



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CIBELE KRISSIA DE MENEZES SANTOS

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE PARA  
ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO: estudo na indústria alimentícia**

Caruaru

2022

CIBELE KRISSIA DE MENEZES SANTOS

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE PARA  
ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO: estudo na indústria alimentícia**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

**Área de concentração:** Pesquisa Operacional.

**Orientador:** Prof. Dr. Thalles Vitelli Garcez.

Caruaru

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
Através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Menezes Santos , Cibele Krissia de.

APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE  
PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO: estudo na indústria  
alimentícia / Cibele Krissia de Menezes Santos . - Caruaru, 2022.

64 : il., tab.

Orientador(a): Thalles Vitelli Garcez

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Engenharia de Produção, 2022.

Inclui referências, anexos.

1. Confiabilidade . 2. FMEA . 3. MCC (Manutenção Centrada na  
Confiabilidade) . 4. Indústria de Alimentos . 5. Plano de Manutenção. I. Vitelli  
Garcez , Thalles . (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

CIBELE KRISSIA DE MENEZES SANTOS

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE PARA  
ELABORAÇÃO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO: estudo na indústria alimentícia**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 25/10/2022.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Thalles Vitelli Garcez (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>º</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Thárcylla Rebecca Negreiros Clemente (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Lucimário Gois (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

*Dedico esse trabalho aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por permitir o encerramento deste ciclo. E, por ter me dado forças para prosseguir e ter colocado pessoas maravilhosas nesta caminhada.

Não posso deixar de dedicar este trabalho aos meus pais. Em primeiro lugar, a minha mãe Eliana Fabiana, que é um exemplo de mulher pela sua dedicação, alegria e força que foram dedicadas a mim durante este tempo. Ao meu pai José Gilson, pela sua força e coragem de lutar e me apoiar nos meus sonhos. E aos familiares que acreditaram em mim, em especial, minha Tia avó Lia Moura.

Também quero dedicar este trabalho as minhas avós Maria Helena (*in memoriam*) e Maria Severina (*in memoriam*). Que não chegaram a ver o início desta jornada, mas que torciam por mim e pelos meus sonhos. E, ao meu avô José Teodoro (*in memoriam*), que partiu durante esta caminhada e só tenho à agradecer pelos ensinamentos, que mesmos breves, seguem comigo.

Agradeço ao AP103, onde compartilhei momentos únicos com duas pessoas incríveis que torcem por mim constantemente, e que estão sempre ao meu lado, obrigada Tulio e Rita, vocês são minha família.

Aos meus amigos Rayra, Maysa, Hercilia, Jefferson, Heglatini, Raiane, Camila, Lucas, Igor, Jhonatam, Vinicius e Augusto que tornaram essa jornada mais leve e engraçada. Contribuindo assim, para o meu crescimento pessoal e profissional. Queridos, comigo tenho a certeza, de que levo de vocês a leveza e o carinho de um amigo.

Ao meu namorado, Quiron Pinheiro, que chegou na reta final desta caminhada, mas me deu forças nos momentos mais difíceis e me incentivou até a conclusão deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos, ao professor Thalles Garcez, pela orientação, comprometimento e paciência. E, a todos os profissionais da UFPE-CAA, pelos conhecimentos transmitidos e por todo desenvolvimento profissional.

Por fim, aos meus colegas de trabalho, em especial ao meu amigo Adriano Fernandes, obrigada pelos seus ensinamentos de manutenção, conselhos e boas risadas.

## RESUMO

A manutenção industrial tornou-se um importante campo de conhecimento da Engenharia de Produção, uma vez que, ela é responsável pelos equipamentos mecânicos, elétricos e eletrônicos, no processo de produção. O presente trabalho aborda a discussão de um estudo de caso voltado para a indústria de biscoitos, utilizando a metodologia MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade). A empresa onde o estudo foi realizado é de médio porte, líder de vendas em biscoitos recheados e amanteigados na região Nordeste. O objetivo geral deste trabalho é a criação de um plano de manutenção em uma sanduicheira, no qual apresentará a periodicidade e descrição das atividades e a localização da manutenção. A forma de desenvolvimento do trabalho foi pautada na metodologia MCC, abrangendo as suas ferramentas quantitativas e qualitativas, como: Confiabilidade e FMEA. Foi utilizado uma ordem cronológica, buscando o maior controle das ações realizadas, cuja métrica foi constituída especialmente para o problema em questão, baseado na seguinte ordem: coleta de dados, avaliação dos itens críticos e elaboração do plano de manutenção. Quanto aos resultados, o projeto desenvolvido trouxe novas perspectivas de manutenção a empresa, que, por meio das análises realizadas resolveu adotar a metodologia de MCC e o plano de manutenção sugerido neste trabalho.

Palavras-chaves: Plano de Manutenção; Confiabilidade; FMEA; Industria de Alimentos; MCC.

## **ABSTRACT**

Industrial maintenance has become an important field of production engineering knowledge since it is responsible for the mechanical, electrical and electronic equipment in the production process. The present work addresses the discussion of case study focused on the biscuit industry, using the RCM (Reliability Centered Maintenance) methodology. The company where the study was carried out is a medium-sized company, leader in sales of stuffed and butter cookies in the Northeast region. The general objective of this work is the creation of a maintenance plan a sandwich maker, in which it will present the periodicity and description of the activities and the location of the maintenance. The way of developing the work was based on the RCM methodology, covering its quantitative and qualitative tools, such as: Reliability and FMEA. A chronological order was used, seeking greater control of the actions carried out, whose metrics were constituted especially for the problem in question based on the following order data collection evaluation of critical items and preparation of the maintenance plan. As for the results, the project developed brought new perspectives of maintenance to the company, which, through the analysis of carried out, decided to adopt the RCM methodology and the maintenance plan suggested in this work.

**Keywords:** Maintenance Plan; Reliability; FMEA; Food Industry; MCC.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Evolução da Manutenção .....                                      | 17 |
| Figura 2 - Tipos de Manutenção .....   | 19 |
| Figura 3 - Classificação de Falhas .....                                     | 23 |
| Figura 4 - Curva da Banheira .....   | 25 |
| Figura 5 - Intervalo P-F.....  | 32 |
| Figura 6 - Tipos de Taxa de Falha .....                                      | 33 |
| Figura 7 - Comparação da Metodologia do MCC .....                            | 35 |
| Figura 8-Planilha de Funções e Falhas Funcionais.....                        | 36 |
| Figura 9 - Planilha de Análise dos Modos de Falha e Efeitos.....             | 37 |
| Figura 10 - Diagrama de Decisão do MCC .....                                 | 38 |
| Figura 11 - Planilha de Decisão do RCM .....                                 | 39 |
| Figura 12 - Componentes do RPN.....  | 40 |
| Figura 13 - Fluxograma da Estratégia de Criação do Plano de Manutenção ..... | 42 |
| Figura 14 - Análise de Paradas por Linha .....                               | 45 |
| Figura 15 - Fluxograma do Processo de Produção da Linha 02.....              | 45 |
| Figura 16 - Análise de Falhas por Equipamento da Linha 02 .....              | 47 |
| Figura 17 - Fluxograma do Processo dos Sistemas da Sanduicheira.....         | 47 |
| Figura 18 - Probabilidade de Falha em Função do Tempo $F(t)$ .....           | 49 |
| Figura 19 - Confiabilidade em Função do Tempo $R(t)$ .....                   | 50 |
| Figura 20 - Divisão do Processo do Sistema MT6 .....                         | 51 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Tempo de Paradas em Minutos.....                                  | 49 |
| Tabela 2 - Nota de Critério de Severidade (S) .....                          | 51 |
| Tabela 3 - Nota de Critério de Ocorrência (O).....                           | 52 |
| Tabela 4 - Nota de Critério de Detecção (D).....                             | 52 |
| Tabela 5 - Definição da Categoria de Risco (RPN).....                        | 53 |
| Tabela 6 - Representação do FMEA.....  | 53 |
| Tabela 7 - Planilha de Funções e Falhas do MT6 Agitador .....                | 54 |
| Tabela 8 - Planilha dos Modos de Falhas e Efeitos Agitador .....             | 54 |
| Tabela 9 - Planilha de Decisão do MCC Agitador 1 .....                       | 55 |
| Tabela 10 - Planilha de Decisão do MCC Agitador 2.....                       | 55 |
| Tabela 11-Planilha de Funções e Falhas Funcionais Bomba Recheio.....         | 59 |
| Tabela 12-Planilha de Funções e Falhas Funcionais Rosca Transportadora ..... | 59 |
| Tabela 13-Planilha de Funções e Falhas Funcionais Tubulação de Recheio ..... | 59 |
| Tabela 14-Planilha de Modos de Falhas e Efeitos Bomba Recheio .....          | 60 |
| Tabela 15-Planilha dos Modos de Falhas e Efeitos Rosca Transportadora .....  | 60 |
| Tabela 16-Planilha dos Modos de Falhas e Efeitos Tubulação de Recheio .....  | 61 |
| Tabela 17-Planilha de Decisão do MCC Bomba Recheio 1 .....                   | 62 |
| Tabela 18-Planilha de Decisão do MCC Rosca Transportadora 1 .....            | 62 |
| Tabela 19-Planilha de Decisão do MCC Tubulação de Recheio 1.....             | 62 |
| Tabela 20-Planilha de Decisão do MCC Bomba Recheio 2 .....                   | 63 |
| Tabela 21-Planilha de Decisão do MCC Rosca Transportadora 2 .....            | 63 |
| Tabela 22-Planilha de Decisão do MCC Tubulação de Recheio 2.....             | 64 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|                  |  |
|------------------|--|
| ABNT             | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| FMEA             | Failure Mode and Effects Analysis        |
| MCC              | Manutenção Centrada na Confiabilidade    |
| MTBF             | Mean Time to Between Failures            |
| MTTF             | Mean Time To Failures                    |
| MTTR             | Mean Time To Repair                      |
| OEE              | Overall Equipment Effectiveness          |
| RPN              | Risk Priority Number                     |
| TTF              | Time To Fail                             |
| $F(t)$           | Função Probabilidade de Falhas           |
| $f(t)$           | Função Densidade de falhas               |
| $h(t)$           | Função de Risco                          |
| $M(t)$           | Função de Manutenibilidade               |
| PIB              | Produto Interno Bruto                    |
| $R(t)$           | Função de Confiabilidade                 |
| $\lambda(t)$     | Função de Taxa de Falhas                 |
| $\mu$            | Taxa de Reparo                           |
| $\alpha, \gamma$ | Parâmetro de Forma                       |
| $\Delta t$       | Variação do Tempo                        |
| $t$              | Tempo                                    |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>13</b> |
| 1.1      | JUSTIFICATIVA .....   | 14        |
| 1.2      | OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS .....                               | 15        |
| 1.2.1    | Objetivo Geral .....  | 15        |
| 1.2.2    | Objetivos Específicos .....                                       | 15        |
| <b>2</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                                | <b>17</b> |
| 2.1      | MANUTENÇÃO .....  | 17        |
| 2.1.1    | Histórico e Evolução da Manutenção .....                          | 17        |
| 2.1.2    | Classificação da Manutenção .....                                 | 19        |
| 2.1.2.1  | <i>Manutenção Preventiva</i> .....                                | 19        |
| 2.1.2.2  | <i>Manutenção Preditiva</i> .....                                 | 20        |
| 2.1.2.3  | <i>Manutenção Corretiva</i> .....                                 | 21        |
| 2.1.2.4  | <i>Manutenção Detectiva</i> .....                                 | 22        |
| 2.1.3    | Engenharia da Manutenção .....                                    | 22        |
| 2.2      | FALHAS .....  | 23        |
| 2.2.1    | Curva da Banheira .....   | 24        |
| 2.3      | FUNÇÕES DE CONFIABILIDADE, DISPONIBILIDADE E MANUTENIBILIDADE ... | 26        |
| 2.4      | DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL .....                                     | 29        |
| 2.5      | MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE .....                       | 31        |
| 2.5.1    | Definição .....   | 31        |
| 2.5.2    | Função .....  | 31        |
| 2.5.3    | Falha .....   | 32        |
| 2.5.4    | Metodologia do MCC .....  | 34        |
| 2.6      | FMEA .....  | 39        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA .....</b>  | <b>42</b> |
| <b>4</b> | <b>ESTUDO DE CASO .....</b>                                       | <b>44</b> |
| 4.1      | COLETA DE DADOS .....   | 44        |
| 4.2      | ANÁLISE DO HISTÓRICO DE DADOS .....                               | 45        |
| 4.3      | EQUIPAMENTO .....   | 47        |
| 4.4      | DETERMINAÇÃO DOS ITENS CRÍTICOS .....                             | 48        |
| 4.5      | ELABORAÇÃO DO FMEA .....  | 50        |

|     |   |           |
|-----|---|-----------|
| 4.6 | ELABORAÇÃO DO MCC .....                                 | 53        |
| 5   | <b>CONCLUSÕES</b> .....                                 | <b>56</b> |
|     | <b>REFERÊNCIAS</b> .....                                | <b>55</b> |
|     | ANEXO A – PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS ..... | 59        |
|     | ANEXO B – PLANILHA DE MODO E EFEITO DE FALHAS.....      | 60        |
|     | ANEXO C – PLANILHA DE DECISÃO DO MCC 1.....             | 62        |
|     | ANEXO D – PLANILHA DE DECISÃO DO MCC 2.....             | 63        |

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Alimentos (ABIA, 2021), o Brasil é o 2º maior exportador mundial de alimentos industrializados em volume e o 5º em valor. Representando cerca de 10,6% do total do PIB nacional e responsável por 24,2% dos empregos da indústria de alimentos. Mediante a essa importância, torna-se necessário as empresas garantir a qualidade do produto e buscar por excelência em seus processos, de forma a manter-se competitiva no mercado o que demanda cada vez mais diversificação, confiabilidade em seus processos, respeito ao meio ambiente e menores custos.

Com a globalização, as empresas têm buscado cada vez mais o aperfeiçoamento nos seus processos produtivos. De acordo com Corrêa e Corrêa (2004, p.171):

[...], num ambiente crescentemente competitivo, em que frequentemente disparam-se embriões de guerras de preço pela relativa pouca diferenciação dos produtos, é importante que as empresas tenham um bom controle sobre suas eficiências, já que só uma operação com alta produtividade permitirá que mercadologicamente se possa ser agressivo em reduções de preço.

Com isto, as exigências de não haver falhas no processo produtivo tornam-se cada vez maiores. Conforme Slack, Chambers e Johnston (2009), nem todas as falhas são igualmente danosas, pois o grau de importância de uma falha está associado ao seu efeito no desempenho geral do sistema de produção. Considerando que uma falha pode ser sem efeito, outras podem acarretar perdas de qualidade do produto, atrasos nos prazos de entrega, aumento de custo, insatisfação do cliente, interferir na segurança e causar danos à imagem da empresa.

Historicamente, a manutenção sempre foi vista como uma função geradora de custos para as empresas, devido a suas atividades serem consideradas apenas como reparos emergenciais. No entanto, com o cenário globalizado e com o crescimento da competitividade em manufatura, tem requerido melhorias e redução de custos no processo produtivo, levando o uso de equipamento e processos cada vez mais robustos, crescendo assim a importância da manutenção (SIQUEIRA, 2014).

Kardec e Nascif (2010) afirmam que, para uma manutenção estratégica, é preciso estar voltado para os resultados da sua organização, deixando de ser apenas eficiente e se tornando eficaz. Ou seja, não é apenas reparar o equipamento ou sistema quando for preciso, mas mantê-lo disponível para a produção sem gerar paradas inesperadas. Existe uma grande quantidade de metodologias, ferramentas e técnicas disponíveis para as resoluções de problemas da manutenção e que auxiliam na tomada de decisão. Dentre essas, pode-se destacar a FMEA

(Análise de Modos e Efeitos de Falhas), MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade), MASP (Metodologia de Análise e Solução de Problemas) etc.

A FMEA é uma ferramenta para identificar e analisar falhas potenciais e quantificar o efeito delas de acordo com a sua ocorrência e severidade no sistema de produção, reduzindo os efeitos e facilitando o plano de atividades de trabalho e estratégia para aumentar a confiabilidade dos componentes (SAINZ; SEBASTIÁN, 2013). A MCC é uma metodologia que tem como objetivo determinar práticas eficazes de manutenção de forma a garantir confiabilidade do equipamento a um custo mínimo de recursos, abordando aspectos que possam influenciar a produtividade e funcionalidade dos equipamentos avaliando os procedimentos de manutenção (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

A FTA (Árvore de Falhas) trata-se de uma técnica lógica que aborda todas as combinações possíveis de falhas do componente, através de operadores lógicos que estão ligados em nós para a observação da falha (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011). A MASP é uma metodologia da qualidade total que busca a causa fundamental da falha utilizando o ciclo de PDCA – *Plan* (planejar), *Do* (realizar), *Check* (verificar) e *Action* (corrigir) (CAMPOS, 1994).

Para este trabalho será adotado a ferramenta FMEA e a metodologia MCC, ambas complementares. A FMEA possui a função de analisar os modos e efeitos de falhas e a sua criticidade e a MCC elaborar planos estratégicos de manutenção para os itens críticos, focando na segurança e aumentando a confiabilidade do ativo. O equipamento deste estudo possui uma grande relevância para o processo de produção para o ponto de vista operacional e representa o processo mais delicado para a produção do biscoito recheado e está associado ao maior produto da empresa. E pelo prisma financeiro, o equipamento gera o maior valor agregado ao produto.

Por esses motivos, o equipamento deve sempre se manter em condições operáveis e, para isso, é preciso estabelecer planos de manutenções que identifiquem possíveis falhas antes da quebra, elevando assim, a confiabilidade do equipamento. Desse modo, o presente trabalho apresenta um estudo de caso referente a aplicação de ferramentas e metodologias de manutenção em uma indústria do setor alimentício.

## 1.1. JUSTIFICATIVA

A manutenção industrial é uma importante área dentro da indústria. Uma vez que, ela é responsável pelos equipamentos mecânicos, elétricos e eletromecânicos da produção. E, no cenário atual, com o mercado cada vez mais competitivo, surge a necessidade de redução de custos de produção, tornando a manutenção primordial para a sobrevivência das empresas.

Desta forma, ela passou a ser vista como uma maneira de sustentação das organizações e transportou consigo novos conceitos de gestão de ativos, e deixando de ser uma função requerida apenas para reparo e conserto de equipamentos.

Para Silveira (2015), com as escolhas certas é possível melhorar o desempenho do ativo, conseguindo redução de custos e um aumento na vida útil do equipamento. Por outro lado, se for feito más escolhas, novos problemas serão criados, piorando assim o desempenho operacional da empresa.

A FMEA tem como objetivo avaliar e criar uma rotina de manutenção estratégica que preserve funções, sistema e equipamentos de forma efetiva e com custos aceitáveis. Entretanto, se a manutenção preventiva apresentar custos de reparos e perdas operacionais maiores do que o previsto, a manutenção não é vantajosa, a menos que se trate de um requisito ambiental e/ou de segurança (WILMETH; USREY, 2000; BLOOM, 2006).

Além disso, a MCC possibilita que os gestores de manutenção consigam prever o futuro de forma que possam planejar ações que melhor se adaptem ao que pode acontecer. Para essa tomada de decisões, é preciso estruturar em base de dados qualitativos e quantitativos para que possa traçar os planos de ações necessários para o equipamento em estudo. De acordo com Bloom (2006), é essencial estabelecer um banco de dados que registre e classifique as falhas observadas no sistema, o que permite estudos formais de confiabilidade que servirão como base para o dimensionamento das atividades de manutenção.

Diante disso, a implementação da MCC busca o aumento da disponibilidade dos ativos físicos, da confiabilidade e diminuição de paradas inesperadas e manutenções corretivas. Como consequência, observa-se maior conservação e vida útil dos equipamentos, com redução de custos e riscos de defeitos (KARDEC; NASCIF, 2009).

## 1.2. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

### 1.2.1. Objetivo Geral

Aplicar a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) para elaboração de um plano de manutenção em uma indústria alimentícia. Especificamente, será elaborado um plano de manutenção em uma sanduicheira de uma indústria de biscoito, na qual apresentará a periodicidade das atividades, a descrição das atividades e a localização da manutenção.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

A partir do objetivo geral, é possível traçar os objetivos específicos que se pretende alcançar:

- Entender os conceitos associados a metodologia MCC;
- Coletar dados;
- Aplicar modelos clássicos de distribuições de probabilidade aplicados para manutenção;
- Detectar as principais falhas potenciais dos componentes críticos, associados ao equipamento escolhido para este trabalho;

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. MANUTENÇÃO

Conforme a NBR 5462 (1994) pertencente a ABNT, pode-se definir a manutenção como a combinação de ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou recolocar um item num estado que possa exercer sua função adequadamente. Complementando ainda, a manutenibilidade como “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 procedimento e meios prescritivos”.

#### 2.1.1. Histórico e Evolução da Manutenção

Historicamente a manutenção era vista como um setor gerador de custo e só era utilizada para reparos e consertos emergenciais. Com o passar dos anos, por volta da década de 30, e com a criação de fabricas e divisão de tarefas, a manutenção passou a ser vista como um item primordial dentro da indústria para melhorar os resultados. Segundo Kardec e Nascif (2010), pode-se dividir a evolução da manutenção em quatro gerações, conforme na Figura 1.

**Figura 1 - Evolução da Manutenção**

| Geração                                     | Evolução da Manutenção                     |  |   |   |
|---|--|--|---|---|
|   | Primeira Geração                           | Segunda Geração  | Terceira Geração  | Quarta Geração  |
| - Avanço da manutenção                      | - Conserto após a falha                    | - Introdução do conceito de disponibilidade;<br>- Maior vida útil do equipamento;                    | - Maior confiabilidade;<br>- Maior disponibilidade;                               | - Maior confiabilidade;<br>- Maior disponibilidade;<br>- Maior qualidade do produto;<br>- Segurança;<br>- Meio ambiente;<br>- Gerenciamento de ativos;      |
| - Horizonte quanto a falha do equipamento   | - Os equipamentos se desgastam com o tempo | - Os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira.                                    | - Identificação de diversos tipos de falhas                                       | - Reduzir as falhas prematuras do equipamento.  |
| - Transformações nas técnicas de manutenção | - Manutenção corretiva                     | - Planejamento manual de manutenção;<br>- Computadores grandes e lentos;<br>- Manutenção preventiva; | - Manutenção preditiva<br>- Análise de risco<br>- Computadores pequenos e rápidos | - Aumento da manutenção preditiva;<br>- Redução da manutenção preventiva e corretiva não planejada;<br>- Técnicas de confiabilidade;<br>- Manutenibilidade; |

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2010)

A Primeira geração (1940-1950) começa antes da Segunda Guerra Mundial e os equipamentos eram bem simples, a indústria pouco mecanizada e superdimensionada. Conseqüentemente, não havia necessidade de manutenção sistematizada; apenas serviços de limpeza, lubrificação e reparo pós quebra do equipamento, ou seja, a fundamentação de manutenção corretiva.

A Segunda geração (1950-1970) ocorre depois da Segunda Guerra Mundial, e com ela trouxe o aumento da mecanização e instalações industriais mais complexas. Diante disso, existiu a necessidade do aumento da produtividade e confiabilidade para que o bom funcionamento do equipamento passasse a ser um ponto relevante.

Neste período, também surgiu o conceito de manutenção preventiva, já que a indústria estaria mais dependente da mecanização industrial e as falhas poderiam ser evitadas. Para isso, foram adotadas intervenções nas máquinas em períodos fixos, elevando assim, o custo de manutenção e resultando no desenvolvimento de um planejamento da manutenção e seus sistemas de controle.

Na Terceira geração (1970-1990), iniciou-se um período de transformação na indústria, e os conceitos de confiabilidade e disponibilidade tornaram-se essenciais nos setores devido ao crescimento da mecanização e automatização dos processos produtivos. Esse crescimento da automação resultou em falhas cada vez mais frequentes, dificultando a manutenção dos padrões de qualidade estabelecidos.

Com isso, a preocupação de ter condições de segurança para o ambiente operacional, tornou-se necessário o conceito de manutenção preventiva e a implementação da manutenção preditiva. O avanço tecnológico foi um grande aliado dos planejamentos e controles de manutenção e foi a partir disso que se iniciou a implementação do processo de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).

Na quarta geração (2000-2005), os conceitos de disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade se tornaram mais presentes. E, com a inserção da indústria 4.0, a manutenção preditiva e o controle de equipamento e dos processos são cada vez mais utilizados. De acordo com o grande volume de produção, ocorreu uma redução em manutenção preventiva e corretiva não planejadas devido ao longo período que se faz necessário para analisar o sistema e o equipamento. Várias são as metodologias utilizadas para o auxílio de um bom planejamento de manutenção, como a FMEA, do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*, MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade), etc.

### 2.1.2. Classificação da Manutenção

De acordo com Kardec e Nascif (2010), pode-se dividir os tipos de manutenção de acordo com a figura 2;

**Figura 2 - Tipos de Manutenção**

|                          | Tipo de Manutenção      | Definição                                       |
|--------------------------|-------------------------|---|
| Engenharia de Manutenção | Corretiva não planejada | Ação após a quebra, sem planejamento            |
|                          | Corretiva planejada     | Ação planejada, logo após preditiva             |
|                          | Preventiva              | Ação planejada com periodicidade definida       |
|                          | Preditiva               | Inspeção e acompanhamento de parâmetros físicos |
|                          | Detectiva               | Inspeção para detecção de falhas ocultas        |

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2010)

#### 2.1.2.1. Manutenção Preventiva

Para a ABNT NBR 5462 (1994), a manutenção preventiva é aquela efetuada em intervalos de tempo predeterminados, com seus critérios prescritos, destinada a reduzir custos, a probabilidade de falha ou degradação do funcionamento de um item. Já Kardec e Nascif (2010) definem a manutenção preventiva como uma função de reduzir ou evitar falhas, obedecendo um plano de manutenção previamente elaborado, baseado em intervalos de tempo.

Conforme Pinto e Xavier (1999), pode-se ainda ser definido como “a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo”. A manutenção preventiva consiste em atividades sistemáticas de inspeção, limpeza, lubrificação, troca de peças, dentre outras.

Esta manutenção será conveniente quando maior for a simplicidade na reposição; quanto maiores forem os custos de falha; quanto mais as falhas prejudicarem o processo produtivo; e quanto maiores essas falhas prejudicam a segurança operacional (KARDEC; NASCIF, 2009).

A manutenção preventiva apresenta uma melhor eficácia quando os intervalos de tempo são definidos e respeitados. Entretanto, pode-se ter situações distintas onde seja preciso interferir no equipamento antes do necessário, para realizar a manutenção ou prolongar demais o período resultante de uma falha.

Em alternativa, ao adotar-se a manutenção preventiva ocorre a redução de custos, de indisponibilidade, de falhas e de interrupções inesperadas da produção, ou seja, quando considerado o custo total verifica-se um ganho considerável quando comparado com manutenção corretiva (XENOS, 1999).

#### 2.1.2.2. *Manutenção Preditiva*

O nome preditivo vem do fato de prever as condições do equipamento (KARDEC; NASCIF, 2009). É a manutenção que realiza o acompanhamento de variáveis, parâmetros e de desempenho do ativo. Através destes dados, é possível definir o momento certo da intervenção do equipamento, aproveitando a sua máxima disponibilidade (OTANI; MACHADO, 2008).

Portanto, quando o grau de degradação previamente estabelecido do equipamento se aproxima é tomada a decisão de intervenção. De forma mais direta, a manutenção preditiva prediz as condições dos equipamentos e quando a intervenção é decidida o que se faz, é uma manutenção corretiva planejada, afirma Kardec e Nascif (2009). Os autores ainda pontuam as condições básicas para adotar a manutenção preditiva e os fatores indicados para aderir esse tipo de manutenção, são os seguintes:

- Condições básicas;
  - O equipamento, sistema ou instalação devem permitir algum tipo de monitoramento/medição;
  - O equipamento, sistema ou instalação devem estar dentro dos custos estabelecidos;
  - As falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas;
  - Estabelecer um cronograma de acompanhamento, análise e diagnóstico sistematizado.
- Fatores indicados;
  - Causas relacionadas com a segurança pessoal e operacional;
  - Manter o equipamento funcionando, de modo seguro, por uma maior periodicidade;

- Redução de custos devido ao acompanhamento constante do equipamento.

Com a adoção da manutenção preditiva, os riscos de falhas “catastróficas” diminuem de forma significativa. A ocorrência de falhas inesperadas reduz, o que proporciona o aumento da segurança operacional, da instalação e a redução de paradas inesperadas na produção (KARDEC; NASCIF, 2009).

### 2.1.2.3. *Manutenção Corretiva*

Segundo Pinto e Xavier (2007, p. 36), “ao atuar em um equipamento que apresenta um defeito ou um desempenho diferente do esperado estamos fazendo manutenção corretiva”. A manutenção corretiva é a forma mais primitiva de manutenção e a mais simples. Ela só é realizada a partir da quebra do equipamento, ou sejam, o item permanece em operação até que ocorra uma falha, defeito ou quebra.

Otani e Machado (2008) afirmam que este tipo de manutenção implica em alto custos e baixa confiabilidade no processo de produção, já que gera paradas inesperadas e danos aos equipamentos muitas vezes irreversíveis. Para Kardec e Nascif (2009), as condições que levam para a manutenção corretiva, são as seguintes:

- O equipamento apresenta desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento de variáveis operacionais;
- Ocorrência de falha.

Portanto, a manutenção corretiva possui a função de corrigir ou restaurar as condições de funcionamento do equipamento e pode ser dividida em manutenção corretiva planejada e manutenção corretiva não planejada (KARDEC; NASCIF, 2009).

- ***Manutenção Corretiva Planejada***

A manutenção corretiva planejada acontece quando a manutenção é preparada, ou seja, a intervenção no equipamento ocorre por decisão gerencial, de operar até a falha. É geralmente adotada para sistemas que não são críticos para toda a planta (KARDEC; NASCIF, 2009). Visto que um trabalho planejado é sempre mais barato, rápido e seguro do que um trabalho não planejado. E será sempre de maior qualidade, por conta do acompanhamento que será realizado.

Kardec e Nascif (2009) ainda pontuam quando a adoção desta política pode ser adotada:

- Melhor planejamento dos serviços;
  - Possibilidade de compatibilizar a necessidade de intervenção com os interesses operacionais;
  - Aspectos relacionados com a segurança não provocam nenhuma situação de risco para os operadores ou instalação;
  - Garantia de peças sobressalentes, equipamentos e ferramental;
  - Ter recursos humanos e tecnológicos para execução de serviços.
- ***Manutenção Corretiva Não Planejada***

Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção corretiva não planejada é a correção da falha de maneira aleatória, caracterizando-se pela atuação em fato que já foi ocorrido, ou seja, quando há a quebra do equipamento. Não há tempo para a preparação do serviço. Este tipo de manutenção implica em altos custos, perda de qualidade do produto e baixa confiabilidade do processo de produção. Além disso, quebras aleatórias podem causar consequências graves ao equipamento.

#### *2.1.2.4. Manutenção Detectiva*

A manutenção detectiva pode ser definida como a atuação efetuada em sistemas de proteção, controle e comando, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção (KARDEC; NASCIF, 2009). Essa manutenção deve ser usada para equipamentos críticos os quais alimentam uma instalação, alinhados a manutenção preditiva, são formas de manutenção indispensáveis. Tais equipamentos devem possuir disponibilidade altíssima e ainda grande confiabilidade, para caso necessite de uma intervenção que deverá ser planejada.

#### *2.1.3. Engenharia da Manutenção*

Engenharia de Manutenção é uma forma de gerenciamento da manutenção que busca a consolidação da rotina e uma política de melhoria contínua da manutenção. Para Kardec e Nascif (2009), a engenharia de manutenção significa perseguir *benchmark*, ou seja, aprender com empresas e gestores do mercado novas técnicas aplicáveis dentro da manutenção em busca

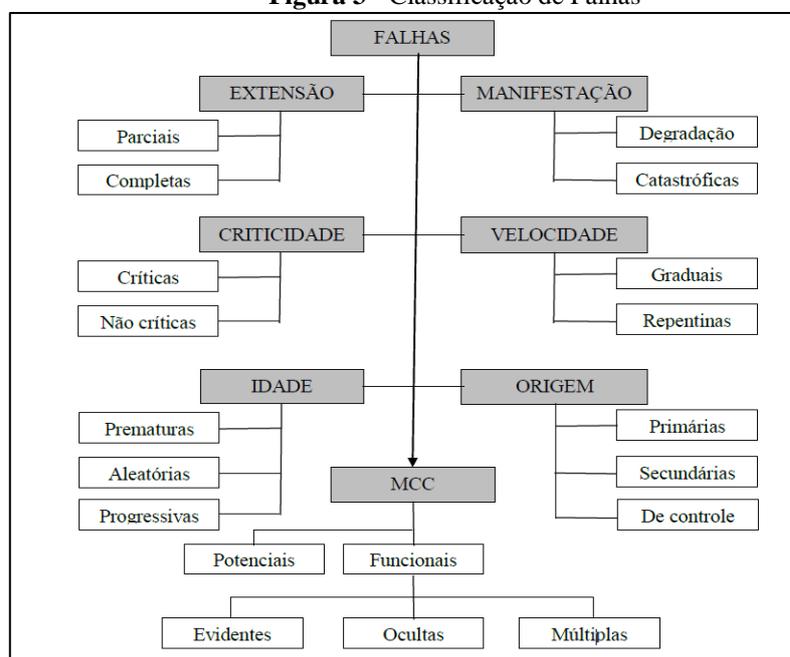
por sua excelência. Além disso, é de responsabilidade da engenharia de manutenção garantir a organização, aumentar a confiabilidade, a disponibilidade e a segurança dos equipamentos do operacional e da instalação física. Também, é de sua atribuição buscar novos projetos, elaborar planos de manutenção e inspeção, realizar análises de falhas e garantir a capacitação da equipe.

## 2.2. FALHAS

“A falha pode ser definida como a cessação da função de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho previsto” (KARDEC; NASCIF, 2010, p. 109). Prevenir e corrigir falhas constituem os objetivos primários da manutenção (SIQUEIRA, 2014). Elas precisam ser identificadas, catalogadas e classificadas para que se entenda as formas que o sistema falha.

Conforme Siqueira (2014), a falha consiste na interrupção ou alteração na capacidade de um item exercer a sua função esperada ou requerida. As falhas devem ser classificadas e identificadas para que se entenda a forma de falhas do equipamento. Como pode ser visto na Figura 3:

**Figura 3 - Classificação de Falhas**



Fonte: Siqueira (2014, p.52)

O autor Siqueira, classifica as falhas em:

- Falhas por origem: de origem primária quando derivam de deficiência próprias de um componente, dentro dos limites normais de operação. De origem secundária, quando derivam de operações fora do limite, tais como

sobrecarga atmosférica etc. E por fim, falhas de controle, quando se originam de erros da operação;

- Falhas por extensão: se dividem em *parciais*, quando resultam do desvio de alguma característica funcional do item, mas sem perda de sua funcionalidade, e *completas* quando provocam a perda total da função requerida;
- Falhas por velocidade: são classificadas conforme a rapidez que ocorrem, e são divididas em *graduais* quando são percebidas antes que ocorram, e *repentinas* que ocorrem de forma inesperada;
- Falhas por manifestação: pode ocorrer por *degradação*, quando ela acontece simultaneamente de forma gradual e parcial, e *catastrófica* quando ocorre de forma repentina e completa;
- Falhas por criticidade: as *críticas* são aquelas que produzem situações perigosas ou inseguras para a operação e as *não-críticas* são as que não provocam este efeito;
- Falhas por idade: está condicionada a vida útil do equipamento e podem ser *prematuras*, quando ocorrem durante o período inicial de vida do equipamento, ou *aleatórias*, quando ocorrem de maneira imprevisível.

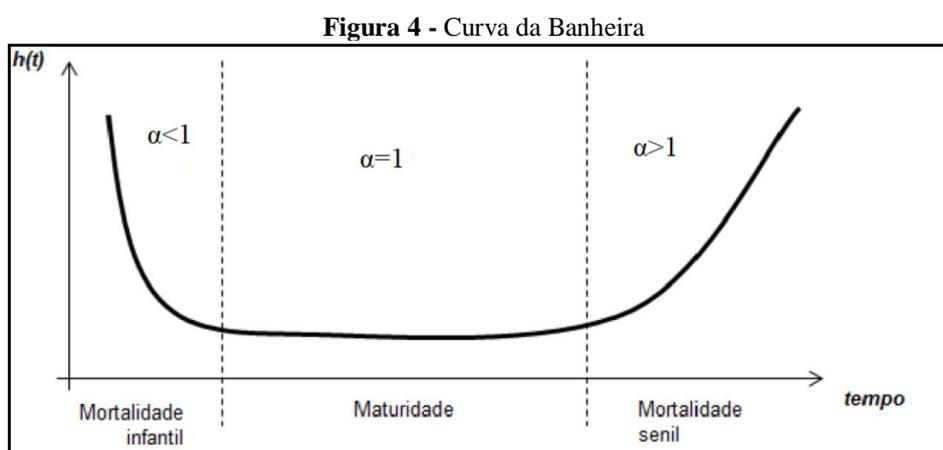
Siqueira (2014) ainda classifica as falhas de acordo com a metodologia do MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade) e afirma que os estudos delas são essenciais para o efeito que provocam no sistema, são elas:

- Funcional: é a incapacidade de um item desempenhar a sua função específica dentro do que é esperado, que são divididas em:
  - Evidente: quando é detectada pela operação durante o trabalho normal;
  - Oculta: quando a falha não é detectada pela operação durante o trabalho normal;
  - Múltipla: combinação de uma falha oculta mais uma falha, ou evento, que se torne evidente.
- Potencial: definida como uma condição identificável e mensurável que indicada uma falha funcional.

### 2.2.1. Curva da Banheira

As falhas ainda podem ser classificadas como constante, crescente e decrescente. Uma frequência constante são aquelas onde as falhas são causadas por eventos aleatórios, gerando esforços aplicados que excedem a resistência do equipamento. E a crescente está ligada diretamente a situações de corrosão, desgaste dos materiais etc.

Ou seja, as falhas aumentam à medida que o equipamento envelhece. E a decrescente está relacionada com o aumento da confiabilidade com o passar do tempo, como nas melhorias onde ocorre a troca de componentes e peças por outros mais confiáveis (XENOS, 1998). A curva da banheira é utilizada para analisar o comportamento de falhas de um equipamento ao longo do tempo. Representada por uma curva que possui o formato de uma banheira, a Curva da Banheira (*Bathtube Curve*), como mostrado na Figura 4.



Fonte: Adaptado de Siqueira (2014)

Na curva são representadas as fases da vida do equipamento, sistema ou produto: mortalidade infantil, maturidade e mortalidade. As fases estão associadas ao fator de forma  $\alpha$ , que é um dos parâmetros de distribuição de Weibull que descreve a confiabilidade do equipamento (XENOS, 1998).

Siqueira (2014) divide a curva da banheira em três regiões. A parte inicial, com probabilidade condicional de falha decrescente, que correspondem a mortalidade infantil do equipamento. A parte central, com probabilidade condicional a falha constante, decorrente de falhas aleatórios no sistema. E a parte final da curva que representa a falha crescente, no final da vida útil, resultado do envelhecimento do equipamento, ocasionado pela fadiga e desgaste.

Conforme Kardec e Nascif (2009), as definições para os períodos do Figura 4, são as seguintes:

- **Mortalidade infantil:** é quando a ocorrência de falhas é alta devido a componentes com defeitos de fabricação ou deficiência de projeto e por erros de instalação do equipamento;

- Vida útil: as falhas nesta fase passam a ser menores e constantes ao longo do tempo. A ocorrência está ligada a fatores menos controláveis, como fadiga e corrosão, tornando a sua previsão mais difícil;

Envelhecimento ou degradação: Ocorre o aumento de taxas de falhas devido a desgastes naturais, que será maior com o envelhecimento do equipamento.

### 2.3. FUNÇÕES DE CONFIABILIDADE, DISPONIBILIDADE E MANUTENIBILIDADE

O termo confiabilidade na manutenção, do inglês *Reliability*, teve origem nas análises de falhas em equipamentos eletrônicos para uso militar, durante a década de 50 no Estados Unidos. De acordo com a ABNT NBR 5462 (1994), a confiabilidade é a probabilidade de um item desenvolver a função requerida sob determinadas condições um intervalo de tempo  $t$ .

Para Fogliatto e Ribeiro (2011), a confiabilidade é definida como uma função em um intervalo de tempo que implica em cinco sequências: (i) o analista deve definir uma unidade de tempo (minutos, horas ou anos) para realização das análises; (ii) os modelos que escrevem o tempo até a falha; (iii) o termo tempo não deve ser interpretado literalmente, já que em muitos contextos o número de ciclos pode representar a falha de um item; (iv) o conceito de confiabilidade deve ser associado a um período de tempo ou duração de missão, e (v) determinar o que deve ser usado para medir a vida ou ciclo pois nem sempre é óbvio.

Eles ainda acrescentam as funções mais utilizadas para a análise de confiabilidade, são elas; função densidade de probabilidade de falhas  $f(t)$ , função acumulada de falhas  $F(t)$  e função confiabilidade  $R(t)$ . A função densidade de falhas  $f(t)$  representa a variação de probabilidade de falhas de um item em um intervalo de tempo  $t_1$  e  $t_2$ . É representada graficamente por uma função de distribuição de densidade acumulada e que é expressa pela Equação 1:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (1)$$

A função acumulada de falhas  $F(t)$  que expressa a probabilidade de a falha ocorrer entre os intervalos de tempo  $t_1$  e  $t_2$ , dada pela Equação 2:

$$F(t_2) - F(t_1) = \int_{t_2}^{t_1} f(t) \cdot dt \quad (2)$$

A função de confiabilidade  $R(t)$  é a probabilidade acumulada de sucesso, ou seja, de um item não falhar em um determinado período  $t_1$  e  $t_2$ , conforme Equação 3:

$$R(t) = \int_t^{+\infty} f(t) dt = 1 - \int_{-\infty}^t f(t) dt = 1 - F(t) \quad (3)$$

A função de risco  $h(t)$  representa a quantidade de risco relacionada a uma unidade no tempo  $t$ , ou seja, a taxa instantânea de falha. É expressa pela Equação 4:

$$h(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (4)$$

A função taxa de falha  $\lambda(t)$  é a probabilidade condicional de que uma falha ocorra em um intervalo  $[t, t+\Delta t]$ , considerando a operação até  $t$ . Expressa na Equação 5:

$$\lambda(t) = \frac{F(t+\Delta t)}{R(t)} = \frac{\text{Numero de falhas}}{\text{Numeros de horas de operação}} \quad (5)$$

O tempo médio entre falhas (MTBF), do inglês *Mean Time Between Failures*, trata-se de uma medida básica de confiabilidade dos equipamentos cuja falhas são reparáveis (KARDEC; NASCIF, 2010). Ele é um indicador de taxa de falhas, ciclo ou vida útil do equipamento. É expressa pela Equação 6:

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Horas disponiveis}}{\text{Número de falhas}} = \frac{1}{\lambda} \quad (6)$$

Fogliatto e Ribeiro (2011), o tempo médio para a falha (MTTF) do inglês *Mean Time To Failures*, trata-se do tempo até a falha do equipamento. É expressa pela Equação 7.

$$\text{MTTF} = E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (7)$$

Para estudos de confiabilidade em manutenção, é necessário determinar uma distribuição de probabilidade que se ajuste aos dados do sistema no tempo desejado. As principais distribuições de interesse para a manutenção são: lognormal, exponencial, gamma e Weibull (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

A distribuição de Weibull é uma das mais importantes distribuições em modelos de confiabilidade da manutenção, por conta da sua flexibilidade e capacidade de representações de amostras de tempo até a falha com comportamentos distintos, além de poder ser usadas em pequenas amostras. Este modelo é indicado para explicar sistemas cuja falhas nasce da competição de outros modos de falhas. As equações que foram apresentadas acima são modeladas pela distribuição de Weibull e podem ser verificadas em representações de confiabilidade para  $t \geq 0$ ,  $\lambda > 0$  e  $\theta > 0$ , temos (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011):

$$F(t) = \frac{\gamma}{\theta} t^{\gamma-1} e^{-\frac{t^\gamma}{\theta}} \quad (8)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma} \quad (9)$$

$$h(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1} \quad (10)$$

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad (11)$$

Ainda conforme Fogliatto e Ribeiro (2011), a função de risco da Weibull define-se pelo seu parâmetro de forma. Se o  $\gamma = 1$ ,  $h(t)$  é constante e Weibull se transforma em uma distribuição exponencial. Se o  $\gamma > 1$ ,  $h(t)$  é crescente. Se o  $\gamma < 1$ ,  $h(t)$  é decrescente. A disponibilidade é a probabilidade de um item, sob condições estabelecidas em um dado intervalo de tempo de desempenhar sua função requerida (ABNT NBR 5462, 1994).

A disponibilidade afeta diretamente no OEE, em inglês, *Overall Equipment Effectiveness*, um dos principais indicadores da manutenção, que está associado com a disponibilidade, qualidade e performance do equipamento. A disponibilidade é o reflexo da atuação da manutenção, pois considera a quantidade de falhas e os tempos de reparo e pode ser representada de acordo com a expressão 12:

$$Disponibilidade (\%) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\% \quad (12)$$

A manutenibilidade é realizada sob condições estabelecidas, usando procedimento e recursos prescritos num determinado período (ABNT NBR 5462, 1994). Ou seja, quanto maiores forem a manutenibilidade e confiabilidade maior será a disponibilidade do

equipamento. Kardec e Nascif (2010) definem manutenibilidade como a característica de um equipamento ou instalação permitir um grau menor ou maior de facilidade nas execuções do serviço de manutenção. Eles ainda a definem matematicamente, conforme a Equação 13:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (13)$$

Onde  $\mu$  é a taxa de reparos definida pela Equação 14:

$$\mu = \frac{\text{Número de reparos}}{\text{Número de horas de operação}} \quad (14)$$

A manutenibilidade e a taxa de reparos estão associadas ao tempo médio de reparo, do inglês, *Mean Time To Repair* (MTTR), sendo ele um indicador que atua na disponibilidade dos equipamentos, e funciona como suporte para determinar a melhor estratégia de manutenção. E pode ser expressa pela Equação 15:

$$\text{MTTR} = \frac{1}{\mu} \quad (15)$$

## 2.4. DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

Na literatura existe algumas formas de distribuição como a distribuição Lognormal, Exponencial, Gama e Weibull que são utilizadas para a estimação de falhas de um determinado processo. Entretanto, a distribuição de probabilidade de Weibull é a mais utilizada. Conforme Fogliato e Ribeiro (2011), essa distribuição é a mais referenciada para o uso de análise de confiabilidade e análise de sobrevivência de equipamentos em indústria devido a sua flexibilidade de mensurar as falhas em suas fases crescente, constante e decrescente.

Ela foi proposta pelo físico Waloddi Weibull em 1954, a distribuição de Weibull possui dois parâmetros de entrada de dados e é escrita em função da sua função de densidade de probabilidade  $f(t)$ , f.d.p como:

$$f(t) = \frac{\alpha}{\gamma} \left(\frac{t^{\alpha-1}}{\alpha}\right) e^{(-t/\gamma)^\gamma} \quad (16)$$

$\alpha$ = parâmetro de forma ( $\alpha > 0$ );

$\gamma$ = parâmetro de escala ( $>0$ );

Onde, podemos definir a confiabilidade  $R(t)$  e a taxa de falha  $h(t)$  conforme as funções abaixo:

$$R(t) = e^{(-t/\gamma)^\alpha} \quad (17)$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\alpha}{\gamma} \left(\frac{t}{\gamma}\right)^{\alpha-1} \quad (18)$$

O  $\alpha$  está associado a dimensão da abcissa, valores crescentes de  $\alpha$  tem a função de “esticar” a curva da f.d.p. Já o fator  $\alpha$  está associado a posição na curva da banheira, como mostrado anteriormente, sendo:  $\alpha < 1$ : Mortalidade Infantil;  $\alpha = 1$ : Maturidade; e,  $\alpha > 1$ : Envelhecimento, conforme mostrado na Figura 4.

## 2.5. MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

A MCC originou-se na indústria aeronáutica americana. Entretanto, com passar dos anos os seus conceitos e técnicas foram inseridos dentro do setor industrial. E ela pode ser definida como um programa que reúne técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma instalação fabril cumpram suas funções especificadas.

Permite que a empresa alcance excelências em suas atividades de manutenção, pois reduz quebras, reparos e substituições de peça; diminuição nos custos e amplia a disponibilidade dos equipamentos (SIQUEIRA, 2014; FOGLIATO; RIBEIRO, 2011) o principal objetivo da MCC é criar uma rotina de manutenção estratégica que preserve equipamentos, sistemas e funções de forma eficiente com custos aceitáveis. (WILMETH; URSEY, 2000; BLOOM, 2006).

A base de trabalho da MCC é a definições de funções e comportamento de desempenho dos equipamentos, seguido pelas definições do seu tempo de falha, bem como a análise de suas causas, consequências e da definição que impeçam ou diminuam sua ocorrência (FLOGLIATTO; RIBEIRO, 2011). Ainda conforme Fogliatto e Ribeiro (2011), a MCC possui um aspecto sistemático e por este motivo tem se tornado a melhor forma de tratar as questões de manutenção.

Eles ainda definem os pilares para implementar esta metodologia, que consiste em: *(i)* envolvimento de engenheiros, gestores, operadores e técnicos de manutenção; *(ii)* estudo da consequência das falhas, que orientam todas as atividades de manutenção; *(iii)* análises de indicadores, que consideram os custos, meio ambiente, segurança e operação; *(iv)* foco nas atividades proativas, envolvendo as preditivas e preventivas; *(v)* combate as falhas escondidas que reduzem a confiabilidade.

A MCC propõe estudar as mais variadas formas de falhas dos componentes promovendo a visualizações das ações de bloqueios pertinentes a serem tomadas, e recai em tais ações de bloqueios as estratégias de manutenção a serem tomadas de forma objetiva para cada um dos ativos físicos que compõem a planta fabril. Além disso, a MCC se caracteriza como um instrumento aliado para as decisões gerenciais sobre quais diretrizes da política do processo industrial deverá ser adotada (VIANA, 2020).

As principais características do MCC são; *(i)* identificar e preservar a função do sistema; *(ii)* definir as falhas funcionais e especificar os modos de falhas; *(iii)* priorizar os modos de falhas de acordo com a sua importância; *(iv)* escolher a manutenção mais adequada para o seu modo de falha (SIQUEIRA,2014).

De acordo com Moubroy (2000), os resultados esperados do MCC, são; *(i)* melhoria no desempenho operacional em termos de qualidade e quantidade de produto; *(ii)* maior segurança humana e proteção humana; *(iii)* maior efetividade custos; *(iv)* aumento da vida útil dos equipamentos; *(v)* criação de banco de dados mais robustos; *(vi)* maior motivação do pessoal envolvido na manutenção; e *(vii)* melhoria do trabalho em equipe.

### 2.5.1. Definição

Nesta seção, são apresentados conceitos fundamentais para a aplicação do MCC. O processo de MCC e a utilização das ferramentas de apoio exigem, inicialmente, um perfeito entendimento de uma série de definições associadas as falhas e desempenhos dos itens físicos (ZAIONS, 2003).

### 2.5.2. Função

Conforme Moubroy (2000), uma definição de função deve consistir em um verbo, um objeto e o padrão de desempenho desejado. Ou seja, a função representada a finalidade do

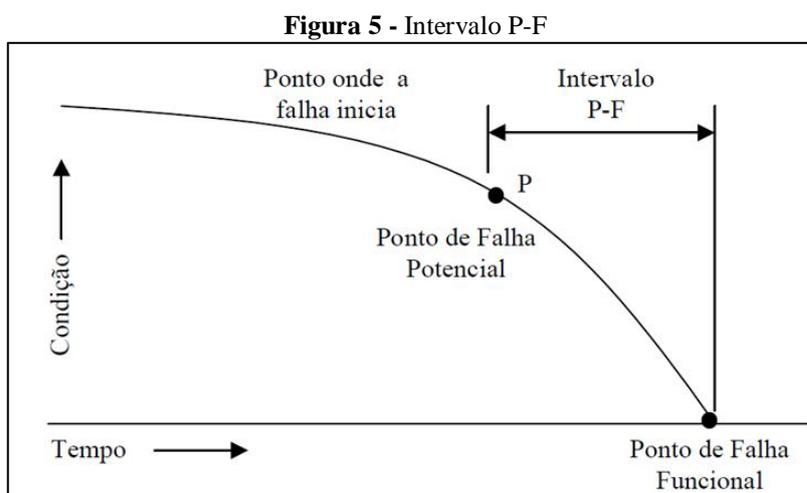
sistema e equipamento para qual ele foi desenhado, projetado ou montado. As funções podem ser divididas em funções principais ou secundárias.

A função principal de um item físico está associada a função a qual o equipamento foi adquirido. E a função secundária, pode ser dividida nas seguintes categorias; (i) integridade ambiental; (ii) segurança/integridade estrutural; (iii) controle contenção e conforto; (iv) aparência; e (v) economia e eficiência. O objetivo da manutenção é assegurar que os ativos continuem desempenhando a sua função. Dessa forma, qualquer máquina ou componente que for colocado em operação, deverá ser capaz de exercer sua função de desempenho desejada pelo usuário (MOUBRAY, 2000).

### 2.5.3. Falha

Como definido na seção 2.2, a falha é definida como a incapacidade de qualquer ativo de desempenhar a função esperada. Porém, alguns autores afirmam que essa definição é vaga, pois não distingue claramente o estado da falha (falha funcional) e os eventos que causam o estado de falha (modos de falha).

Portanto, a falha funcional é definida como a incapacidade de qualquer ativo cumprir uma função padrão de desempenho que é esperada pelo usuário (MOUBRAY, 2000; BRANCO; FILHO, 2000). Já a falha potencial ou modo de falha é uma condição identificável que indica se a falha funcional pode ocorrer ou não dentro do processo (Siqueira, 2014). A Figura 5 permite identificar a relação entre falha funcional e falha potencial.

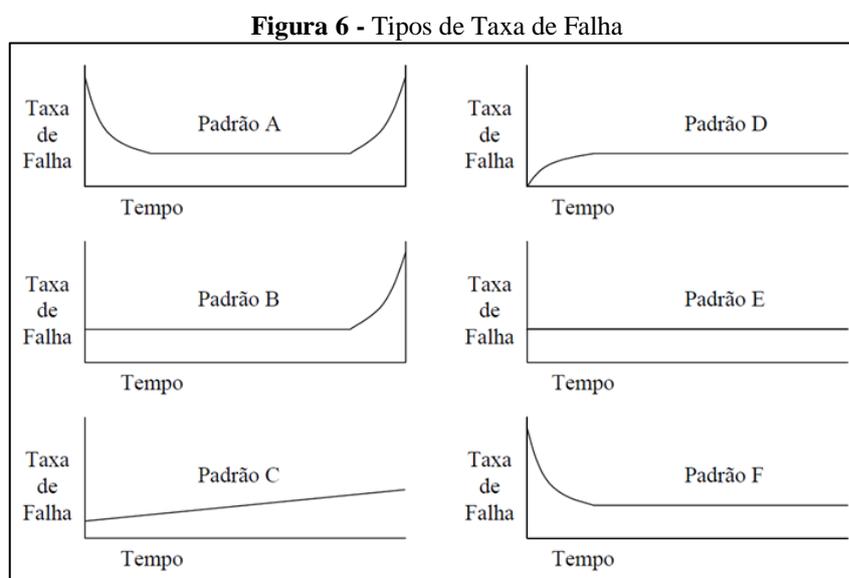


Onde, na Figura 5, pode-se identificar três períodos de tempos distintos na ocorrência de uma falha, são eles:

- Período entre a condição normal de funcionamento até uma falha;
- Período entre o início de falha até o aparecimento de um sinal de falha;
- Período entre o aparecimento do sinal da falha até a ocorrência da falha.

Conforme Moubray (2000) e Siqueira (2014), pode-se definir o gráfico da seguinte forma; O ponto “P” no processo de falha, onde é possível detectar se a falha está ocorrendo ou está para ocorrer, correspondendo ao conceito de falha potencial, o ponto “F” representa o ponto de falha funcional. Assim, o intervalo P-F corresponde ao intervalo entre o ponto em que a falha se torna detectável até a sua ocorrência.

Alguns autores em suas obras citam os seis padrões de falhas do MCC. Eles estão representados na Figura 6 e são designados pelas letras A, B, C, D, E e F (MOBRAY, 2000; SIQUEIRA, 2014; SMITH, 1993; PINTO; NASCIF, 1999).



Fonte: Adaptado de Siqueira (2014, p.79)

O padrão A é conhecido como curva da banheira, devido ao seu formato característico de uma banheira. Este tipo de padrão de taxa de falhas foi definido na seção 2.2.1 deste trabalho. Porém, o gráfico mostra a ocorrência de falhas no início da operação indicando mortalidade infantil, seguido por uma sequência de falhas constantes, indicando maturidade do equipamento, e posteriormente, de aumento de frequência de falhas devido a degradação e o desgaste do equipamento.

O padrão B, apresenta uma taxa de falha constante seguida de uma zona acentuada, ou seja, desgaste no fim da sua vida útil. Esse padrão descreve falhas relacionadas com a idade do equipamento. O padrão C, apresenta um aumento lento e gradual na taxa de falha, porém sem uma zona definida de desgaste a possível causa para este comportamento é a fadiga. O padrão

D, mostra baixa de taxa de falha quando o item é novo e posteriormente sofre um rápido aumento de taxa de falhas para um nível constante.

O padrão E mostra uma taxa de falha constante em qualquer período. E o padrão F, inicia com uma alta mortalidade infantil, que eventualmente cai para uma taxa de falhas constante. Pode-se concluir que os padrões de falhas A, B, e C estão associados a fadiga, desgaste, corrosão, ou seja, as falhas aumentam à medida que o equipamento envelhece. Para os padrões D, E e F, são típicos de equipamentos que tiveram projetos mal elaborados ou erros de montagem na sua instalação.

Em sua obra Moubrey (2000) defini as ações a serem tomadas para tratar as falhas podem ser divididas em duas categorias: (i) tarefas proativas; e (ii) ações default. As tarefas proativas são aquelas executadas antes de ocorrer a falha, com a intenção de prevenir o equipamento antes de um estado de falha. Esse tipo de tarefa também é conhecido como manutenção preventiva e preditiva.

Já as ações default tratam do estado da falha escolhida e são escolhidas quando não são capazes de identificar uma função proativa eficiente. Geralmente o equipamento roda até falhar. Este tipo de ação também é conhecida como manutenção corretiva programada. Ainda segundo Moubrey (2000), a MCC defini em três tipos de manutenção proativa e os requisitos necessários para a viabilidade técnica de cada uma delas.

A restauração programada que implica restaurar o equipamento a sua capacidade inicial antes de ocorrer a falha. A tarefa de descarte programado tem como objetivo descartar um ativo ou componente antes ou no limite especificado, sem considerar a sua condição no momento da análise. E por fim, as tarefas sob condição são inspeções que verificam as condições das falhas potenciais para que uma ação possa ser tomada para prevenir as falhas funcionais ou evitar suas consequências.

#### 2.5.4. Metodologia do MCC

De acordo com Souza (2004), as metodologias de aplicação do RCM, mais conhecidas são as de Moubrey (2000), Smith (1993) e Nowland e Heao (1978). As ideias de abordagem praticamente são as mesmas. Zaions (2003) apresenta uma comparação dos modelos de implementação da metodologia do MCC descritos pelos autores Smith (1993), Moubrey (2000), Nasa (2000) e Rausand *et al.* (1998), conforme a Figura 7. Basicamente a metodologia se divide em 7 etapas, desde a seleção do sistema até a determinação das tarefas de manutenção.

**Figura 7** - Comparação da Metodologia do MCC

| Etapas | Smith (1993)  | Moubray (2000)  | NASA (2000)                                   | Rausand et al. (1998)                                 |
|--------|---|---|---|---|
| 1      | Seleção do sistema e coleta de informações          | Definição das funções e padrões de desempenho                 | Identificação do sistema e suas fronteiras    | Preparação do estudo.                                 |
| 2      | Definição das fronteiras do sistema.                | Definição da forma como o item falha ao cumprir suas funções. | Identificação dos sub-sistemas e componentes. | Seleção do sistema.                                   |
| 3      | Descrição do sistema                                | Descrição da causa de cada falha funcional                    | Exame das funções                             | Análise das Funções e Falhas Funcionais - AFF         |
| 4      | Funções e falhas funcionais                         | Descrição das consequências de cada falha.                    | Definição das falhas e dos modos de falha.    | Seleção dos itens críticos                            |
| 5      | Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas | Definição da importância de cada falha.                       | Identificação das consequências da falha.     | Coleta e análise de informações                       |
| 6      | Análise da árvore lógica.                           | Seleção de tarefas preditivas e preventivas para cada falha.  | Análise do diagrama lógico de decisão.        | Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas   |
| 7      | Seleção das tarefas preventivas.                    | Seleção de tarefas alternativas.                              | Seleção das tarefas preventivas               | Seleção das tarefas de manutenção.                    |
| 8      |   |   |   | Determinação da frequência das tarefas de Manutenção. |

Fonte: Zions (2003)

Conforme a Figura 7, o primeiro passo é identificar o sistema a ser analisado. Segundo Smith (1993), a seleção do sistema deve se basear nos seguintes critérios: *(i)* sistemas com elevados volume de tarefas de manutenção preventiva ou elevados custos de manutenção preventiva; *(ii)* sistemas que sofreram muitas intervenções corretivas; *(iii)* sistemas com elevadas paradas de produção; e *(iv)* sistemas que apresentam risco a segurança humana e ambiental.

Após a definição do sistema, deve-se realizar análise das funções e suas falhas funcionais. Smith (1993) defini os principais objetivos desta etapa, são eles; *(i)* identificação da interface de saída e entrada do sistema; *(ii)* identificação e descrição das funções do sistema; *(iii)* descrição dos padrões e desempenho do sistema; e *(iv)* descrição e definição de como o sistema pode vir a falhar. As falhas funcionais devem ser listadas na segunda coluna após as funções e ordenadas em ordem alfabética, como ilustrado na Figura 8.

**Figura 8-Planilha de Funções e Falhas Funcionais**

| RCM    |   | PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAS |  |         |  |
|--------|---|--|--|---------|--|
|        |   | SISTEMA:                               | TURBINA DE 5MW   |         |  |
|        |   | SUB-SISTEMA:                           | SISTEMA DE EXAUSTÃO                                      |         |  |
|        |   | DATA:                                  | 22/11/2000   | EQUIPE: |  |
| FUNÇÃO |   | FALHA FUNCIONAL (Perda de função)      |  |         |  |
| 1      | Canalizar todo o gás quente da turbina sem restrições a um ponto fixo de 10m acima do telhado | A                                      | Incapaz de canalizar o gás                               |         |  |
|        |   | B                                      | Fluxo de gás restrito                                    |         |  |
|        |   | C                                      | Falha para conter o gás                                  |         |  |
|        |   | D                                      | Falha para levar o gás a 10m acima do telhado            |         |  |
| 2      | Reduzir os níveis de ruído até a taxa de ruído da ISO 30 a 150m                               | A                                      | O nível de ruído excede a taxa de ruído da ISO 30 a 150m |         |  |
| 3      | Assegurar que a temperatura superficial da tubulação na sala da turbina não passe de 60°C     | A                                      | A temperatura superficial da tubulação passa de 60°C     |         |  |

Fonte: Moubray (2000, p.52)

Após a definição das falhas funcionais é preciso definir os itens críticos. Em sua obra Moubray não define a seleção para os itens críticos. Porém, outros autores sugerem outras ferramentas para a seleção desses sistemas. Como, a ferramenta de Ishikawa, o princípio de Pareto, etc.

A coleta de dados é uma das etapas mais importantes para qualquer metodologia ou ferramenta, no MCC, não é diferente. De acordo com Siqueira (2014), as informações para análise da MCC, pode ser dividida nas seguintes etapas: (i) descrição textual do sistema; (ii) definição do contexto operacional; (iii) características das fronteiras; (iv) diagrama organizacional de hierarquia dos subsistemas e componentes; (v) diagrama funcional do sistema; e (vi) diagrama lógico funcional do sistema.

Em algumas situações, têm-se poucos dados e informações sobre o sistema e/ou equipamento, principalmente quando os equipamentos são novos. Neste caso, o mais recomendado é procurar informações nos fabricantes. Para a implementação e o sucesso do MCC, é necessário obter dados confiáveis para traçar a metodologia. Siqueira (2014) descreve que para obter sucesso no MCC, é fundamental dispor de histórico, frequência e causa básicas da falha, pois a metodologia não pode ser implantada com suposições.

Na etapa, análise de Modos e efeitos de falhas, são identificados, os modos e os efeitos de falha que são provavelmente a causa da falha funcional. Isto é realizado através da ferramenta FMEA. Siqueira (2014) em sua obra determina os itens críticos que devem ser analisados na ferramenta, são eles: (i) funções desempenhadas pelo sistema; (ii) falhas

associadas a cada função; (iii) modos como as falhas se originam; (iv) efeitos provocados pelas falhas; e (v) severidade de cada efeito. Ele ainda cita outros tipos de ferramenta que podem ser utilizadas para a definição modos e efeitos das falhas, como a FTA (Árvore de Falha).

Para etapa de análise dos modos e efeitos de falhas, Moubray (2000) sugere a utilização de uma planilha similar à da Figura 8, denominada, Planilha de Análise dos Modos de Falhas e Efeitos, conforme Figura 9:

**Figura 9** - Planilha de Análise dos Modos de Falha e Efeitos

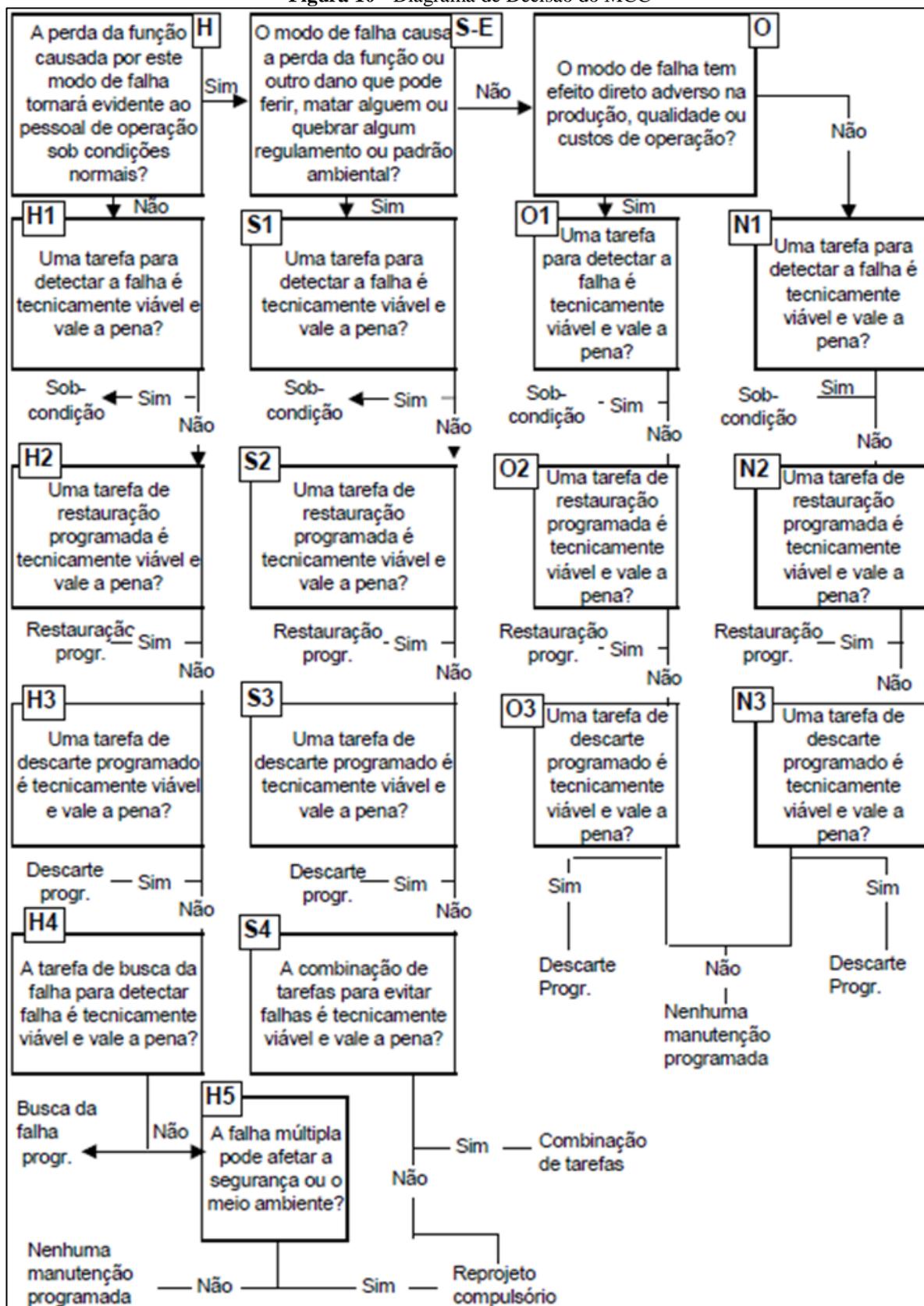
| PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS   |                                  |  |   |
|--|----------------------------------|--|---|
| RCM  | SISTEMA: TURBINA DE 5MW          |  |   |
|  | SUB-SISTEMA: SISTEMA DE EXAUSTÃO |  |   |
|  | DATA: 22/11/2000                 | EQUIPE:  |   |
| FUNÇÃO   | FALHA FUNCIONAL                  | MODO DE FALHA  | EFEITO DA FALHA   |
| 1<br>Canalizar todo o gás quente da turbina sem restrições a um ponto fixo de 10m acima do telhado | A<br>Incapaz de canalizar o gás  | 1<br>Suportes do silenciador corroídos                               | O conjunto do silenciador desmorona e cai no fundo da chaminé. A pressão faz a turbina subir violentamente e parar. O tempo de paralisação para repor o silenciador, até quatro semanas.                      |
|  |                                  | 1<br>Parte do silenciador solta-se devido à fadiga                   | Dependendo da natureza do bloqueio, a temperatura de exaustão pode subir até desligar a turbina. Parte da turbina pode ser danificada.  |
|  |                                  | 1<br>Os parafusos que prendem a chaminé são cisalhados pela corrosão | A chaminé fica escorada por cabos antes de cair, mas pode inclinar-se um pouco. Se cair, há uma grande probabilidade de atingir uma estrutura onde há pessoas. Tempo de reparo alguns dias a algumas semanas. |

Fonte: Moubray (2000, p.89)

Quanto a etapa, Seleção das tarefas de manutenção preventiva, descreve-se o diagrama de decisão do MCC, que integra todo o processo logico para a decisão estratégica única. Segundo Moubray (2000), a partir deste diagrama é possível responder as seguintes questões: (i) qual rotina da manutenção deve ser adotada (se tiver alguma); (ii) quais falhas são suficientemente sérias para justificar em reprojeto; e (iii) casos em que uma decisão deliberada tem de ser tomada para deixar a falha acontecer.

O diagrama de decisão é utilizado para especificar quais tarefas de manutenção são aplicáveis e efetivas. A Figura 10 busca identificar os modos de falhas que estão ocultas para o operador com potencial de impacto humano e ambiental, com impacto a produção e qualidade do produto. Mostra esse diagrama sugerido por Moubray (2000), que consiste em uma série de perguntas. E as respostas conduzem à especificação de uma tarefa ou nova pergunta, que vai depender do equipamento e/ou sistema estudado.

Figura 10 - Diagrama de Decisão do MCC



Fonte: Moubray (2000, p.200)

As respostas devem ser registradas em planilhas de decisão, conforme o modelo na Figura 11. A planilha visa armazenar todas as informações e decisões realizadas durante o processo de seleção de tarefas.

**Figura 11** - Planilha de Decisão do RCM

| PLANILHA DE DECISÃO DO RCM |    |                                 |                            |     |   |                  |    |         |              |    |    |                 |            |             |  |  |
|----------------------------|----|---------------------------------|----------------------------|-----|---|------------------|----|---------|--------------|----|----|-----------------|------------|-------------|--|--|
| RCM                        |    | SISTEMA: TURBINA DE 5MW         |                            |     |   |                  |    |         |              |    |    |                 |            |             |  |  |
|                            |    | SUBSISTEMA: SISTEMA DE EXAUSTÃO |                            |     |   |                  |    |         |              |    |    |                 |            |             |  |  |
|                            |    | DATA: 22/11/2000                |                            |     |   |                  |    | EQUIPE: |              |    |    |                 |            |             |  |  |
| Referência Informação      |    |                                 | Avaliação de Conseqüências |     |   | Tarefa Pro Ativa |    |         | Ação default |    |    | Tarefa Proposta | Frequência | Responsável |  |  |
| F                          | FF | FM                              | H                          | S-E | O | H1               | H2 | H3      | H4           | H5 | S4 |                 |            |             |  |  |
|                            |    |                                 |                            |     |   | S1               | S2 | S3      |              |    |    |                 |            |             |  |  |
|                            |    |                                 |                            |     |   | O1               | O1 | O3      |              |    |    |                 |            |             |  |  |
|                            |    |                                 |                            |     |   | N1               | N2 | N3      |              |    |    |                 |            |             |  |  |
|                            |    |                                 |                            |     |   |                  |    |         |              |    |    |                 |            |             |  |  |
|                            |    |                                 |                            |     |   |                  |    |         |              |    |    |                 |            |             |  |  |

← Indica a função  
 ← Indica a falha funcional  
 ← Indica o modo de falha

Fonte: Moubray (2000, p.199)

Souza (2004) define a Planilha de Decisão e ela é dividida em dezesseis colunas. As colunas F, FF e FM, identificam o modo de falha em consideração e são usadas para cruzar referencias entre as Planilhas de Modo de Falhas e Efeitos de Decisão. As colunas H, S, E e O são usadas para registrar as questões referentes aos modos de falhas, a questão H está ligada as falhas ocultas e as demais (S, E e O) são referentes, respectivamente, a segurança, meio ambiente e capacidade operacional. As respostas possíveis são negativas ou afirmativas, que são preenchidas com as letras “S” para sim e “N” para não.

## 2.6. FMEA

De acordo com Carpinetti (2019), o FMEA, do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*, é um método usado no desenvolvimento de processo de produto para desenvolver ações de melhoria para a minimização ou eliminação de falhas no sistema e pode ser aplicada tanto em produto e/ou processo de fabricação.

Palady (2012) ainda acrescenta que o FMEA é uma ferramenta de baixo risco, mas eficiente para prevenção de problemas e determinação de soluções mais eficazes em termos de custos, além de oferecer uma abordagem mais estruturada para avaliação e direcionamento no desenvolvimento de novos projetos e processos. Conforme Carpinetti (2019), quando FMEA é aplicado para produtos e/ou processos, focando em ações de possíveis melhorias, corretivas/preventivas, deve seguir a seguinte sequência:

- Avaliar e determinar todos os possíveis modos de falhas;
- Descrever todos os efeitos e modos de falhas do produto ou processo;
- Definir as causas dos modos de falhas.

Carpinetti (2019) ainda acrescenta que após a análise de falhas é possível quantificar o risco da falha no sistema, através do produto dos indicadores severidade (indica a severidade que a falha pode afetar o cliente), ocorrência (a partir da análise da causa e de outras evidências, qual a frequência da ocorrência de falha) e detecção (qual a chance de detectar a ocorrência da falha antes que ela gere um efeito indesejável para o cliente), como é mostrado na Equação 16.

$$RPN = Severidade \times Ocorrência \times Detecção \quad (16)$$

O RPN é um indicador de risco e é medido a partir de uma escala de 0 a 1000. A pontuação é dada de acordo com a experiência dos membros da equipe responsável pela construção do FMEA. Carpinetti (2019) define o peso desses indicadores de acordo com a Figura 12.

**Figura 12 - Componentes do RPN**

| Componente do RPN | Classificação             | Peso  |
|-------------------|---------------------------|-------|
| Severidade        | Perigoso em aviso prévio  | 10    |
|                   | Perigoso com aviso prévio | 9     |
|                   | Muito alto                | 8     |
|                   | Alto                      | 7     |
|                   | Moderado                  | 6     |
|                   | Baixo                     | 5     |
|                   | Muito Baixo               | 4     |
|                   | Menor                     | 3     |
|                   | Muito menor               | 2     |
|                   | Nenhum                    | 1     |
| Ocorrência        | Muito alta                | 10,9  |
|                   | Alta                      | 8,7   |
|                   | Moderada                  | 6,5,4 |
|                   | Baixa                     | 3,2   |
|                   | Remota                    | 1     |
| Detecção          | Muito grande              | 1,2   |
|                   | Grande                    | 3,4   |
|                   | Moderada                  | 5,6   |
|                   | Pequena                   | 7,8   |
|                   | Muito pequena             | 9,10  |

Fonte: Adaptado de Carpinetti (2019)

A sequência de trabalho para elaborar o FMEA, conforme Carpinetti (2019), pode ser descrita pelos seguintes passos:

- Identificar as funções de cada etapa;

- Identificar seus modos de falhas;
- Descrever a causa e efeitos dos modos de falhas encontrados;
- Determinar os índices de severidade, ocorrência e detecção;
- Calcular o RPN;
- Determinar ações futuras para correção das falhas.

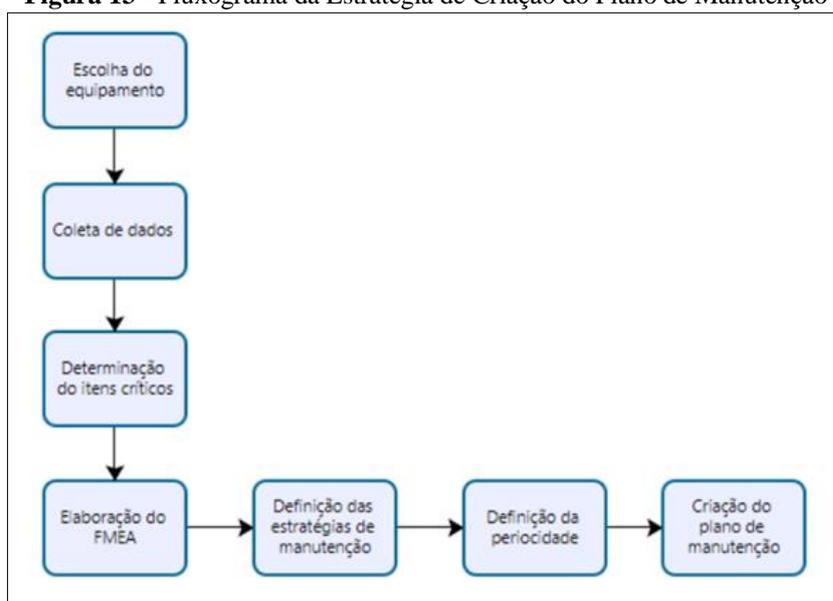
### 3. METODOLOGIA

Segundo Martins (2012), as pesquisas podem ser de abordagem quantitativa e qualitativa. A abordagem qualitativa, onde é considerado as percepções dos indivíduos como fonte de informação relevante para o desenvolvimento do estudo. Já na abordagem quantitativa, o desenvolvimento da pesquisa se dá através do estabelecimento de variáveis juntamente com a mensuração e análise de dados.

O referido trabalho trata-se de um estudo de caso realizado em uma indústria alimentícia de abrangência regional – cujo nome não será revelado. O objetivo deste estudo é propor um plano de manutenção para um equipamento de grande importância para o sistema produtivo da empresa. A análise apresenta uma narrativa descritiva, cujo objetivo é relatar os elementos importantes dentro do processo. E, as ferramentas e metodologias aplicadas são de caráter quantitativo e qualitativo. Quantitativo quando há coleta e análise de dados e variáveis mensuráveis e qualitativo quando há investigação dos possíveis modos e efeitos de falhas do equipamento.

De acordo com a literatura, a estratégia para a definição do plano de manutenção foi sugerida e adaptada para se obter melhores resultados. O fluxograma da Figura 13 mostra as etapas realizadas neste estudo até chegar no plano de manutenção.

**Figura 13** - Fluxograma da Estratégia de Criação do Plano de Manutenção



Fonte: Autor (2022)

Escolha do equipamento: O equipamento escolhido é responsável pelo processo mais importante da produção, sendo assim, possuindo relevância suficiente para um estudo de Manutenção Centrada de Confiabilidade.

Coleta de dados: O histórico de falhas é um parâmetro fundamental para a utilização das ferramentas do MCC. Nesta etapa, foi utilizado o banco de dados da empresa, onde são dispostas as paradas de manutenção, e foi utilizado apenas o intervalo de 2 meses.

Determinação dos itens críticos: O equipamento foi determinado a partir dos dados da planilha de paradas de manutenção. E, logo em seguida foi utilizada a confiabilidade para determinar o sistema do equipamento escolhido para a análise do MCC.

Elaboração do FMEA: Por se tratar de um equipamento relativamente novo, o FMEA, foi escolhido como uma ferramenta para identificar falhas potenciais. Para a identificação dessas falhas o sistema foi dividido em subsistemas e, desta forma, foram identificados seus modos de falhas, suas causas e seus efeitos. Em seguida o seu RPN, sendo eles: ocorrência, severidade e detecção, onde foram atribuídos os seus respectivos pesos de acordo com a realidade do equipamento e o ambiente fabril.

Definição das estratégias de manutenção: Após a construção do FMEA e encontrados os RPN para todas as falhas identificadas. Foi atribuído um nível de criticidades para cada falha funcional e foram consideradas apenas aquelas com criticidade A, para este estudo. Em seguida foi aplicado a metodologia do MCC para os itens de criticidade A.

Definição de periodicidade: A periodicidade foi definida a partir das análises lógicas de decisão da MCC, que foram descritas na seção 2.5. Também, foi usado informações do software e a experiência da equipe de manutenção.

Criação de um plano de manutenção: A última etapa para a elaboração deste plano de manutenção foi a criação da lista de tarefas. Essas informações agregam valor ao plano de manutenção, pois elas facilitam a busca de especificações técnicas e da realização das atividades, facilitando assim, a função do programador de manutenção.

## 4. ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso, foi realizado em uma empresa alimentícia, considerada líder de produção de biscoito na região Nordeste que dispõe de mais de 100 produtos distribuídos em biscoitos recheados e amanteigados. A organização possui uma unidade industrial localizada no interior de Pernambuco e atende as regiões Norte, Nordeste e Sudeste. Ela foi fundada em 2014 e possui cerca de 2000 mil funcionários.

Neste capítulo, são apresentadas as estratégias para a definição do plano de manutenção do equipamento escolhido para este trabalho, o levantamento de dados e a utilização dos conceitos que foram apresentados no capítulo 2, como o FMEA e confiabilidade.

### 4.1. COLETA DE DADOS

A falta de informação é uma das maiores dificuldades para a implementação da metodologia da MCC. Assim, como a falta de apontamento de falhas, que é motivo e causa das mesmas é um dos principais problemas que atrapalham a análises de falhas dos equipamentos, por isso é muito importante montar uma base de dados bem estruturada e confiável.

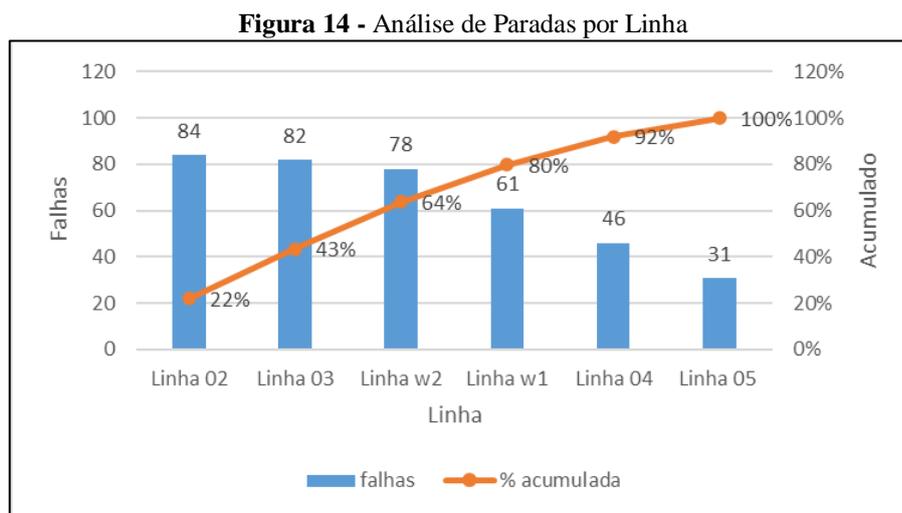
Além de um banco de dados confiável, também é necessária documentação histórica de manutenção, a qual geralmente deve ser feita após realizar a manutenção, e nele deve incluir o equipamento que sofreu a manutenção, os materiais utilizados, a quantidade de mão de obra e o tempo de reparo. Essas informações devem ser usadas como entrada dentro de sistemas de manutenção para estratégias de melhorias futuras do equipamento.

A empresa, a qual ocorreu o estudo possui apenas um equipamento instalado e em funcionamento na planta fabril. Os dados foram coletados e analisados, onde foi possível encontrar as principais falhas de modo geral. Para este trabalho, foi utilizado a planilha de paradas de manutenção, que foi cedida pela gerência e informações do software de manutenção.

Por se tratar de uma empresa nova no mercado, onde os modelos de sistemas de gestão ainda estão sendo implementados, as informações de manutenção estavam incompletas, então para minimizar os erros das coletas de dados obtidos foram adotados os dados de 2 meses de produção. Para uma avaliação mais robusta dos componentes é conveniente a busca de uma base de dados maior, para melhores resultados.

#### 4.2. ANÁLISE DO HISTÓRICO DE DADOS

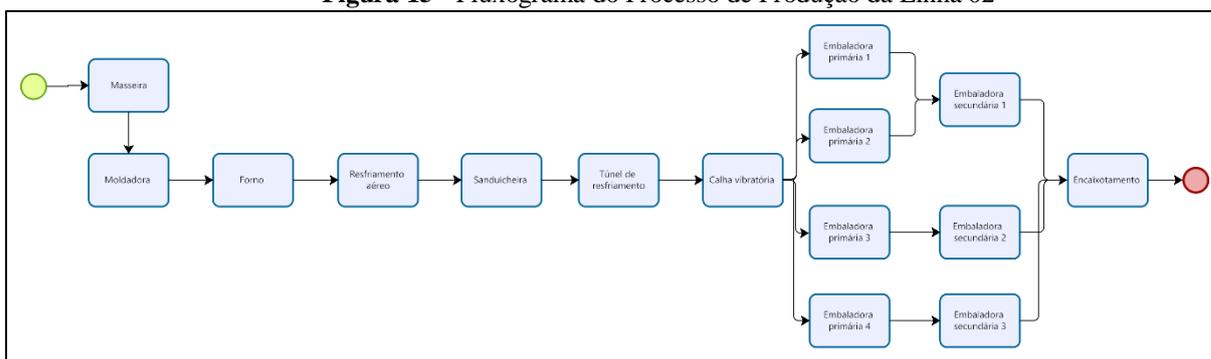
Os dados foram coletados a partir da planilha de controle de paradas de máquina, que foi cedida pela gerência, a partir disso, foram elaborados gráficos que determinam o maior número de falhas, por linha e equipamento. A empresa possui 6 linhas de produção, onde o maior número de falhas ocorre na linha 02, como mostrado no gráfico da Figura 14:



Fonte: Autor (2022)

A linha 02, foi escolhida para o estudo deste trabalho. Por ser a linha com o maior número de paradas de manutenção. Ela é composta por 15 máquinas, que são dispostas de acordo com o fluxograma na Figura 15:

**Figura 15 - Fluxograma do Processo de Produção da Linha 02**

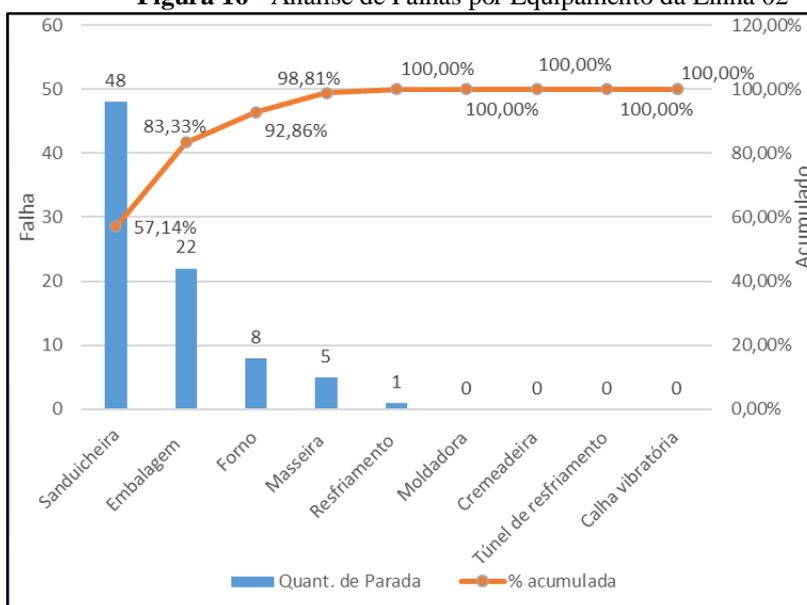


Fonte: Autor (2022)

- Maseira: Responsável pela preparação da massa do biscoito;
- Moldadora: Cortar e modelar o biscoito de acordo com o produto;
- Forno: Processo de secagem do biscoito;

- Resfriamento Aéreo: Processo onde o biscoito percorre várias esteiras aéreas até ser resfriado;
- Sanduicheira: Processo onde o biscoito recebe o recheio de acordo com o sabor do produto;
- Túnel de Resfriamento: Processo em que o biscoito é resfriado a uma baixa temperatura, para que o recheio fique com a consistência correta onde possa ser embalado;
- Calha vibratória: Processo em que o biscoito é agitado para que permaneça em fila, para ser introduzido nas máquinas de embalagem;
- Embalagem: São compostas por 7 máquinas, das quais 4 são primárias e 3 são secundárias e embalam o biscoito de acordo com seus filmes primários e secundários;
  - Embaladoras primárias: responsável pelo primeiro filme. Filme transparente que envolve o biscoito.
  - Embaladora secundária: forma a embalagem de gramatura maior, com três pacotes de biscoito.
- Encaixotamento: Embala os biscoitos em caixas maiores para ser colocados em paletes;

Após a análise de falhas por linhas, foi realizada análise de falhas por equipamento, e constatou-se que o maior número de paradas ocorre na sanduicheira, como mostrado na Figura 16.

**Figura 16 - Análise de Falhas por Equipamento da Linha 02**

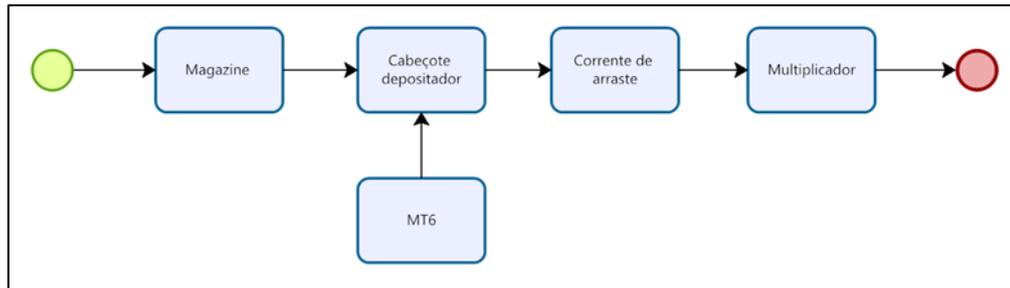
Fonte: Autor (2022)

### 4.3. EQUIPAMENTO

A escolha do equipamento é o primeiro passo da metodologia do MCC. Ele deve ser importante do ponto de vista operacional e financeiro (SIQUEIRA, 2014). Para este estudo foi escolhido a sanduicheira. Por apresentar a maior quantidade de falhas e por se tratar do equipamento mais importante do processo de produção de biscoito recheado. Portanto, diante disso, deve ser estudado a melhor forma de manter o equipamento operando. Trata-se de uma versão automatizada do processo de biscoito recheado, o qual é responsável por inserir o recheio no biscoito.

Segundo Flogliatto e Ribeiro (2011), sistema é um conjunto de componentes interconectados, que possuem o intuito de executar funções de forma confiável e eficiente. Moubray (2000) ainda complementa que os sistemas e o subsistemas devem ser analisados dentro do contexto operacional, analisando o desempenho para cada função. A sanduicheira pode ser dividida em alguns sistemas, como mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Fluxograma do Processo dos Sistemas da Sanduicheira



Fonte: Autor (2022)

- Magazine responsável pelo empilhamento do biscoito superior e inferior do sanduiche. Ele passa o biscoito para o cabeçote depositador para receber o recheio que vem do MT6;
- MT6 armazena e bombeia o recheio para o cabeçote depositador;
- Cabeçote depositador responsável por adicionar o recheio no biscoito inferior e juntá-lo ao superior formando o sanduiche/biscoito recheado;
- Corrente de Arraste conduz o sanduiche até o multiplicador;
- Multiplicador pressiona o sanduiche e multiplica os biscoitos para o túnel de resfriamento.

#### 4.4. DETERMINAÇÃO DO ITEM CRÍTICO

O papel destes componentes serão o de possuir uma análise da estratégia de manutenção. Para isso, serão utilizados seus dados de TTFs (tempo entre falhas). Foram definidas amostras suficientes dos sistemas, onde de acordo com a análise de confiabilidade, a partir da função Weibull, é possível visualizar o comportamento da probabilidade e taxa de falhas dos sistemas do equipamento.

Para determinar os itens críticos, o levantamento de falhas foi essencial para a determinação destes componentes, então nesta etapa foram determinados os seus tempos em minutos até a falha, conforme a Tabela 1. Considerando que esse é um trabalho piloto e por se tratar de uma linha nova, não foi possível um número grande de amostras.

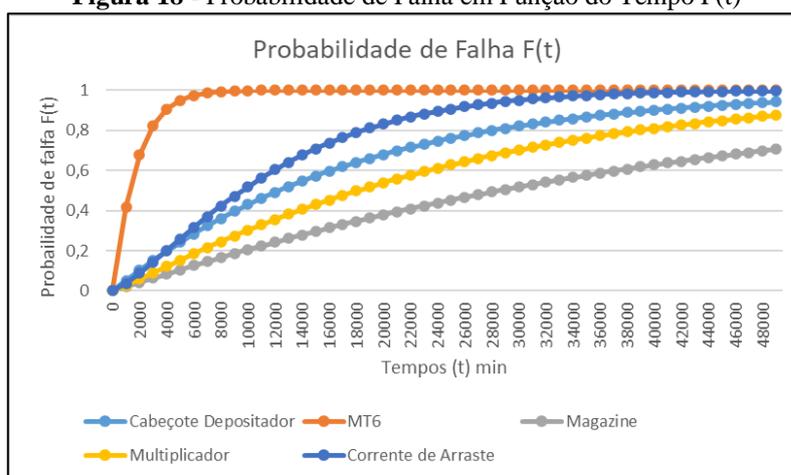
**Tabela 1** - Tempo de Paradas em Minutos

| Amostra | Corrente de Arraste | Cabeçote depositador | MT6   | Magazine | Multiplicador |
|---------|---------------------|----------------------|-------|----------|---------------|
| 1       | 1440                | 1440                 | 1440  | 2880     | 1440          |
| 2       | 2880                | 2880                 | 2880  | 5560     | 2880          |
| 3       | 5760                | 5200                 | 5400  | 9650     | 5400          |
| 4       | 8640                | 6800                 | 11520 | 15550    | 11520         |
| 5       | 12920               | 10020                | 13015 | 16500    | 13015         |
| 6       | 15020               | 12960                | 15840 | 22500    | 15840         |
| 7       | 16600               | 15600                | 21600 | 36500    | 21600         |
| 8       | 18720               | 16200                | 22600 | 45000    | 22600         |
| 9       | 36000               | 18200                | 25000 | -        | 25000         |
| 10      | 42000               | 20010                | 36000 | -        | 36000         |
| 11      | -                   | 25700                | 42000 | -        | 42000         |
| 12      | -                   | 32020                | -     | -        | -             |
| 13      | -                   | 40020                | -     | -        | -             |

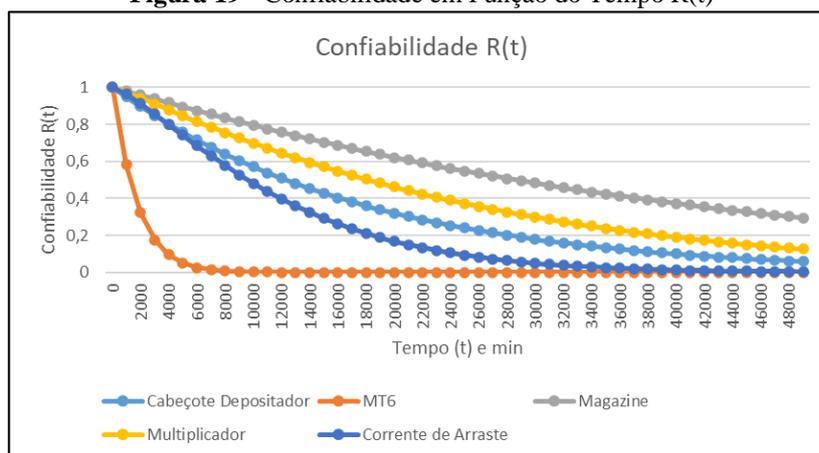
Fonte: Autor (2022)

Após a definição dos TTF's, é possível determinar as funções de Confiabilidade e o modelo matemático que represente a melhor taxa de falhas, ou seja, a distribuição de probabilidade. Neste estudo será utilizada a distribuição de Weibull, por ser o modelo que melhor atende sistemas com muitos componentes e representa a probabilidade de falha ao longo do tempo.

Foi utilizado a análise de dados do Excel, onde foi possível realizar o método de regressão e assim descobrir os parâmetros de entrada  $\alpha$  (alfa) e  $\beta$  (beta) da distribuição de Weibull, para cada sistema. As Figuras 18 e 19 mostram as funções de probabilidade de falha e confiabilidade, em relação ao tempo.

**Figura 18** - Probabilidade de Falha em Função do Tempo F(t)

Fonte: Autor (2022)

**Figura 19 - Confiabilidade em Função do Tempo R(t)**

Fonte: Autor (2022)

As ferramentas de confiabilidade auxiliam na geração de soluções analíticas e não respostas lógicas, assim, é necessário analisar e avaliar as informações das metodologias de confiabilidade, para que possam ser tomadas decisões mais assertivas. A partir dos resultados obtidos anteriormente é possível analisar o equipamento. E Todos os sistemas possuem taxa de falhas crescente indicando que o equipamento está em situação de fadiga, desgastes, corrosão etc. Onde, as falhas aumentam à medida que o equipamento envelhece. Analisando pela curva da banheira este equipamento está na terceira fase.

O intuito deste trabalho é a elaboração do plano de manutenção que contemple, periodicidade, equipamento, atividades, localização e baixos custos de reparos. A partir das análises de confiabilidade, foi possível observar o componente mais crítico, é o MT6. Devido a sua taxa de falha ser maior que os demais sistemas, como mostrado na Figura 19.

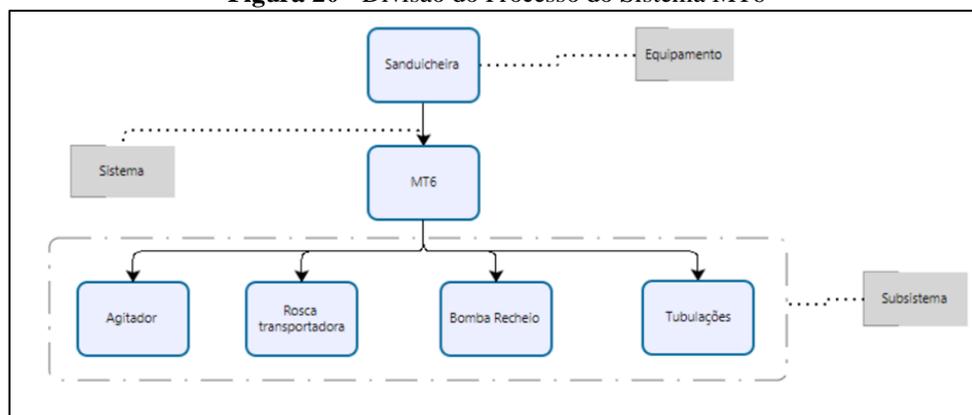
Com a análise de confiabilidade juntamente com a distribuição de Weibull, foi possível traçar as taxas de falhas do sistema crítico, e definir qual sistema aplicar a metodologia da MCC. Entretanto, por se tratar de um equipamento com 5 sistemas e com muitos subsistemas mecânicos e eletrônicos, só foram considerados para este trabalho, os itens mecânicos.

#### 4.5. ELABORAÇÃO DO FMEA

O FMEA foi escolhido como a ferramenta de confiabilidade para o apoio de decisões por se tratar de uma ferramenta com características de identificações e classificação de falhas potenciais observando o efeito dessas falhas nos vários níveis do sistema, além de calcular a priorização de risco RPN, o qual é calculado de acordo com os seus critérios e varia ente 1 e 1000, sendo que, quanto maior for o valor maior deverá ser sua priorização de falhas (Carpinetti, 2011).

De acordo com Carpenetti (2011), o primeiro passo para a elaboração do FMEA é a divisão dos processos de operação do equipamento. Desta forma, podemos definir o sistema escolhido anteriormente, de acordo com a Figura 20.

**Figura 20 - Divisão do Processo do Sistema MT6**



Fonte: Autor (2022)

Realizada a divisão do processo, foram identificadas suas respectivas funções, causas e efeitos de falhas. Para o melhor resultado, foi envolvido pessoas de qualidade, produção e manutenção, com isso, gerando um processo de identificação mais amplo e confiável. Após elaborado a divisão do processo, é preciso determinar os critérios do FMEA e as suas respectivas notas.

O FMEA possui três critérios para a classificação de falhas, sendo eles: severidade, ocorrência e detecção. Tais critérios devem ser analisados de acordo com a realidade do equipamento, considerando vida útil, tempo de falhas e local de instalação. O critério severidade (S) foi determinado conforme a Tabela 2:

**Tabela 2 - Nota de Critério de Severidade (S)**

| Descrição da Escala de Severidade  | Grau |
|--|------|
| Efeito não percebido pelo o cliente  | 1    |
|  | 2    |
|  | 3    |
| Efeito insignificante, mas que perturba o cliente  | 4    |
|  | 5    |
| Efeito menor, mas perturba o cliente, fazendo ele procurar o SAC   | 6    |
|  | 7    |
| Efeito moderado, que prejudica o desempenho do produto, levando a uma falha grave, impedindo a sua funcionalidade mas com um leve risco de segurança | 8    |
|  | 9    |
| Efeito crítico, provoca insatisfação do cliente, interrompe a função do projeto, gera custo e traz risco de segurança operacional e alimentar        | 10   |

Fonte: Autor (2022)

O critério de ocorrência foi definido a partir do histórico de parada e da experiência da equipe de manutenção e produção. Sendo assim, foi determinado conforme a operação do equipamento de acordo com a Tabela 3.

**Tabela 3 - Nota de Critério de Ocorrência (O)**

| <b>Descrição da Escala de Ocorrência</b> | <b>Grau</b> |
|--|-------------|
| A cada ano                               | 1           |
|  | 2           |
| A cada 6 meses                           | 3           |
|  | 4           |
| A cada 2 meses                           | 5           |
|  | 6           |
| A cada mês                               | 7           |
|  | 8           |
| A cada semana                            | 9           |
|  | 10          |

Fonte: Autor (2022)

Para determinação do critério detecção (D), não sugere muitas modificações da literatura, portanto, como padrão, ficou definido da seguinte forma de acordo com a Tabela 4.

**Tabela 4 - Nota de Critério de Detecção (D)**

| <b>Descrição da Escala de Detecção</b> | <b>Grau</b> |
|--|-------------|
| Certamente será detectado              | 1           |
|  | 2           |
| Grande probabilidade de ser detectado  | 3           |
|  | 4           |
| Provavelmente será detectado           | 5           |
|  | 6           |
| Provavelmente não será detectado       | 7           |
|  | 8           |
| Certamente não será detectado          | 9           |
|  | 10          |

Fonte: Autor (2022)

Identificados os modos de falhas e realizados suas respectivas classificações, deve-se partir para a priorização de risco, fazendo o cálculo do RPN. Segundo Carpinetti, (2011), o RPN é calculado de acordo com o produto dos seus critérios, sendo que, quanto maior for o valor maior deverá ser sua priorização das falhas. A definição do RPN, foi elaborada com a equipe de manutenção, produção e qualidade. Como o RPN varia entre 1 e 1000, foi definido que devem ser analisadas falhas acima de 80% de acordo com o parâmetro definido pela empresa. Logo, foi possível identificar as categorias de riscos. Para este trabalho, foi considerado 82% para um melhor resultado.

De acordo com equipamento, a equipe de produção, qualidade e manutenção, foram definidos os valores do RPN como mostrado na Tabela 5:

Tabela 5 - Definição da Categoria de Risco (RPN)

| Categoria do Risco | Valor do RPN         | Criticidade |
|--------------------|----------------------|-------------|
| Aceitável          | $RPN \leq 115$       | C           |
| Alerta             | $115 < RPN \leq 180$ | B           |
| Inaceitável        | $RPN > 180$          | A           |

Fonte: Autor (2022)

Após feita toda a metodologia sugerida pelo FMEA, é possível representar o FMEA deste estudo de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 - Representação do FMEA

| Função   | subsistema           | Função  | Função Funcional                  | Modo de Falha                                | Efeito de Falha   | Causa da falha   | Severidade | Ocorrência | Deteção | RPN | Criticidade |
|--|----------------------|---|-----------------------------------|--|---|--|------------|------------|---------|-----|-------------|
| Mixer e armazenar o creme, de forma a mantê-lo homogêneo, para ser transferido para o cabeçote depositador | Agitador             | Movimentar o creme, de forma a mantê-lo homogêneo | Não tracionar a hélice            | Quebra do rolamento                          | Para completamente a hélice. Causando uma parada de mais de 2 horas   | Falta de Lubrificação  | 8          | 5          | 6       | 240 | A           |
|  |                      |   |                                   | Desgaste do Mancal                           | Quebra do Mancal, parando a hélice. Causando uma parada de mais de 2 hora   | Falta de Lubrificação e parafuso de fixação do mancal desalinhado e/ou folgado | 8          | 5          | 6       | 240 | A           |
|  |                      |   |                                   | Quebra da hélice                             | Para completamente o agitador. Deixando recheio duro sem homogeneidade. Parada de linha de mais de 3 horas.                               | Falta de limpeza e lubrificação  | 9          | 4          | 7       | 252 | A           |
|  |                      |   |                                   | Quebra do parafuso central                   | Para a hélice, impedindo dela girar. Perdendo a homogeneidade do recheio. Parada de 30 minutos  | Falta de limpeza e reaperto  | 6          | 6          | 6       | 216 | A           |
|  |                      |   | velocidade acima do especificado  | Perda de referência na receita               | Perde a homogeneidade do recheio. Parada de linha de 10 min   | Erro na receita  | 4          | 6          | 6       | 144 | B           |
|  |                      |   | velocidade abaixo do especificado | Perda de referência na receita               | Perde a homogeneidade do recheio. Parada de linha de 10 min   | Erro na receita  | 4          | 6          | 6       | 144 | B           |
|  | Rosca transportadora | Transportar o creme até a bomba de recheio        | Travamento do conjunto            | Quebra do rolamento                          | Para completamente a rosca transportadora. Causando um parada de 2 horas de reparo  | Falta de lubrificação  | 8          | 6          | 5       | 240 | A           |
|  |                      |   |                                   | Desgaste do Mancal                           | Quebra do mancal e para completamente a rosca transportadora 2,5 hora para a troca do mancal  | Falta de Lubrificação e parafuso de fixação do mancal desalinhado e/ou folgado | 9          | 4          | 6       | 216 | A           |
|  |                      |   | Rotação em sentido contrário      | Perda de referência                          | O recheio não é transportado para as tubulações. Parada de linha de 20 min  | Erro na receita  | 4          | 6          | 6       | 144 | B           |
|  | Bomba recheio        | Bombear o creme para as tubulações                | Travamento da bomba               | Quebra do rolamento                          | Para completamente a bomba. Impossibilitando a transferência do recheio para as tubulações. Causando uma parada de 1 hora                 | Falta de Lubrificação  | 6          | 6          | 6       | 216 | A           |
|  |                      |   |                                   | Desgaste do eixo                             | Quebra do Eixo. Para completamente a bomba. Impossibilitando a transferência do recheio para as tubulações. Causando uma parada de 1 hora | Falta de lubrificação e travamento do rolamento                                | 6          | 6          | 6       | 216 | A           |
|  | Tubulação de recheio | Transferir o creme até o cabeçote depositador     | Vazamento nas tubulações          | Desgastes internos e externos nas tubulações | Vazamento de recheio. Não há parada de produção   | Falta de limpeza   | 4          | 2          | 8       | 64  | C           |
|  |                      |   | Entupimento                       | Corpo estranho dentro da tubulação           | O recheio não é transferido para o cabeçote depositador. Causando uma parada de mais de 1 hora.   | Falta de limpeza   | 6          | 5          | 6       | 180 | A           |

Fonte: Autor (2022)

#### 4.6. ELABORAÇÃO DO MCC

Para a aplicação da metodologia MCC, foram seguidas as etapas descritas no capítulo 2 deste trabalho. Assim, como para construir o FMEA, também foi constituída as equipes de

manutenção, produção e qualidade, para construção do plano de manutenção utilizando a metodologia da MCC.

Com base nos dados apresentados anteriormente, foi preenchido a planilha de funções e falhas funcionais dos subsistemas. Nesta seção serão ilustradas as planilhas do subsistema do Agitador, as demais planilhas estão no Anexo A.

**Tabela 7 - Planilha de Funções e Falhas do MT6 Agitador**

| MCC    | PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS           |            |                                   |                                    |
|--------|---|------------|-----------------------------------|------------------------------------|
|        | SISTEMA   | MT6        |                                   |                                    |
|        | SUBSISTEMA  | AGITADOR   |                                   |                                    |
|        | DATA  | 22/09/2022 |                                   |                                    |
| FUNÇÃO | FALHA FUNCIONAL ( Perda da Função)                |            | CRITICIDADE                       |                                    |
| 1      | Movimentar o creme, de forma a mantê-lo homogêneo | A          | Não girar a hélice                | Criticidade A, RPN >=180           |
|        |   | B          | Velocidade acima do especificado  | Criticidade B RPN, entre 115 e 180 |
|        |   | C          | Velocidade abaixo do especificado | Criticidade B RPN, entre 115 e 180 |

Fonte: Autor (2022)

Após a identificação da falha funcional, é preciso apurar os efeitos das falhas associadas a cada modo de falha. Conforme o FMEA foi identificado as falhas funcionais dos subsistemas e foi considerado apenas os subsistemas críticos, que de acordo com o RPN, são aquelas que possuem criticidade A, que foram identificados na etapa anterior. Na Tabela 8 foram identificados os modos e os efeitos de falhas para o subsistema Agitadora, as demais planilhas estão no anexo B.

**Tabela 8 - Planilha dos Modos de Falhas e Efeitos Agitador**

| MCC    | PLANILHA DOS MODOS DE FALHAS E EFEITOS            |               |   |  |
|--------|---|---------------|---|--|
|        | SISTEMA   | MT6           |   |  |
|        | SUBSISTEMA  | AGITADOR      |   |  |
|        | DATA  | 22/09/2022    |   |  |
| FUNÇÃO | FALHA FUNCIONAL ( Perda da Função)                | MODO DE FALHA | EFEITO DE FALHA   |  |
| 1      | Movimentar o creme, de forma a mantê-lo homogêneo | A             | Não girar a hélice  | 1 Quebra do rolamento<br>Para completamente a hélice. Causando uma parada de mais de 2 hora. |
|        |   |               | 2 Desgaste do Mancal<br>Quebra do mancal, parando a hélice.   | Causando uma parada de mais de 2 hora.   |
|        |   |               | 3 Quebra da hélice<br>Para completamente o agitador. Deixando recheio duro sem homogeneidade. Parada de linha de mais de 3 horas. |  |
|        |   |               | 4 Quebra do parafuso central<br>Para a hélice impedindo dela girar. Perdendo a homogeneidade do recheio. Parada de 30 minutos.    |  |

Fonte: Autor (2022)

Para os itens crítico, que foram selecionados na etapa anterior foram identificados os modos e efeitos de falha. Para definir as tarefas de manutenção preventiva aplicáveis aos modos de falhas definidos na etapa anterior, foi utilizado o Diagrama de Decisão do MCC, ilustrado

na Figura 10. As informações coletadas foram registradas na Planilha de Decisão do MCC, conforme a Tabela 9. No campo tarefa proposta, foi descrito o tipo de manutenção que deve seguir. As siglas utilizadas na planilha foram explicadas na seção 2.5.4. As planilhas dos demais conjuntos estão no anexo C.

**Tabela 9 - Planilha de Decisão do MCC Agitador 1**

| MCC                   |    | PLANILHA DE DECISÃO DO MCC |   |     |                  |    |    |              |    |    |    |                     | TAREFA PROPOSTA | FREQUÊNCIA | RESPONSÁVEL |
|-----------------------|----|----------------------------|---|-----|------------------|----|----|--------------|----|----|----|---------------------|-----------------|------------|-------------|
|                       |    | SISTEMA:                   |   |     | MT6              |    |    |              |    |    |    |                     |                 |            |             |
|                       |    | SUBSISTEMA:                |   |     | AGITADOR         |    |    |              |    |    |    |                     |                 |            |             |
|                       |    | DATA:                      |   |     | 22/09/2022       |    |    |              |    |    |    |                     |                 |            |             |
| Referência Informação |    | Avaliação de consequências |   |     | Tarefa pro ativa |    |    | Ação default |    |    |    |                     |                 |            |             |
| F                     | FF | FM                         | H | S-E | O                | H1 | H2 | H3           | H4 | H5 | S4 |                     |                 |            |             |
|                       |    |                            |   |     |                  | S1 | S2 | S3           |    |    |    |                     |                 |            |             |
|                       |    |                            |   |     |                  | O1 | O2 | O3           |    |    |    |                     |                 |            |             |
|                       |    |                            |   |     |                  | N1 | N2 | N3           |    |    |    |                     |                 |            |             |
| 1                     | A  | 1                          | S | N   | S                | S  | X  | X            | X  | X  | X  | Tarefa sob-condição |                 |            |             |
| 1                     | A  | 2                          | S | N   | S                | S  | X  | X            | X  | X  | X  | Tarefa sob-condição |                 |            |             |
| 1                     | A  | 3                          | S | N   | S                | S  | X  | X            | X  | X  | X  | Tarefa sob-condição |                 |            |             |
| 1                     | A  | 4                          | S | N   | S                | S  | X  | X            | X  | X  | X  | Tarefa sob-condição |                 |            |             |

Fonte: Autor (2022)

A última etapa de implementação do MCC é a elaboração do plano de manutenção. Foram considerados os tipos de manutenção recomendados na etapa anterior para os modos de falhas. A Tabela 10 abaixo mostra a Planilha de Decisão com o plano de manutenção do subsistema Agitador. As planilhas dos demais conjuntos estão no Anexo D.

Para cada modo de falha, foi sugerido atividades para o bloqueio dessas falhas. Para a seleção dessas atividades, foram considerados os dados do software e a experiência da equipe de manutenção e produção.

**Tabela 10 - Planilha de Decisão do MCC Agitador 2**

| MCC                   |    | PLANILHA DE DECISÃO DO MCC |   |     |                  |    |    |              |    |    |    |  | TAREFA PROPOSTA | FREQUÊNCIA | RESPONSÁVEL |              |
|-----------------------|----|----------------------------|---|-----|------------------|----|----|--------------|----|----|----|--|-----------------|------------|-------------|--------------|
|                       |    | SISTEMA:                   |   |     | MT6              |    |    |              |    |    |    |  |                 |            |             |              |
|                       |    | SUBSISTEMA:                |   |     | AGITADOR         |    |    |              |    |    |    |  |                 |            |             |              |
|                       |    | DATA:                      |   |     | 22/09/2022       |    |    |              |    |    |    |  |                 |            |             |              |
| Referência Informação |    | Avaliação de consequências |   |     | Tarefa pro ativa |    |    | Ação default |    |    |    |  |                 |            |             |              |
| F                     | FF | FM                         | H | S-E | O                | H1 | H2 | H3           | H4 | H5 | S4 |  |                 |            |             |              |
|                       |    |                            |   |     |                  | S1 | S2 | S3           |    |    |    |  |                 |            |             |              |
|                       |    |                            |   |     |                  | O1 | O2 | O3           |    |    |    |  |                 |            |             |              |
|                       |    |                            |   |     |                  | N1 | N2 | N3           |    |    |    |  |                 |            |             |              |
| 1                     | A  | 1                          | S | N   | S                | S  | X  | X            | X  | X  | X  | Verificar folgas nos rolamento                     |                 |            | Mensal      | Preventiva   |
|                       |    |                            |   |     |                  |    |    |              |    |    |    | Trocar rolamento                                   |                 |            | Trimestral  | Preventiva   |
|                       |    |                            |   |     |                  |    |    |              |    |    |    | Lubrificar rolamento                               |                 |            | Mensal      | Lubrificador |
| 1                     | A  | 2                          | S | N   | S                | S  | X  | X            | X  | X  | X  | Inspeccionar parafusos do mancal                   |                 |            | Mensal      | Preventiva   |
|                       |    |                            |   |     |                  |    |    |              |    |    |    | Lubrificar mancal                                  |                 |            | Mensal      | Lubrificador |
|                       |    |                            |   |     |                  |    |    |              |    |    |    | Trocar mancal                                      |                 |            | Semestral   | Preventiva   |
|                       |    |                            |   |     |                  |    |    |              |    |    |    | Inspeccionar alinhamento do mancal com o rolamento |                 |            | Mensal      | Preventiva   |
| 1                     | A  | 3                          | S | N   | S                | S  | X  | X            | X  | X  | X  | Realizar inseção da hélice                         |                 |            | Trimestral  | Preventiva   |
| 1                     | A  | 4                          | S | N   | S                | S  | X  | X            | X  | X  | X  | Realizar troca de parafuso central                 |                 |            | Mensal      | Preventiva   |

Fonte: Autor (2022)

## 5. CONCLUSÕES

O plano de manutenção preventiva que foi definido neste trabalho foi apresentado a equipe de manutenção e inserido no sistema. Ele foi montado a partir da experiência da equipe de manutenção. Por se tratar de um equipamento novo não havia planos de manutenção preventivas dentro do sistema, apenas manutenções corretivas. Por este motivo, não teve como realizar o comparativo neste trabalho.

O presente trabalho foi mostrado para gerência de manutenção, que diante dos resultados quantitativos, resolveu adotar o plano de manutenção. O plano foi imputado dentro do sistema Sofman e foi realizado pela equipe de manutenção. As periodicidades serão respeitadas de acordo com o que foi proposto neste trabalho. Os sistemas serão monitorados, para avaliação de resultados futuros.

Pode-se dizer, que o objetivo deste trabalho foi alcançado, que foi a elaboração do plano de manutenção com lista de tarefas utilizando ferramentas de confiabilidade – foi obtido com satisfação e o equipamento escolhido mostrou-se uma escolha assertiva para a aplicação da Manutenção Centrada da Confiabilidade.

A ferramenta FMEA auxiliou na identificação dos possíveis modos de falhas e análise de forma qualitativa a confiabilidade dos subsistemas. Obtendo resultados satisfatório para a construção do plano de manutenção. Através da distribuição de Weibull foi possível verificar o comportamento da taxa de falha dos itens críticos em relação aos componentes estudados.

Espera-se que, este trabalho sirva para contribuições futuras, e aplicação de melhorias nos equipamentos, permitindo uma performance maior, um aumento a sua confiabilidade e disponibilidade para a produção. E que também sirva de parâmetro para estudo em outros equipamentos do ambiente fabril.

Para trabalhos futuros, aconselha-se o acompanhamento das paradas de linhas após a implementação do plano de manutenção, analisar as atividades periódicas surtiram efeitos nos indicadores de disponibilidade do equipamento. A implementação de um software específico para a análise de confiabilidade tenhas mais acuracidade nos dados utilizados. Pode-se também, desenvolver e criar TPM para os itens de criticidade A do FMEA e atividades mais simples como lubrificar e limpar. E por fim, replicar esse trabalho para os demais equipamentos da fábrica.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5462:** Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, p. 37.1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. **Infográfico anual 2020.** São Paulo: 2021. Disponível em: <https://www.abia.org.br/downloads/Infograficoanual2020>. Acesso em: 15 jul. 2022.
- BLOOM, N. *Reliability Centered Maintenance: implementation made simple.* New York: McGraw-Hill, 2006.
- BRANCO FILHO, G. **Dicionário de Termos de Manutenção e Confiabilidade.** Rio de Janeiro, ciência moderna LTDA, 2000.
- CAMPOS, V. F. **Qualidade: gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia;** Quality: management of day work routine. 1994
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade:** conceitos e técnicas. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A.; **Administração de produção e operações.** São Paulo: Atlas, 2004.
- FOGLIATTO, F; RIBEIRO, J. **Confiabilidade e Manutenção Industrial.** Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.
- KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica.** 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2009.
- MARTINS, Roberto Antônio. Abordagens Quantitativa e Qualitativa. In: MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** Rio de Janeiro: Elsevier, Cap. 10. p. 57-73. 2012.
- MOUBRAY, J. **Manutenção centrada em confiabilidade - Reliability Centered Maintenance (RCM).** Editora Aladon, Lutterworth - Inglaterra, Edição Brasileira, 2000.
- OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de Gestão da Manutenção Industrial na busca da excelência ou classe mundial. **Revista Gestão Industrial**, v. 4, n. 02, p. 01–16, 2008.
- PINTO, A. K.; XAVIER, J. N.; **Manutenção: função estratégica.** Rio de Janeiro: Quality Mark Editora, 1999.
- PALADY, P. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** São Paulo: Instituto IMAM, 2002.
- SAINZ J.; SEBASTIÁN M. The Manufacturing Engineering Society International Conference, MESIC 2013 **Methodology for the Maintenance Centered on the Reliability on facilities of low acessibility.** Department of Manufacturing Engineering, National. 2013.

SILVEIRA, C. B. **Confiabilidade e disponibilidade de máquinas: um exemplo prático.** *Citisystems*, 2015.

SIQUEIRA, I. P. D. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação.** 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SMITH, A.M.; **Reability-Centred Maintenance.** 2. ed. *London: Butterworth Heinemann*, 1993.

SOUZA, F. J. **Melhoria do Pilar “Manutenção Planejada” Da TPM Através Da Utilização Do RCM Para Nortear As Estratégias De Manutenção.** 2004, 115 f. Dissertação (Mestrado m Engenharia) – Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004

VIANA, H. R. G. **Manual de gestão da manutenção.** Brasília: Engeteles, 2020.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva: O caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade.** Minas Gerais: EDG –Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

WILMETH, R. G.; USREY, M. W. Reliability-centered maintenance: A case study. *Engineering Management Journal*, v. 12, n. 4, p. 25–31, 2000.

ZAIIONS, D. R. **Manutenção industrial com enfoque na manutenção centrada na confiabilidade.** 2003, 293 f. Dissertação (Mestrado m Engenharia) – Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003

## ANEXO A – PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS

**Tabela 11-**Planilha de Funções e Falhas Funcionais Bomba Recheio

| MCC    |                                    | PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS |                     |                          |
|--------|------------------------------------|---|---------------------|--------------------------|
|        |                                    | SISTEMA                                 | MT6                 |                          |
|        |                                    | SUBSISTEMA                              | BOMBA RECHEIO       |                          |
|        |                                    | DATA                                    | 22/09/2022          |                          |
| FUNÇÃO |                                    | FALHA FUNCIONAL ( Perda da Função)      |                     | CRITICIDADE              |
| 1      | Bombear o creme para as tubulações | A                                       | Travamento da bomba | Criticidade A, RPN >=180 |

Fonte: O Autor (2022)

**Tabela 12-**Planilha de Funções e Falhas Funcionais Rosca Transportadora

| MCC    |   | PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS |                              |                          |
|--------|---|---|------------------------------|--------------------------|
|        |   | SISTEMA                                 | MT6                          |                          |
|        |   | SUBSISTEMA                              | ROSCA TRANSPORTADORA         |                          |
|        |   | DATA                                    | 22/09/2022                   |                          |
| FUNÇÃO |   | FALHA FUNCIONAL ( Perda da Função)      |                              | CRITICIDADE              |
| 1      | Transferir o recheio do tanque para as tubulações | A                                       | Travamento do conjunto       | Criticidade A, RPN >=180 |
|        |   | B                                       | Rotação em sentido contrário | Criticidade A, RPN >=180 |

Fonte: O Autor (2022)

**Tabela 13-**Planilha de Funções e Falhas Funcionais Tubulação de Recheio

| MCC    |  | PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS |                          |                          |
|--------|--|---|--------------------------|--------------------------|
|        |  | SISTEMA                                 | MT6                      |                          |
|        |  | SUBSISTEMA                              | TUBULAÇÃO DE RECHEIO     |                          |
|        |  | DATA                                    | 22/09/2022               |                          |
| FUNÇÃO |  | FALHA FUNCIONAL ( Perda da Função)      |                          | CRITICIDADE              |
| 1      | Transferir o creme para o cabeçote depositador | A                                       | Vazamento nas tubulações | Criticidade C, RPN < 180 |
|        |  | B                                       | Entupimento              | Criticidade A, RPN >=180 |

Fonte: O Autor (2022)

## ANEXO B – PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS

**Tabela 14-**Planilha de Modos de Falhas e Efeitos Bomba Recheio

| MCC    | PLANILHA DOS MODOS DE FALHAS E EFEITOS |               |                     |   |                     |   |
|--------|--|---------------|---------------------|---|---------------------|---|
|        | SISTEMA                                | MT6           |                     |   |                     |   |
|        | SUBSISTEMA                             | BOMBA RECHEIO |                     |   |                     |   |
|        | DATA                                   | 22/09/2022    |                     |   |                     |   |
| FUNÇÃO | FALHA FUNCIONAL ( Perda da Função)     | MODO DE FALHA | EFEITO DE FALHA     |   |                     |   |
| 1      | Bombear o creme para as tubulações     | A             | Travamento da bomba | 1 | Quebra do rolamento | Para completamente a bomba. Impossibilitando a transferência do recheio. Causando uma parada de mais de 1 hora. |
|        |  |               |                     | 2 | Desgaste do eixo    | Quebra do eixo e para completamnete a bomba. Causando uma parada de mais de 1 hora.                             |

Fonte: O Autor (2022)

**Tabela 15-**Planilha dos Modos de Falhas e Efeitos Rosca Transportadora

| MCC    | PLANILHA DOS MODOS DE FALHAS E EFEITOS            |                      |                       |   |                     |  |
|--------|---|----------------------|-----------------------|---|---------------------|--|
|        | SISTEMA   | MT6                  |                       |   |                     |  |
|        | SUBSISTEMA  | ROSCA TRANSPORTADORA |                       |   |                     |  |
|        | DATA  | 22/09/2022           |                       |   |                     |  |
| FUNÇÃO | FALHA FUNCIONAL ( Perda da Função)                | MODO DE FALHA        | EFEITO DE FALHA       |   |                     |  |
| 1      | Movimentar o creme, de forma a mantê-lo homogêneo | A                    | Travamento o conjunto | 1 | Quebra do rolamento | Para completamente a rosca transportadora. Causando uma parada de mais de 2 horas de reparo.                                   |
|        |   |                      |                       | 2 | Desgaste do Mancal  | Quebra do mancal e para completamnete a rosca transportadora. Causando uma parada de mais de 2,5 horas para a troca do mancal. |

Fonte: O Autor (2022)

**Tabela 16-**Planilha dos Modos de Falhas e Efeitos Tubulação de Recheio

| MCC    |  | PLANILHA DOS MODOS DE FALHAS E EFEITOS |                      |                 |                                    |   |
|--------|--|--|----------------------|-----------------|------------------------------------|---|
|        |  | SISTEMA                                | MT6                  |                 |                                    |   |
|        |  | SUBSISTEMA                             | TUBULAÇÃO DE RECHEIO |                 |                                    |   |
|        |  | DATA                                   | 22/09/2022           |                 |                                    |   |
| FUNÇÃO | FALHA FUNCIONAL ( Perda da Função)               |  | MODO DE FALHA        | EFEITO DE FALHA |                                    |   |
| 1      | Transferir o recheio para o cabeçote depositador | A                                      | Entupimento          | 1               | Corpo estranho dentro da tubulação | O recheio não é transferido para o cabeçote depositador. Cuasando uma parada de mais de 1 hora. |

Fonte: O Autor (2022)

## ANEXO C – PLANILHA DE DECISÃO DO MCC

**Tabela 17-**Planilha de Decisão do MCC Bomba Recheio 1

| MCC                   |    | PLANILHA DE DECISÃO DO MCC |                            |     |   |                  |    |               |              |    |    |                 |                     |             |  |
|-----------------------|----|----------------------------|----------------------------|-----|---|------------------|----|---------------|--------------|----|----|-----------------|---------------------|-------------|--|
|                       |    | SISTEMA:                   |                            |     |   |                  |    | MT6           |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    | SUBSISTEMA:                |                            |     |   |                  |    | BOMBA RECHEIO |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    | DATA:                      |                            |     |   |                  |    | 22/09/2022    |              |    |    |                 |                     |             |  |
| Referência Informação |    |                            | Avaliação de consequências |     |   | Tarefa pro ativa |    |               | Ação default |    |    | TAREFA PROPOSTA | FREQUÊNCIA          | RESPONSÁVEL |  |
| F                     | FF | FM                         | H                          | S-E | O | H1               | H2 | H3            | H4           | H5 | S4 |                 |                     |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   | S1               | S2 | S3            |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   | O1               | O2 | O3            |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   | N1               | N2 | N3            |              |    |    |                 |                     |             |  |
| 1                     | A  | 1                          | S                          | N   | S | S                | X  | X             | X            | X  | X  |                 | Tarefa sob-condição |             |  |
| 1                     | A  | 2                          | S                          | N   | S | S                | X  | X             | X            | X  | X  |                 | Tarefa sob-condição |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   |                  |    |               |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   |                  |    |               |              |    |    |                 |                     |             |  |

Fonte: O Autor (2022)

**Tabela 18-**Planilha de Decisão do MCC Rosca Transportadora 1

| MCC                   |    | PLANILHA DE DECISÃO DO MCC |                            |     |   |                  |    |                      |              |    |    |                 |                     |             |  |
|-----------------------|----|----------------------------|----------------------------|-----|---|------------------|----|----------------------|--------------|----|----|-----------------|---------------------|-------------|--|
|                       |    | SISTEMA:                   |                            |     |   |                  |    | MT6                  |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    | SUBSISTEMA:                |                            |     |   |                  |    | ROSCA TRANSPORTADORA |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    | DATA:                      |                            |     |   |                  |    | 22/09/2022           |              |    |    |                 |                     |             |  |
| Referência Informação |    |                            | Avaliação de consequências |     |   | Tarefa pro ativa |    |                      | Ação default |    |    | TAREFA PROPOSTA | FREQUÊNCIA          | RESPONSÁVEL |  |
| F                     | FF | FM                         | H                          | S-E | O | H1               | H2 | H3                   | H4           | H5 | S4 |                 |                     |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   | S1               | S2 | S3                   |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   | O1               | O2 | O3                   |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   | N1               | N2 | N3                   |              |    |    |                 |                     |             |  |
| 1                     | A  | 1                          | S                          | N   | S | S                | X  | X                    | X            | X  | X  |                 | Tarefa sob-condição |             |  |
| 1                     | A  | 2                          | S                          | N   | S | S                | X  | X                    | X            | X  | X  |                 | Tarefa sob-condição |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   |                  |    |                      |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   |                  |    |                      |              |    |    |                 |                     |             |  |

Fonte: O Autor (2022)

**Tabela 19-**Planilha de Decisão do MCC Tubulação de Recheio 1

| MCC                   |    | PLANILHA DE DECISÃO DO MCC |                            |     |   |                  |    |                      |              |    |    |                 |                     |             |  |
|-----------------------|----|----------------------------|----------------------------|-----|---|------------------|----|----------------------|--------------|----|----|-----------------|---------------------|-------------|--|
|                       |    | SISTEMA:                   |                            |     |   |                  |    | MT6                  |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    | SUBSISTEMA:                |                            |     |   |                  |    | TUBULAÇÃO DE RECHEIO |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    | DATA:                      |                            |     |   |                  |    | 22/09/2022           |              |    |    |                 |                     |             |  |
| Referência Informação |    |                            | Avaliação de consequências |     |   | Tarefa pro ativa |    |                      | Ação default |    |    | TAREFA PROPOSTA | FREQUÊNCIA          | RESPONSÁVEL |  |
| F                     | FF | FM                         | H                          | S-E | O | H1               | H2 | H3                   | H4           | H5 | S4 |                 |                     |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   | S1               | S2 | S3                   |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   | O1               | O2 | O3                   |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   | N1               | N2 | N3                   |              |    |    |                 |                     |             |  |
| 1                     | A  | 1                          | S                          | N   | S | S                | X  | X                    | X            | X  | X  |                 | Tarefa sob-condição |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   |                  |    |                      |              |    |    |                 |                     |             |  |
|                       |    |                            |                            |     |   |                  |    |                      |              |    |    |                 |                     |             |  |

Fonte: O Autor (2022)

## ANEXO D – PLANILHA DE DECISÃO DO MCC 2

**Tabela 20-**Planilha de Decisão do MCC Bomba Recheio 2

| MCC                   |    | PLANILHA DE DECISÃO DO MCC |   |               |                  |    |    |              |    |    |    |                                | TAREFA PROPOSTA | FREQUÊNCIA   | RESPONSÁVEL |
|-----------------------|----|----------------------------|---|---------------|------------------|----|----|--------------|----|----|----|--------------------------------|-----------------|--------------|-------------|
|                       |    | SISTEMA:                   |   | MT6           |                  |    |    |              |    |    |    |                                |                 |              |             |
|                       |    | SUBSISTEMA:                |   | BOMBA RECHEIO |                  |    |    |              |    |    |    |                                |                 |              |             |
|                       |    | DATA:                      |   | 22/09/2022    |                  |    |    |              |    |    |    |                                |                 |              |             |
| Referência Informação |    | Avaliação de consequências |   |               | Tarefa pro ativa |    |    | Ação default |    |    |    |                                |                 |              |             |
| F                     | FF | FM                         | H | S-E           | O                | H1 | H2 | H3           | H4 | H5 | S4 |                                |                 |              |             |
|                       |    |                            |   |               |                  | S1 | S2 | S3           |    |    |    |                                |                 |              |             |
|                       |    |                            |   |               |                  | O1 | O2 | O3           |    |    |    |                                |                 |              |             |
|                       |    |                            |   |               |                  | N1 | N2 | N3           |    |    |    |                                |                 |              |             |
| 1                     | A  | 1                          | S | N             | S                | S  | X  | X            | X  | X  | X  | Verificar folgas nos rolamento | Mensal          | Preventiva   |             |
|                       |    |                            |   |               |                  |    |    |              |    |    |    | Trocar rolamento               | Trimestral      | Preventiva   |             |
|                       |    |                            |   |               |                  |    |    |              |    |    |    | Lubrificar rolamento           | Mensal          | Lubrificador |             |
| 1                     | A  | 2                          | S | N             | S                | S  | X  | X            | X  | X  | X  | Verificar folgas no eixo       | Mensal          | Preventiva   |             |
|                       |    |                            |   |               |                  |    |    |              |    |    |    | Verificar chaveta do eixo      | Mensal          | Preventiva   |             |
|                       |    |                            |   |               |                  |    |    |              |    |    |    | Verificar alojamento do eixo   | Mensal          | Preventiva   |             |
|                       |    |                            |   |               |                  |    |    |              |    |    |    | Verificar desgaste no eixo     | Mensal          | Preventiva   |             |

Fonte: O Autor (2022)

**Tabela 21-**Planilha de Decisão do MCC Rosca Transportadora 2

| MCC                   |    | PLANILHA DE DECISÃO DO MCC |   |                      |                  |    |    |              |    |    |    |  | TAREFA PROPOSTA | FREQUÊNCIA   | RESPONSÁVEL |
|-----------------------|----|----------------------------|---|----------------------|------------------|----|----|--------------|----|----|----|--|-----------------|--------------|-------------|
|                       |    | SISTEMA:                   |   | MT6                  |                  |    |    |              |    |    |    |  |                 |              |             |
|                       |    | SUBSISTEMA:                |   | ROSCA TRANSPORTADORA |                  |    |    |              |    |    |    |  |                 |              |             |
|                       |    | DATA:                      |   | 22/09/2022           |                  |    |    |              |    |    |    |  |                 |              |             |
| Referência Informação |    | Avaliação de consequências |   |                      | Tarefa pro ativa |    |    | Ação default |    |    |    |  |                 |              |             |
| F                     | FF | FM                         | H | S-E                  | O                | H1 | H2 | H3           | H4 | H5 | S4 |  |                 |              |             |
|                       |    |                            |   |                      |                  | S1 | S2 | S3           |    |    |    |  |                 |              |             |
|                       |    |                            |   |                      |                  | O1 | O2 | O3           |    |    |    |  |                 |              |             |
|                       |    |                            |   |                      |                  | N1 | N2 | N3           |    |    |    |  |                 |              |             |
| 1                     | A  | 1                          | S | N                    | S                | S  | X  | X            | X  | X  | X  | Verificar folgas nos rolamento           | Mensal          | Preventiva   |             |
|                       |    |                            |   |                      |                  |    |    |              |    |    |    | Trocar rolamento                         | Trimestral      | Preventiva   |             |
|                       |    |                            |   |                      |                  |    |    |              |    |    |    | Lubrificar rolamento                     | Mensal          | Lubrificador |             |
| 1                     | A  | 2                          | S | N                    | S                | S  | X  | X            | X  | X  | X  | Inspeccionar parafusos do mancal         | Mensal          | Preventiva   |             |
|                       |    |                            |   |                      |                  |    |    |              |    |    |    | Lubrificar mancal                        | Mensal          | Lubrificador |             |
|                       |    |                            |   |                      |                  |    |    |              |    |    |    | Trocar mancal                            | Semestral       | Preventiva   |             |
|                       |    |                            |   |                      |                  |    |    |              |    |    |    | Inspeccionar alinhamento do mancal com o | Mensal          | Preventiva   |             |

Fonte: O Autor (2022)

Tabela 22-Planilha de Decisão do MCC Tubulação de Recheio 2

| MCC                   |    |    |                            |     |   |                  |    |    |              |    |    |  | PLANILHA DE DECISÃO DO MCC |             |  |
|-----------------------|----|----|----------------------------|-----|---|------------------|----|----|--------------|----|----|--|----------------------------|-------------|--|
| SISTEMA:              |    |    |                            |     |   |                  |    |    |              |    |    |  | MT6                        |             |  |
| SUBSISTEMA:           |    |    |                            |     |   |                  |    |    |              |    |    |  | TUBULAÇÃO DE RECHEIO       |             |  |
| DATA:                 |    |    |                            |     |   |                  |    |    |              |    |    |  | 22/09/2022                 |             |  |
| Referência Informação |    |    | Avaliação de consequências |     |   | Tarefa pro ativa |    |    | Ação default |    |    | TAREFA PROPOSTA                                  | FREQUÊNCIA                 | RESPONSÁVEL |  |
| F                     | FF | FM | H                          | S-E | O | H1               | H2 | H3 | H4           | H5 | S4 |  |                            |             |  |
|                       |    |    |                            |     |   | S1               | S2 | S3 |              |    |    |  |                            |             |  |
|                       |    |    |                            |     |   | O1               | O2 | O3 |              |    |    |  |                            |             |  |
|                       |    |    |                            |     |   | N1               | N2 | N3 |              |    |    |  |                            |             |  |
| 1                     | A  | 1  | S                          | N   | S | S                | X  | X  | X            | X  | X  | Realizar limpeza nas tubulações com jato de água | semanal                    | Operacional |  |
|                       |    |    |                            |     |   |                  |    |    |              |    |    |  |                            |             |  |
|                       |    |    |                            |     |   |                  |    |    |              |    |    |  |                            |             |  |
|                       |    |    |                            |     |   |                  |    |    |              |    |    |  |                            |             |  |

Fonte: O Autor (2022)