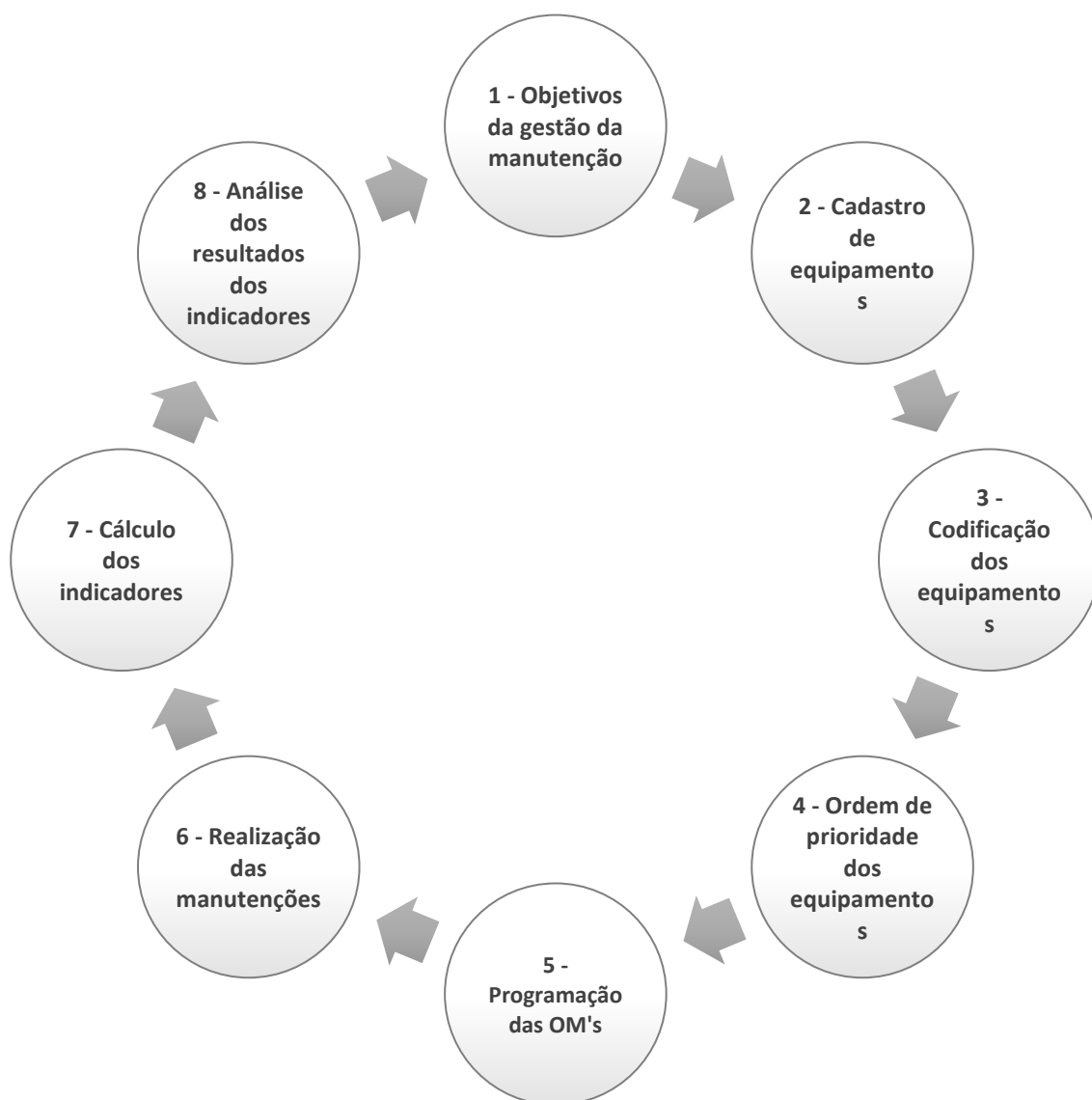


Figura 5 - Etapas do modelo proposto de PCM.
 Fonte: O autor (2021).

A etapa inicial corresponde à definição dos objetivos da gestão da manutenção. Ela foi introduzida devido a necessidade de uma definição da visão geral e características do setor da manutenção. Para compor essa etapa, sugere-se a definição das seguintes atividades:

- Definição da equipe atuante no setor, suas competências e responsabilidades necessárias;
- Identificação dos objetivos do setor de manutenção, com base na definição de indicadores de desempenho, como o índice de retrabalho, distribuição de atividades por tipo de manutenção, tempo médio entre falhas (TMEF), tempo

médio para reparo (TMPR), custo de manutenção, disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade;

- Definição do tipo de manutenção ideal para cada equipamento/item da empresa. É importante que seja feito um trabalho gradativo para introduzir a manutenção preditiva, a fim de identificar falhas potenciais com antecedência. Além disso, recomenda-se analisar os equipamentos a fim de considerar o uso de sistemas redundantes naqueles que apresentarem menor confiabilidade ainda que se realize o tipo ideal de manutenção.
- Definição de ações e situações as quais devem ser evitadas pelos funcionários do setor, como não seguir instruções contidas no *checklist* de manutenção, já que existem riscos de acidente de trabalho por descargas elétricas e a falta de comunicação entre o programador da manutenção e o setor financeiro, caso tenha necessidade da compra de materiais.

As atividades desta etapa precisam estar visíveis para os funcionários referentes na forma de observações na planilha eletrônica, por exemplo.

A próxima etapa é referente ao cadastro detalhado dos equipamentos da usina. Deve-se fazer um levantamento detalhado dos equipamentos existentes e formar um banco de dados para que, quando o programa de manutenção for colocado em funcionamento seja possível relacionar as tarefas a serem executadas com os equipamentos a serem mantidos e com as periodicidades necessárias (FILHO, 2008). Recomenda-se, para essa e para as seguintes etapas, o uso de uma planilha eletrônica unificada, que contenha as informações necessárias para o Planejamento e Controle da Manutenção.

Esse cadastro deverá reunir diversas informações sobre os equipamentos, tais como: planta, dados de construção, códigos de manuais, catálogos, desenhos, data de aquisição, preço e fabricante, dados de operação, detalhes de armazenagem, tensão de alimentação, entre outros (GIL, 2008). Essas informações serão requisitadas nas etapas posteriores.

A terceira etapa é a codificação dos equipamentos da usina. A finalidade é basicamente facilitar a localização por meio da atribuição de um código individual para cada equipamento. Também, pode ser necessária a codificação das peças e componentes.

Sugere-se que os códigos sejam alfanuméricos porque são os mais fáceis de correlacionar com o nome do equipamento ou peças. Os códigos de equipamentos teriam dois campos e os códigos das peças, três para serem diferenciados. A título de exemplo, o código do inversor dos módulos fotovoltaicos situados no canto superior esquerdo da planta da usina seria, por exemplo, “IN-01”, e o inversor abaixo desse seria “IN-02”. A parte alfabética “IN” tem referência à palavra “inversor”.

A quarta etapa visa priorizar os equipamentos segundo à urgência no serviço de manutenção. Propõe-se uma classificação da urgência de cada equipamento numa escala de 0 a 2, onde “0” representa os equipamentos mais prioritários e “2” os menos prioritários. A urgência para a realização da atividade de manutenção se baseia em atributos inerentes de cada equipamento, como a manutenibilidade, o impacto que uma possível falha pode causar na captação, transformação e transmissão de energia, custo do equipamento e outras características.

A etapa de número cinco é a programação das ordens de manutenção (OM). Dentro dessa, sugere-se a inserção de uma aba na planilha eletrônica unificada referente às informações gerais das ordens de manutenções programadas e a elaboração de documentos individuais para cada OM apresentada naquela aba. A intenção do primeiro item, isto é, a aba com informações sobre as ordens de manutenções corretivas programadas e preventivas, é apresentar um cronograma contendo a data da solicitação de serviço, a data prevista da manutenção, a data real da manutenção e a situação das atividades de manutenção, sendo elas: não iniciada, programada, iniciada, suspensa e encerrada. O segundo item dessa etapa consiste em gerar documentos, com estrutura padronizada, de cada OM contida nessa aba. Esse documento compreende um cabeçalho, a ser preenchido pelo solicitante, contendo o número da OM, código do equipamento em questão, tipo de manutenção, descrição das atividades, prioridade, materiais e responsáveis previstos para as atividades de manutenção.

A próxima etapa diz respeito a execução da atividade manutenção em si. Caso a manutenção tenha sido programada, recomenda-se que o tempo de início e término, os custos reais de materiais e mão de obra e a assinatura do responsável sejam adicionados e preenchidos, durante ou após a manutenção, no documento citado anteriormente. Porém, se a manutenção for solicitada após inspeções em campo ou panes nos equipamentos, ou seja, caso a manutenção seja corretiva não programada, sugere-se a

elaboração de outro formato de OM, contendo lacunas relacionadas ao tempo de parada e a causa e solução do problema encontrado.

Para a realização futura da manutenção preditiva, recomenda-se a coleta complementar de dados relacionados a parâmetros suscetíveis de monitoramento, como a temperatura de equipamentos cujos fusíveis estão queimando de forma frequente ou ruído de um equipamento, que pode indicar falta de lubrificação ou folgas entre peças.

O preenchimento desses dados é primordial para que a sétima etapa, isto é, o cálculo dos indicadores de manutenção definidos na primeira etapa, seja possível. Os indicadores recomendados são aqueles mostrados na primeira etapa, ou seja, o índice de retrabalho, distribuição de atividades por tipo de manutenção, tempo médio entre falhas (TMEF), tempo médio para reparo (TMPR), custo de manutenção, disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade.

A sugestão é que inicialmente sejam considerados poucos indicadores, como o TMEF, TMPR e custo de manutenção, já que podem ser baseados em parâmetros derivados do fabricante ou outra fonte confiável. À medida que esse ciclo se repetir, mais indicadores devem ser adicionados, possibilitando a comparação de vários valores previstos com os valores reais desses.

O intuito é que esse cálculo seja feito na planilha citada anteriormente de forma automática, após a introdução adequada das equações dos indicadores.

Dessa forma, será possível acompanhar e visualizar o resultado dos indicadores de desempenho, conforme o andamento das atividades de manutenção.

A última etapa desse modelo é a análise dos resultados dos indicadores de manutenção. Os resultados insatisfatórios devem originar um plano de ação para a correção de desvios. As premissas contidas nesse plano precisam aparecer na primeira etapa e isso caracteriza esse modelo como um ciclo, um processo, em vez de vários projetos individuais.

Uma vez que o PCM é pouco realizado na empresa, as execuções iniciais das 8 etapas propostas tendem a demandar mudanças nas rotinas da equipe de manutenção. Essas novas rotinas tendem a ser simples e não devem gerar atrasos no andamento das atividades de manutenção. É fundamental que aconteçam *feedbacks* ao final de cada iteração, de forma a auxiliar a identificação de oportunidades para melhorias ou readequações nesse processo.

Por fim, a estrutura de etapas para o PCM proposta foi analisada pelo atual responsável da manutenção na empresa que visualizou potencial impacto positivo deste projeto para esse setor e a empresa.

Algumas sugestões de abas da estrutura proposta de PCM para a empresa, desenvolvidas no software Excel, se encontram nos Apêndices deste trabalho.

6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

A função manutenção já foi vista como um serviço de reparo de equipamentos após sua falha, porém, tem sido cada vez mais estudada e aprimorada nas empresas. O aumento da importância da gestão da manutenção, principalmente após a década de 1970, ocorreu porque a eficácia desse setor reduz o custo geral da empresa, já que a estrutura de produção estará disponível quando necessária. Mesmo assim, após a garantia de disponibilidade dos equipamentos, a eficiência da manutenção deve ser considerada. Uma estratégia para assegurar isso se resume em planejar, programar e controlar a manutenção (PALMER, 2006).

A aplicação das técnicas de PCM numa empresa oferece a integração e coordenação das atividades relativas à manutenção. Em empresas de menor porte que possuem poucos equipamentos, como a estudada neste trabalho, um funcionário pode exercer diferentes funções, quer dizer, a função de planejador, programador e gerente de manutenção. Ainda assim, esse funcionário e a empresa podem aplicar o PCM e garantir o suporte à manutenção.

O objetivo deste projeto consistiu em propor uma estrutura de PCM para os equipamentos de uma usina fotovoltaica. Para tal, realizou-se a pesquisa bibliográfica necessária para embasar o estudo de caso e a identificação dos principais elementos do PCM. Após isso, as informações sobre o processo de manutenção da empresa foram coletadas e analisadas e, finalmente, propôs-se sugestões de mudanças e melhorias no processo de manutenção da empresa baseado no PCM. Excluiu-se deste projeto o estudo de quaisquer equipamentos externos à planta da UFV, bem como a estrutura de dispositivos da CEB.

Primordialmente, sugere-se para os trabalhos futuros que aconteça a aplicação dessa estrutura de PCM no setor concernente da empresa. Atualmente, a empresa passa por uma reestruturação e são poucos os projetos para 2021. Portanto, seria inviável implementar essa estrutura nesse momento, no qual o número de funcionários é muito inferior em relação ao ano anterior. Esse foi um dos motivos pelo qual não houve o desenvolvimento da última etapa sugerida do fluxograma de Miguel et al. (2012), bem como a situação atual provocada pela pandemia.

A estrutura proposta pode garantir a melhoria contínua do processo de PCM na empresa e na própria planilha eletrônica unificada. Porém, outra recomendação para

trabalhos futuros é que seja desenvolvida uma vinculação entre o software de Business Intelligence (BI) da Microsoft, chamado Power BI, e o software ERP utilizado pela empresa, já que o mesmo não possui um módulo que atenda às necessidades da estrutura de PCM. Aquele software oferece um suporte visual para a tomada de decisões por meio de informações organizadas e selecionadas de um banco de dados. Essa conexão poderia ser feita por meio de plataformas de Interface de Programação de Aplicativos ou *Application Programming Interface* (API), nas quais os códigos originais do ERP são utilizados para a programação de outros, adaptando e personalizando essa relação entre softwares conforme as necessidades impostas pelo PCM da empresa.

No início de 2021 houve a tentativa de usar um API para gerar esse vínculo, mas foi descontinuada devido ao desligamento dos funcionários referentes. Foi visto que o software ERP Sienge oferece suporte para o desenvolvimento de vínculos através de API's.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos. **A Situação da Manutenção no Brasil**. Bahia, 2013. Disponível em: <e>. Acesso em: 28/10/2020

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5462** - versão revisada, 1994.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Manutenção mecânica industrial: Conceitos básicos e tecnologia aplicada**. 1. ed. [S. l.]: Editora Érica, 2014. ISBN 9788536511825.

Association for Supply Chain Management (APICS). **APICS Dictionary**. Chicago, 2016. Disponível em: <<http://www.apics.org/apics-for-individuals/apics-magazine-home/resources/ombok/apics-ombok-framework-table-of-contents/apics-ombok-framework-5.5>>. Acesso em: 14/10/2020.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. DA. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem**. São Paulo: Manole, 2008.

BSI – British Standard Institution. **Maintenance – Maintenance terminology**. 2018. ISBN 9780580903700

CRESWELL, John W.; CLARK, Vicki L. Plano. **Designing and conducting mixed methods research**. 3. ed. [S. l.]: SAGE publications, 2018. ISBN 9781483344379.

DUFFUAA, Salih O.; RAOUF, A. **Planning and Control of Maintenance Systems: Modelling and analysis**. 2. ed. [S. l.]: Springer, 2015. ISBN 978-3-319-19803-3.

FILHO, Gil Branco. **Indicadores e índices de manutenção**. 1. ed. [S. l.]: Ciência Moderna, 2006. ISBN 8573934913.

FILHO, Gil Branco. **Organização, o planejamento e o controle da manutenção**. 1. ed. [S. l.]: Ciência Moderna, 2008. ISBN 8573936800.

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca Parreira da; SILVEIRA, Aline Moraes. **Manutenção Industrial**. [S. l.]: SAGAH, 2018. ISBN 9788595026971.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Indústria Anual-Empresa**, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1847>. Acesso em: 10 maio 2021.

JORDÁN, Paúl Rodriguez. **Processos de confiabilidade na indústria de óleo e gás**. 1. ed. [S. l.]: Editora Interciência, 2017. ISBN 9788571933934.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 3. ed. rev. e aum. [S. l.]: Qualitymark Editora, 2009.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. 3. ed. [S. l.]: Qualitymark Editora, 2001. ISBN 978-8573037920.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. [S. l.]: Elsevier, 2012. ISBN 978-85-352-4850-0.

MONCHY, François. **A Função Manutenção: Formação para a gerência da Manutenção Industrial**. 1987.

MOUBRAY, John. **Reliability - centred maintenance**. 2. ed. [S. l.: s. n.], 1997. ISBN 0750633581.

NEPOMUCENO, L.X. **Técnicas de manutenção preditiva**. 1. ed. [S. l.]: Editora Blucher, 1989. v. 1. ISBN 9788521217466.

NETO, Alexandre Shigunov; SCARPIM, João Augusto. **Terceirização em serviços de manutenção industrial**. 1. ed. [S. l.]: Editora Interciência, 2013. ISBN 9788571933255.

PALMER, Richard D. **Maintenance planning and scheduling handbook**. 2. ed. atual. [S. l.]: McGraw-Hill, 2006.

PRECUP, Radu-Emil; KAMAL, Tariq; HASSAN, Syed Zulqadar. **Solar photovoltaic power plants: Advanced control and optimization techniques**. [S. l.]: Springer, 2019. ISBN 978-981-13-6151-7

ROSENFELD, Henrique; FORCELLINI, Fernando Antônio; AMARAL, Daniel Capaldo; TOLEDO, José Carlos; SILVA, Sergio Luis da; ALLIPRANDINI, Dário Henrique; SCALINE, Régis Kovacs. **Gestão de desenvolvimento de produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. [S. l.]: Saraiva, 2006. ISBN 978-85-02-05446-2.

SAMPIERI, Roberto Hernández; CALLADO, Carlos Fernández; LUCIO, María del Pilar Baptista. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. [S. l.]: MacGraw-Hill, 2010. ISBN 9786071502919

SELEME, Robson. **Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento**. 1. ed. [S. l.]: Editora Intersaberes, 2015.

STEVENSON, Angus (Ed.). **Oxford dictionary of English**. Oxford University Press, USA, 2010.

TOTVS. **O que é ERP?** [S. l.], 23 jul. 2019. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/erp/o-que-e-erp/>. Acesso em: 10 maio 2021.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **Planejamento e Controle da Manutenção**. 1. ed. atual. [S. l.]: Qualitymark Editora, 2006. ISBN 8573033703. Disponível em: < <https://drb-m.org/Livro%20PMI%20-%20Herbert%20Viana.pdf> >. Acesso em: 24/09/2020.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. [S. l.]: Editora Érica, 2012. ISBN 9788536509785.

WIREMAN, Terry. **Developing Performance Indicators for Managing Maintenance**. New York: Industrial Press, Inc., 2005. ISBN 0831131845.

XENOS, Harilaus G. **Gerenciando a manutenção produtiva: Melhores práticas para eliminar falhas nos equipamentos e maximizar a produtividade**. [S. l.]: Falconi Editora, 2014.

APÊNDICES



Figura 6 - Sugestão para a aba "Menu".
Fonte: O autor (2021)

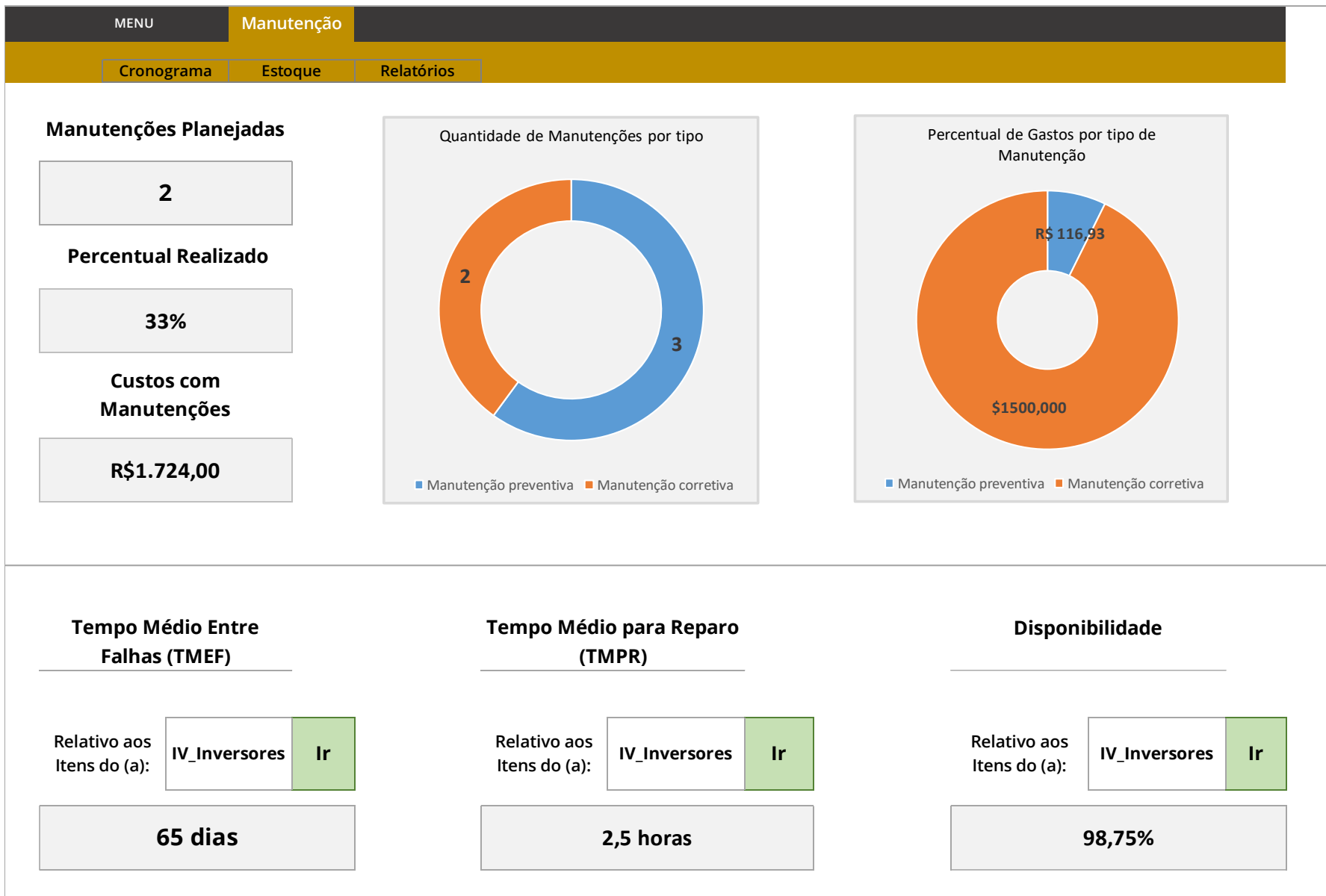


Figura 7 - Sugestão para a aba "Indicadores de manutenção"
 Fonte: O autor (2021)

MENU		Manutenção	Relatório Fotográfico																			
Cronograma		Estoque	Relatórios																			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>Data limite das manutenções preventivas</p> <p>Jan fev Mar Abr Mai Jun Jul Ag Set Out Nov Dez</p> </div>																						
MANUTENÇÃO PREVENTIVA																						
Nº	Data	Número do Checklist	Descrição Geral do Serviço	Gravidade Urgência Tendência Total				Priorizaçã o	Data Limite	Responsável	Data de Realização	Descrição da Coleta de Dados	Valor Esperado	Aferido	Resultado	Cargos	Qtd	Tempo Gasto (hr)	Homem Hora	Materiais Uso e Descarte	Qtd	Custo Unitário
				GUT																		
1p	10/05/21	III_Conferência_de_Co ndutores_e_Ligações_ Elétricas_dos_Módulos	Verificar se os conectores MC4 estão firmes;	3	2	3	18	3	15/08/21			-	-	OK	Pedreiro	0	6	R\$ 11,36	Facão	1	R\$30,00	
														Atenção	Mestre de Obras	1	1	R\$ 25,57	Enxada	1	R\$50,00	
																		R\$ 0,00			R\$ -	
																		R\$ 0,00			R\$ -	
2p	10/05/21	V_Quadro_Geral_de_Inversores	Verificar se algum medidor se encontra desligado; OBS: Verificar a altura da grama perto dos módulos.	4	3	3	36	2	17/07/21													
3p	10/05/21	XV_Manutenção_Predial_Casa_de_Medicação	Verificar o visor da caixa P4 OBS: Realizar a medição mensal do consumo de água	5	4	5	100	1	15/05/21		22/10/2020	Vazão em m3/h	10 m3/h	20m3/h	Atenção	Eng. Elé	2	2	R\$ 50,00			
												Valor da conta	R\$ 600	R\$ 1.200	Atenção	Eletricista	1	3	R\$ 12,00	Visor P4	1	R\$52,00
4p																						

Figura 8 - Sugestão para a aba "Manutenção preventiva"
Fonte: O autor (2021)

MENU		Manutenção													
Cronograma		Estoque			Relatórios										
MANUTENÇÃO CORRETIVA															
Nº	Data	Número do Checklist	Item do Checklist	Nível de Gravidade	Descrição do Problema	Proposta de Solução	Data Limite	Responsável	Status de Realização	Solução Executada	Cargo	Qtd	Tempo Gasto (hr)	Custo com material	Custo da Manutenção
1c	12/04/21	V_Quadro_Geral_de_Inversores	A) Verificar se algum multimetro se encontra desligado. Se estiver desligado, verificar se o desarme ocorreu no	0 - Insignificante	O comando da bomba da cisterna utilizado no checklist da limpeza de módulos atualmente é acionado num quadro que está com um interruptor, onde deveria ser instalada uma botoeira liga/desliga.	Sugere-se a troca do interruptor pela botoeira. Procedimento postergado p/ o mês de agosto/19, conforme disponibilidade da Origem Energia.	15/04/21		Pronto	Troca de fusíveis	Engenheiro	1	3	R\$ 350,00	R\$ 1.500,00
											Eletricista	1	3		
3c	18/04/21	IV_Inversores	F) Verificar a continuidade das ligações das massas metálicas à terra (ligações elétricas);	3 - Média Gravidade	Durante a manutenção de outubro/2019, percebeu-se infestação da flor-de-mel dentro da área gramada da usina.	Sugere-se a retirada deste material pela raiz e contratação de um roçado externo, p/ aumentar a distância da plantação até a usina.	20/05/21		Planejado						
4c															

Figura 9 - Sugestão para a aba "Manutenção corretiva"

Fonte: O autor (2021)