

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**RAFAEL WEISSHEIMER**

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC):**  
**Estudo de caso aplicado em uma rotuladora de garrafas PET**

**São Leopoldo**

**2022**

RAFAEL WEISSHEIMER

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC):  
Estudo de caso aplicado em uma rotuladora de garrafas PET**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, pelo Curso de Engenharia de Produção, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof. Dr. Miguel Afonso Sellitto

São Leopoldo

2022

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por me iluminar e conceder saúde até chegar nesse momento.

A minha esposa Cristina, que sempre me motivou e esteve do meu lado em todos os momentos da minha trajetória acadêmica, sendo um exemplo a ser seguido em minha vida.

Aos meus pais Cleiton e Neiva, por nunca deixarem faltar nada e sempre demonstrarem muito amor. A familiares que me apoiaram com palavras de motivação e confiança.

Ao meu orientador, Dr. Miguel Afonso Sellitto por toda sua paciência e ajuda prestada para essa obra.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma me ajudaram a chegar até aqui, e aos citados anteriormente, meu muito obrigado.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a aplicação da metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em uma rotuladora de garrafas PET. Primeiramente, será apresentada uma contextualização da manutenção industrial com sua evolução e classificação, seguido das medidas de confiabilidade, e por fim, a MCC. Será também apresentado como foi o processo de escolha da rotuladora dentre os equipamentos da linha de produção. Dados de Tempo Para Reparo (TTR) e Tempo Entre Falhas (TBF) serão coletados para realizar modelagens matemáticas a fim de encontrar os dados de Tempo médio entre Falhas (MTBF), Tempo Médio de Reparo (MTTR) e a disponibilidade, e que serão posteriormente utilizados para análises. Após, será realizada a classificação do equipamento em sistemas, subsistemas, conjuntos e componentes, e com isso, será apresentada a metodologia da matriz de Análise de Modo de Falha e Efeitos (FMEA) e sua aplicação no equipamento do estudo. Com a FMEA concluída, será realizada a comparação do plano de manutenção novo com o existente, e os dados coletados anterior e posteriormente à aplicação da MCC serão também comparados para verificar a eficácia do método. Por fim, serão apresentados os resultados quantitativos, e uma discussão sobre os ganhos com a utilização da ferramenta na empresa.

### **Palavras-chave:**

Confiabilidade. Manutenção industrial. MCC.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Relação entre estratégias de manutenção e curva da banheira .....	23
Quadro 2 – Escala para análise da severidade da falha .....	30
Quadro 3 – Escala para probabilidade de ocorrência da falha.....	31
Quadro 4 – Escala para probabilidade de detecção do modo de falha .....	31
Quadro 5 – Exemplo da primeira parte matriz FMEA de um sistema.....	38
Quadro 6 – Exemplo da Segunda parte matriz FMEA .....	39
Quadro 7 – Exemplo da Terceira parte da matriz FMEA.....	39
Quadro 8 – Exemplo do valor de risco na matriz FMEA.....	40
Quadro 9 – Dados de TTR e TBF dos equipamentos .....	43
Quadro 10 – Tabela dos resultados da modelagem para TTR .....	43
Quadro 11 – Tabela dos resultados da modelagem para TBF .....	44
Quadro 12 – Estratégias de manutenção e melhorias adotadas.....	50
Quadro 13– Planos de manutenção por mão de obra específica.....	52
Quadro 14 – Custo da manutenção na rotuladora .....	53
Quadro 15 – Tempo Hora-Homem por mão de obra específica.....	54
Quadro 16 – Comparação entre valores de risco.....	54
Quadro 17 Matriz FMEA da rotuladora.....	64

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da manutenção .....	16
Figura 2 – Curva da banheira.....	22
Figura 3 – Relação do parâmetro de escala com a curva da banheira .....	28
Figura 4 – Operadores lógicos de uma FTA.....	33
Figura 5 – Exemplo diagrama de blocos dos sistemas identificados .....	37
Figura 6 – Esquema da divisão do equipamento na matriz FMEA.....	38
Figura 7 – Relação Criticidade dos equipamentos com modos de falha.....	41
Figura 8 – Diagrama de blocos dos sistemas identificados.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação do parâmetro de escala com a curva da banheira .....	28
---	----

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – MTTR dos equipamentos da linha .....	46
Gráfico 2 – MTBF dos equipamentos da linha .....	46
Gráfico 3 – Disponibilidade dos equipamentos da linha .....	47
Gráfico 4 – MTTR dos equipamentos da linha .....	56
Gráfico 5 – MTBF dos equipamentos da linha .....	57
Gráfico 6 – Disponibilidade dos equipamentos da linha .....	57



## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FMEA	Análise dos modos e efeitos de falha
FTA	Análise da Árvore de falhas
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MTBF	Mean Time Between failures
MTTF	Mean Time To failures
MTTR	Mean Time To Repair
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PET	Polietileno Tereftalato
RCM	Reliability Centered Maintenance
TBF	Time Between failure
TTR	Time To Repair

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1	PROBLEMA.....	11
1.2	OBJETIVOS.....	12
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>12</b>
1.3	TEMA.....	12
1.4	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	12
1.5	JUSTIFICATIVA.....	13
1.6	METODOLOGIA DO TRABALHO.....	13
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>15</b>
2.1	INTRODUÇÃO A MANUTENÇÃO.....	15
2.2	EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	15
2.3	CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	17
<b>2.3.1</b>	<b>Manutenção Corretiva</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Manutenção Preventiva</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Manutenção Preditiva</b> .....	<b>18</b>
2.4	CONFIABILIDADE.....	18
<b>2.4.1</b>	<b>Medidas de Confiabilidade</b> .....	<b>19</b>
2.4.1.1	Tempo médio entre falhas.....	19
2.4.1.2	Tempo médio até a falha.....	19
2.4.1.3	Tempo médio para o reparo.....	20
2.4.1.4	Disponibilidade.....	20
2.4.1.5	Função da confiabilidade.....	20
2.4.1.6	Taxa de falhas.....	21
2.4.1.7	Curva da banheira.....	21
<b>2.4.2</b>	<b>Distribuições de probabilidade na confiabilidade</b> .....	<b>23</b>
2.4.2.1	Distribuição lognormal.....	24
2.4.2.2	Distribuição exponencial.....	24
2.4.2.3	Distribuição <i>gamma</i> .....	26
2.4.2.4	Distribuição Weibull.....	27
<b>2.4.3</b>	<b>FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falhas)</b> .....	<b>29</b>

<b>2.4.4</b>	<b>FTA (Análise da Árvore de Falhas)</b> .....	<b>32</b>
<b>2.4.5</b>	<b>Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)</b> .....	<b>33</b>
<b>2.5</b>	<b>INDICADORES DE MANUTENÇÃO</b> .....	<b>34</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Produtividade</b> .....	<b>34</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Eficiência</b> .....	<b>35</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>36</b>
<b>3.1</b>	<b>COLETA DE DADOS</b> .....	<b>36</b>
<b>3.2</b>	<b>SOFTWARE DE MODELAGEM</b> .....	<b>36</b>
<b>3.3</b>	<b>ESCOLHA DO EQUIPAMENTO</b> .....	<b>36</b>
<b>3.4</b>	<b>DIVISÃO DO EQUIPAMENTO</b> .....	<b>37</b>
<b>3.5</b>	<b>PREENCHIMENTO DA MATRIZ FMEA</b> .....	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>SISTEMA PROPOSTO</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1</b>	<b>DEFINIÇÃO DO EQUIPAMENTO</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Coleta de dados</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Modelagem dos Dados</b> .....	<b>43</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Análise das modelagens</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Escolha do equipamento</b> .....	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS</b> .....	<b>47</b>
<b>4.3</b>	<b>MATRIZ FMEA DA ROTULADORA</b> .....	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>50</b>
<b>5.1</b>	<b>RESULTADOS DE PERFORMANCE - MANUTENÇÃO</b> .....	<b>50</b>
<b>5.2</b>	<b>RESULTADOS DE PERFORMANCE - EQUIPAMENTO</b> .....	<b>56</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>59</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>62</b>
	<b>APÊNDICE A – MATRIZ FMEA DA ROTULADORA</b> .....	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A alta concorrência entre empresas aumentou a exigência por produtos mais eficientes e com custos mais competitivos (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Conseqüentemente, isto demanda que as empresas maximizem a disponibilidade dos equipamentos e possuam métodos de manutenção adequados, já que uma falha em um componente pode parar uma linha de produção inteira, prejudicando o fluxo de trabalho e resultando em atrasos de entrega e aumento de custos.

Nos últimos anos, a evolução da manutenção tem sido um ponto de atenção nas indústrias, proporcionando novos estudos e estratégias para que as falhas nos equipamentos tenham o menor impacto possível nas produções. Dentro desses estudos, a Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC é um dos métodos que vem se destacando na aplicação de uma estratégia de manutenção (SELLITO, 2007). Os objetivos da manutenção centrada na confiabilidade são garantir que os equipamentos mantenham a função para o qual foram construídos, identificar os modos de falhas e suas conseqüências e escolher a melhor técnica de manutenção com o melhor custo-benefício.

Neste trabalho, apresenta-se a aplicação da metodologia MCC em uma rotuladora de uma linha de garrafas PET (Polietileno Tereftalato) de uma indústria de bebidas, descrevendo todos os passos aplicados em um estudo de caso. Mostra-se também alguns conceitos de confiabilidade e tipos manutenção encontradas na indústria atualmente. No desenvolvimento, mostra-se a coleta de dados e as análises realizadas a partir do uso da matriz FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falhas), largamente utilizada nestas aplicações. O preenchimento completo da FMEA permite escolher a melhor estratégia para os planos de manutenção dos principais componentes do equipamento. Após finalizar a aplicação da MCC no equipamento, espera-se reduzir os custos de manutenção e aumentar sua disponibilidade e sua confiabilidade.

### 1.1 PROBLEMA

Um equipamento que não opera em sua performance ideal tem o potencial de se tornar o gargalo no processo produtivo. Caso não seja dada a devida atenção ao seu desempenho, ele pode trazer prejuízos financeiros e impacto direto nos

indicadores de performance da linha de produção. O objeto do estudo de caso deste trabalho, uma rotuladora de garrafas PET, atualmente não atinge seus indicadores de performance desejado, o que afeta diretamente os indicadores gerais da linha de produção.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho é aplicar a Manutenção Centrada na Confiabilidade em uma rotuladora de garrafas PET, a fim de aumentar a disponibilidade e a confiabilidade do equipamento, e com isso, diminuir o custo de manutenção dele.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Além do objetivo geral, também se esperam atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) Revisão dos planos de manutenção existentes e geração de novos planos;
- b) Complementar a documentação existente sobre o comportamento desse equipamento e suas características de operação;
- c) Melhorar os indicadores de performance do equipamento;
- d) Através da matriz FMEA, calcular o valor de risco dos principais componentes.

## 1.3 TEMA

O presente trabalho tem como tema a aplicação da manutenção centrada na confiabilidade em um equipamento utilizado no processo de produção de uma indústria de bebidas.

## 1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho se limita à aplicação e análise da metodologia manutenção centrada na confiabilidade em um único equipamento de uma linha produção de bebidas. O equipamento em questão a ser analisado será a rotuladora de garrafas

PET de dois litros. O trabalho descreverá o processo de escolha do equipamento, definição e aplicação da metodologia citada, e incluirá uma análise de resultados.

### 1.5 JUSTIFICATIVA

Para uma empresa atingir altos índices de performance, é necessário os equipamentos possuam alta confiabilidade e disponibilidade, e baixos custos de manutenção. Para isso, é necessário ter um bom conhecimento em ferramentas de gestão para auxiliar na tomada de decisões. Na indústria de bebidas do estudo em questão, a linha de produção de refrigerantes PET de dois litros não está atendendo alguns indicadores de performance. Com isso, as metas corporativas da indústria são afetadas. Dentre os equipamentos que pertencem a esta linha de produção, a rotuladora apresenta muitas paradas de manutenção indesejada.

A manutenção centrada na confiabilidade é uma metodologia que auxilia a tomada de decisões na aplicação da manutenção, pois a análise é realizada após uma divisão do equipamento por componentes, e esta fornece um plano de manutenção adequado e enxuto para cada ponto de atuação. A aplicação destes planos de manutenção provê resultados de melhoria de desempenho de operacional (MOUBRAY, 1997). Por isso, o uso dessa técnica nesta linha de produção pode ser crucial na busca para o alcance dos valores esperados para os indicadores de performance, aumentando assim a disponibilidade e confiabilidade e redução de custos com manutenção.

### 1.6 METODOLOGIA DO TRABALHO

O presente trabalho será elaborado com conhecimentos adquiridos em leituras de artigos acadêmicos e livros descritos nas referências bibliográficas, além de disciplinas do curso de engenharia de produção como, gestão da manutenção, controle estatístico da qualidade e sistema de produção enxuta.

A metodologia consiste na montagem de uma equipe multidisciplinar, constituída com técnicos de manutenção elétrica e mecânica, técnico de planejamento, operadores do equipamento escolhido, engenheiro eletricitista, engenheiro mecânico e supervisores da linha de produção da qual o equipamento foco do estudo de caso foi determinado. Os integrantes aplicarão a manutenção

centrada na confiabilidade no equipamento escolhido seguindo todos os passos estipulados pela metodologia.

Através dos *softwares* LMS® e Proconf® serão extraídos os dados de histórico de descrição de falhas e demais indicadores para análise.

Com os dados fornecidos pelos *softwares* e metodologia comentados anteriormente, será possível realizar análises mais assertivas para a tomada de decisão para elaboração dos planos de manutenção do equipamento.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado da forma descrita a seguir.

O primeiro capítulo inclui a introdução, introduzindo de forma geral o tema manutenção industrial. Na introdução são descritos o problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, e as justificativas para a elaboração do estudo de caso.

O segundo capítulo contempla o referencial teórico, utilizado para embasamento no desenvolvimento do trabalho, apresentando uma revisão da literatura e detalhamento dos principais conceitos utilizados.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia de pesquisa, a qual explana o processo de coleta de dados, escolha do equipamento em foco, e a forma que a metodologia é implementada.

Por fim, nos capítulos finais são apresentados os resultados referentes a metodologia manutenção centrada na confiabilidade implementada em um dos equipamentos da linha de produção de bebidas. Os valores de *Mean Time Between failures* (MTBF), *Mean Time To Repair* (MTTR) e Disponibilidade serão comparados entre o antes e o depois da aplicação da técnica, para chegar na conclusão quanto a assertividade da metodologia implementada.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 INTRODUÇÃO A MANUTENÇÃO

A manutenção é um conjunto de medidas necessárias para garantir a conservação de um determinado equipamento, englobando todos os cuidados técnicos que são indispensáveis para garantir um bom funcionamento dele. Sendo assim, é essencial que as atividades de manutenção sejam realizadas, a fim de prolongar a vida útil, prevenindo a degradação causada pelo constante uso, e posteriormente, o seu desgaste (natural ou forçado), além de preservar o meio ambiente e garantir a segurança dos operadores (KARDEC; NASIF, 2009).

A NBR 5462 (1994) estabelece manutenção como uma combinação de todas as ações técnicas e administrativas tomadas de forma a permitir que um item retorne ou mantenha suas características, de modo que este consiga cumprir todas as funções designadas ao mesmo. Moubray (1997) simplesmente define manutenção como a atividade que deve garantir que o ativo siga fazendo o que os seus usuários esperam que ele faça.

### 2.2 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

A manutenção evoluiu ao longo do tempo, devido ao crescimento tecnológico que acontece de maneira cada vez mais rápida, e pela necessidade de o processo de produção não poder parar. As máquinas precisam funcionar em perfeito estado pelo maior tempo possível, para assim, ser possível se manter competitivo no mercado.

Moubray (1997) e Siqueira (2009) dividem a manutenção em três gerações, cada uma com seus aspectos, evoluindo ao longo dos anos. A primeira geração estende-se até o final da Segunda Guerra Mundial, onde na indústria existiam equipamentos mais simples, e que em grande parte eram superdimensionados. Com isso, a ocorrência de falhas era menor, e as funções dos equipamentos eram mantidas mais facilmente. Nesta época, a produção não era prioridade, portanto, as manutenções eram corretivas, onde o equipamento funcionava até o defeito ou quebra acontecer.

A segunda geração iniciou-se após a Segunda Guerra, a qual elevou a demanda por serviços e produtos pela sociedade. Com a evolução da automação



inserida nas máquinas, houve um crescimento na necessidade de mão de obra qualificada, que na época era escassa. Com equipamentos mais complexos e pouca mão de obra especializada, o custo para correção de falhas aumentou, tornando-se um problema para as empresas. O objetivo das empresas passou a ser o aumento da confiabilidade dos componentes, sem que os custos fossem prejudicados. Com esse desafio, houve o desenvolvimento de técnicas de manutenção que foram aprimoradas até ser desenvolvida a manutenção preventiva. Esta foi orientada para a diminuição dos impactos das falhas, sendo realizada antes de ocorrer o defeito ou quebra (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2009).

A terceira geração parte do ano de 1975. Sua evolução foi movida pela automação crescente na indústria, e devido às técnicas da segunda geração não conseguirem atender as exigências de alta performance e baixos custos. Com a concorrência mundial aumentando, a necessidade dos equipamentos funcionando o maior tempo possível, entregando produtos com qualidade e menor custo, forçaram as empresas a enxergar a importância da manutenção em seu meio produtivo. Nessa geração, a exigência por produtos com maior qualidade e garantia de desempenho aumentou, gerando uma necessidade de criação de novas técnicas de manutenção como a MCC. (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2009).

A Figura 1 mostra a evolução das técnicas de manutenção ao longo dos anos, divididas nas três gerações.

Figura 1 – Evolução da manutenção



Fonte: Moubray (1997).

## 2.3 CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO

A manutenção pode ser classificada por três diferentes tipos, sendo eles: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

### 2.3.1 Manutenção Corretiva

O primeiro conceito de manutenção desenvolvido pela indústria foi a manutenção corretiva. Sua concepção não necessariamente foi criada, pois no instante em que ocorria a falha do equipamento, os responsáveis tentavam reparar para que esse retornasse a operar. (KARDEC; NASCIF, 2009).

Kardec e Nascif (2009) distinguem dois estágios de manutenção corretiva: corretiva planejada e corretiva não planejada. A manutenção corretiva planejada ocorre quando a equipe de manutenção já prevê a falha do equipamento em um determinado período, e já possui um planejamento para efetuar o reparo. A segunda é utilizada para falhas aleatórias, e normalmente proporciona um custo maior para a empresa.

### 2.3.2 Manutenção Preventiva

Para Kardec e Nascif (2009), a manutenção preventiva age de forma a reduzir ou evitar uma falha ou uma diminuição de performance do equipamento, ao satisfazer um plano de manutenção baseado em intervalos de tempo pré-definidos.

Mobley (2004) afirma que esse tipo de manutenção pode resultar em um reparo desnecessário, ou uma falha catastrófica do sistema, caso não seja realizado o estudo corretamente. Não conseguir determinar como um desgaste ocorre, e a falta de conhecimento específico do equipamento, pode resultar em uma frequência errada da manutenção a ser realizada. Ainda, na elaboração do plano de manutenção, nem sempre é possível se determinar com precisão os intervalos de tempo ideais entre as manutenções. Portanto, a manutenção preventiva deve ser usada para um sistema no qual se tem informações suficientes para especificar o momento correto de reparo.

### 2.3.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva representou uma grande quebra nos conceitos de manutenção preventiva, que são baseadas no tempo. Kardec e Nascif (2009) esclarecem que manutenções preditivas são acompanhamentos sistemáticos, os quais estabelecem parâmetros de condição ou de desempenho que, quando modificados, requerem ações de reparo. Ou seja, quando os limites destes parâmetros de condição ou desempenho pré-definidos são atingidos, uma intervenção é requerida.

Informações obtidas em testes e monitoramentos contínuos dos equipamentos permitem que seja conhecida a real condição de operação, e, com isso, que sejam elaborados planos de manutenção baseados na necessidade individual do equipamento. Segundo Kardec e Nascif (2009), esse método de manutenção minimiza as falhas dos equipamentos porque detecta a necessidade de manutenção ainda quando estão operando em condições satisfatórias.

Na manutenção preditiva, o tempo de vida útil dos equipamentos é maximizado, porque, além de as intervenções serem realizadas antes de uma falha completa do equipamento, também não são realizadas manutenções desnecessárias antes de ser apresentado algum indício de defeito. Com isso, além de eliminar os custos com atividades de reparos desnecessários, mitiga-se a introdução de erros humanos nas intervenções.

## 2.4 CONFIABILIDADE

De acordo com a norma NBR 5462/1994, o termo confiabilidade pode ser definido como a “capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”.

Para Flogliatto e Ribeiro (2009), confiabilidade é a probabilidade de que um item possa desempenhar sua função requerida, sob condições normais de uso, por um intervalo de tempo definido. A probabilidade é um conceito estatístico que pode ser descrito como a relação entre o número de casos favoráveis e o número de casos possíveis, expresso de forma quantitativa entre 0 e 1.

## 2.4.1 Medidas de Confiabilidade

As medidas de confiabilidade referem-se aos indicadores de desempenho de uma unidade ou item, possibilitando uma avaliação prévia para a tomada de decisão.

### 2.4.1.1 Tempo médio entre falhas

A NBR 5462 (1994) adota a sigla da língua inglesa MTBF (*Mean Time Between Failures*) para o indicador de Tempo Médio entre Falhas, e o define como o valor do tempo esperado entre uma falha e outra de um componente. A probabilidade de ocorrência de falhas durante a vida útil do equipamento tem relação direta com a confiabilidade, conforme afirma Pereira (2009).

Uma outra definição é dada por Fogliatto e Ribeiro (2009), os quais definem que o MTBF corresponde ao tempo médio de funcionamento da unidade. O seu cálculo é realizado dentro de um intervalo de tempo estabelecido, onde são somados os tempos entre as ocorrências das falhas (TBF – *Time Between Failures*) medidos nas amostras, e divididos pela quantidade total de falhas que ocorreram dentro do intervalo de tempo estabelecido (N), como é demonstrado na Equação (1):

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^N TBF_1}{N} \quad (1)$$

### 2.4.1.2 Tempo médio até a falha

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), o Tempo Médio Até a Falha (em inglês *Mean Time To Failure* - MTTF) é definido como o tempo entre o momento em que um equipamento é colocado para funcionar até sua primeira falha.

Conforme mostra a Equação 2, o cálculo do MTTF se desenvolve somando o tempo medido de cada unidade até ocorrer a falha, dividindo a soma pelo número de unidades idênticas N (LAFRAIA, 2001).

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^N TTF_1}{N} \quad (2)$$

#### 2.4.1.3 Tempo médio para o reparo

Conforme definição de Lafraia (2001, p. 20), “É o tempo para o reparo de componentes; obtido de uma amostra nas mesmas condições de uso do componente desejado”. O Tempo Médio Para o Reparo (do inglês *Main Time To Repair* - MTTR) é determinado somando o tempo medido para o reparo de cada unidade após apresentar a primeira falha e dividindo a soma pelo número de unidades idênticas N, conforme Equação 3.

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^N TTR_1}{N} \quad (3)$$

#### 2.4.1.4 Disponibilidade

A disponibilidade indica a capacidade de um determinado item de manter sua função requerida, em condições normais de funcionamento, por um período predeterminado (FLOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Como demonstra na equação 4, a disponibilidade média do sistema é representada pela letra A que vem do inglês *availability* e, pode ser encontrada dividindo o MTBF pela soma dele mesmo com o MTTR.

$$A = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} \quad (4)$$

#### 2.4.1.5 Função da confiabilidade

A função confiabilidade R(t) é a probabilidade de não ocorrer falhas entre um determinado período (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). É representada pela Equação (5).

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = 1 - \int_{-\infty}^t f(t)dt = 1 - F(t) \quad (5)$$

Onde:

F(t) = função de distribuição.

#### 2.4.1.6 Taxa de falhas

Na confiabilidade, a taxa de falhas é também conhecida como função de risco ou taxa de risco. Ela é usada na análise do risco em que a unidade está exposta ao longo do tempo, e serve como base para comparação entre unidades com características distintas. A taxa de falhas pode ser interpretada como a quantidade de risco associada a uma unidade no tempo  $t$  (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Considerando a probabilidade de falha entre  $\Delta t$  e  $t$ , a taxa de falhas pode ser definida conforme a equação (6).

$$P(t \leq T \leq t + \Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} f(u)du = R(t) - R(t + \Delta t) \quad (6)$$

Onde:

$T$  = tempo de falha.

Com a unidade operando no tempo  $t$ , chega-se à equação (7):

$$P(t \leq T \leq t + \Delta t | T \geq t) = \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t)}{P(T \geq t)} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \quad (7)$$

Para obter a taxa de falha ( $h(t)$ ) média no intervalo  $(t, t + \Delta t)$ , é dividido a equação anterior por  $\Delta t$ . Para encontrar a taxa de falhas instantânea, que é a função de risco, é suposto que  $\Delta t = 0$ , obtendo assim a equação (8):

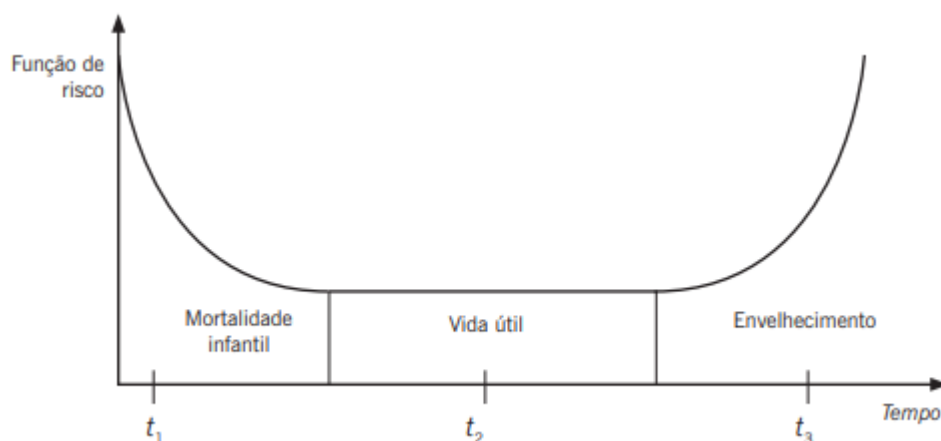
$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)\Delta t} = \frac{-R'(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}, t \geq 0 \quad (8)$$

#### 2.4.1.7 Curva da banheira

A taxa de falha de um equipamento ou sistema pode ser representada pelo gráfico da curva da banheira, apresentado na Figura 2. Nela é dividida a vida útil de

um equipamento em três períodos, chamados de mortalidade infantil, vida útil e envelhecimento (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Figura 2 – Curva da banheira



Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009).

O comportamento da função de risco  $h(t)$  está relacionado com cada fase da curva da banheira. Para cada fase da curva existe uma estratégia de manutenção mais adequada (SELLITTO, 2005).

Na mortalidade infantil, onde fica o período inicial, a taxa de falha é alta, porém decrescente. As falhas ocorrerem muito cedo, normalmente originadas por instalação incorreta, materiais fora de especificação, ou deficiências no processo de fabricação (LAFRAIA, 2001). A manutenção corretiva é a usada nessa fase, onde são identificadas as falhas e são corrigidas as deficiências de projeto ou instalação do equipamento (SELLITTO, 2005).

No período seguinte, também denominado fase de maturidade por Sellitto (2005), a taxa de falhas é constante. As falhas são casuais e decorrentes de fatores menos controláveis, tais como: mau uso do equipamento, erros humanos, vibração, sobrecarga ou matéria prima defeituosa (LAFRAIA, 2001). A estratégia para esta fase é a manutenção preditiva. Através de inspeções periódicas e planejadas, a manutenção preditiva é executada. Quando o grau de degradação atinge o limite estabelecido, uma intervenção de manutenção é executada antes da falha (SELLITTO, 2005).

A última fase da curva, envelhecimento, também é chamada de mortalidade senil por Sellitto (2005), e de desgaste por Lafraia (2001). No período, a taxa de falhas é crescente e é o fim da vida útil do equipamento, conforme autores. Essas falhas são

causadas por degradação mecânica, química ou elétrica, vida muito curta do projeto, fadiga, desgaste ou corrosão. A estratégia para esta fase é a manutenção preventiva, onde devem ocorrer trocas de componentes em períodos preestabelecidos para garantir a vida útil do equipamento, retornando esse a fase de maturidade (SELLITTO, 2005).

Sellitto (2005) resume as diferentes estratégias de manutenções utilizadas para as três fases da curva da banheira. O Quadro 1 mostra as diferentes estratégias de manutenção para cada fase do ciclo de vida.

Quadro 1 – Relação entre estratégias de manutenção e curva da banheira

Fases	Estratégia	Decorrência
Mortalidade Infantil, falhas de origem	emergência	retarda ou até impede o fim da mortalidade infantil ao não reforçar os itens que quebram ou não remover as causas das falhas de origem
	corretiva	antecipa o fim da mortalidade infantil ao reforçar os itens que quebram ou remover as causas das falhas de origem
	preditiva	monitora as falhas em progresso que podem resultar em quebra, mas estas são poucas nesta fase, pois as quebras se dão mais por baixa resistência
	preventiva	perpetua ou até agrava a mortalidade infantil ao trocar exatamente os sobreviventes, os itens fortes que não tem falhas de origem
maturidade, falhas aleatórias	emergência	como se limita a trocar componentes quebrados, pode fazer retornar à mortalidade infantil se não selecionar os substitutos
	corretiva	é inócua quanto às falhas catastróficas, mas pode reduzir o patamar de expectativa de falhas eliminando modos de falha que passar da primeira fase
	preditiva	informa, o início e monitora os processos de falhas progressivas que resultarão em quebra, podendo prever aumentos na probabilidade da quebra
	preventiva	retorna à mortalidade infantil ao troca exatamente os sobreviventes, os itens fortes, que não têm falhas de origem e ainda não iniciaram o desgaste
Desgaste, falhas progressivas	emergência	permite que as quebras que vão ocorrer realmente ocorram a um custo interno mais baixo do que a preventiva
	corretiva	só será útil se for capaz de retardar ou o início da falha ou a quebra que realmente vai ocorrer
	preditiva	monitora os processos progressivos de falhas já iniciadas predizendo aumentos na probabilidade da quebra
	preventiva	previne a emergência antecipando a troca à quebra que realmente vai ocorrer, porém a um custo interno mais alto do que a emergência

Fonte: Sellitto (2005).

#### 2.4.2 Distribuições de probabilidade na confiabilidade

Na manutenção centrada na confiabilidade, as principais distribuições de probabilidade são geradas a partir de modelamento matemático que representam o comportamento estatístico do modo de falha de um item ou equipamento.

As principais distribuições de interesse para a manutenção são: lognormal, exponencial, gamma e Weibull (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).



### 2.4.2.1 Distribuição lognormal

A distribuição lognormal é mais usada para componentes metálicos que possuem desgastes, tais como trincas, corrosão ou falha por fadiga no metal.

As medidas de confiabilidade de interesse para a distribuição Lognormal, considerando  $t \geq 0$ , são apresentadas nas equações a seguir (LAFRAIA, 2001; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot t \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right]} \quad (9)$$

$$R(t) = \Phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right) \quad (10)$$

$$h(t) = \frac{\phi[(\mu - \ln t)/\sigma]/\sigma t}{\Phi[(\mu - \ln t)/\sigma]} \quad (11)$$

$$\text{MTTF ou MTBF} = e^{(\mu + \sigma^2)/2} \quad (12)$$

Em que:

$\Phi(x)$  = valor da função de distribuição da distribuição normal avaliada em  $x$ ;

$\phi(x)$  = valor da função de densidade da distribuição normal avaliada em  $x$ ;

$\mu$  = média do logaritmo dos dados;

$\sigma$  = desvio padrão do logaritmo dos dados;

$t$  = tempo até a falha.

### 2.4.2.2 Distribuição exponencial

A distribuição exponencial é a única que possui a função de risco constante, sendo importante em estudos de confiabilidade (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Segundo Lafraia (2001), a distribuição exponencial pode ser aplicada em sistemas complexos não redundantes, sistemas de vários componentes, sistemas com componentes complexos, e com taxas de falhas independentes, com substituições antes de falhas devido à manutenção preventiva.

Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), as representações de confiabilidade para  $t \geq 0$  e o seu estimador de máxima verossimilhança são:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (13)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (14)$$

$$h(t) = \lambda \quad (15)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (16)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (17)$$

$$\hat{\lambda} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (18)$$

Em que:

$\lambda$  = taxa de falha;

$t$  = tempo até a falha.

### 2.4.2.3 Distribuição *gamma*

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a distribuição Gama, é uma generalização da distribuição exponencial. É utilizada para descrever sistemas que operam com componentes em paralelo, em que todos os componentes devem falhar para que o sistema falhe.

As medidas de confiabilidade de interesse para a distribuição Gama, considerando  $t \geq 0$ , parâmetro de forma  $\gamma > 0$  e parâmetro de escala  $\lambda > 0$ , são:

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\gamma)} (\lambda t)^{\gamma-1} e^{-\lambda t} \quad (19)$$

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^{\lambda t} x^{\gamma-1} e^{-x} dx \quad (20)$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (21)$$

$$MTTF = \frac{\gamma}{\lambda} \quad (22)$$

$$L(\lambda, \gamma) = \frac{\lambda^{n\gamma}}{[\Gamma(\gamma)]^n} \left[ \prod_{i=1}^n t_i \right]^{\gamma-1} e^{-\lambda \sum_{i=1}^n t_i} \quad (23)$$

Em que:

$\Gamma$  = função *gamma*;

$\gamma$  = parâmetro de forma;

$\lambda$  = parâmetro de escala;

$t$  = tempo até a falha.

#### 2.4.2.4 Distribuição Weibull

A distribuição de Weibull é uma das distribuições mais importantes na modelagem de confiabilidade, devido a facilidade de conseguir trabalhar de várias formas e a capacidade de representar amostras de tempo até a falha com comportamentos distintos (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

As representações de confiabilidade de Weibull, para  $t \geq 0$ , parâmetro de forma  $\gamma > 0$ , e parâmetro de escala  $\theta > 0$ , são apresentadas nas equações:

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} t^{\gamma-1} e^{-t^\gamma/\theta} \quad (24)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma} \quad (25)$$

$$h(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1} \quad (26)$$

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad (27)$$

Em que:

$\theta$  = parâmetro de escala;

$\gamma$  = parâmetro de forma;

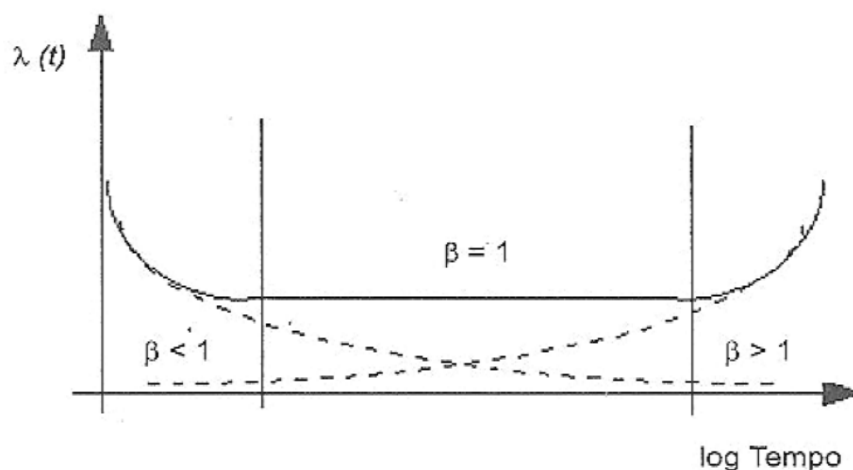
$\Gamma$  = função *gamma*;

$t$  = tempo até a falha.

Conforme Lafraia (2001) há uma relação entre o parâmetro de escala e comportamento da taxa de falhas. O valor do parâmetro de escala é comparado a um valor tabelado, o qual representa uma das três regiões da curva da banheira. A Figura

3 mostra a relação entre diversos valores de parâmetros de escala, no caso representado como  $\beta$ , com a curva da banheira.

Figura 3 – Relação do parâmetro de escala com a curva da banheira



Fonte: Lafraia (2001).

A Tabela 1 demonstra a relação entre o parâmetro de escala com as fases da curva da banheira.

Tabela 1 – Relação do parâmetro de escala com a curva da banheira

$T_0$	$\beta$	Significado
= 0		Não há confiabilidade intrínseca. Significa que em $t = 0$ a probabilidade de falha é 0
	< 1	Taxa de falhas decrescente, possivelmente devida à baixos coeficientes de segurança na carga
	= 1	Taxa de falhas constante, falhas de origem aleatórias
	> 1	Taxa de falhas crescente, desgaste iniciando logo que o componente entra em serviço
> 0		Há período de garantia, durante o qual não ocorre falha. O componente possui confiabilidade intrínseca
	< 1	Desgaste do tipo fadiga ou similar
	$\cong 0,5$	Fadiga de baixo ciclo
	$\cong 0,8$	Fadiga de alto ciclo
	> 1	Desgaste do tipo erosão
< 0		Há vida de prateleira, o componente pode falhar antes de ser usado
	< 1	Desgaste do tipo fadiga, iniciado antes do componente entrar em serviço
	> 1	Desgaste devido à contínua redução da resistência

Fonte: Lafraia (2001).

### 2.4.3 FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falhas)

Na engenharia de confiabilidade, a Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA) é uma das ferramentas mais utilizadas, devida à sua aplicação quantitativa e sua praticidade. É uma técnica de análise que visa identificar as causas e efeitos de falhas de um sistema, criando ações corretivas, classificadas de acordo com a criticidade (LAFRAIA, 2001).

É necessária uma equipe multidisciplinar para aplicar a FMEA, com pessoas que consigam trabalhar em equipe e possuam conhecimento técnico (SIQUEIRA, 2005; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), de forma geral, uma tabela FMEA inclui os seguintes elementos: cabeçalho, item/Função, modos potenciais de falha, efeitos potenciais de falha, severidade (S), classificação, causas/Mecanismos potenciais de falha, controles de prevenção e detecção, detecção (D), e risco (R). Estes elementos são brevemente detalhados a seguir.

O Cabeçalho deve conter a data do documento, número da FMEA, revisão, informações a respeito da equipe responsável pelo estudo, e demais informações que a empresa entenda ser importante para que se possa fazer a rastreabilidade. Já no elemento item/função, inicia-se descrevendo o nome do componente e sua função. A correta descrição da função dos componentes irá auxiliar na futura identificação da falha (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Seguindo os campos da tabela, o modo potencial de falha é a descrição da forma em que a peça se deteriora. Todos os modos de falha das respectivas funções devem ser escritos separadamente, e para cada componente é necessário fazer uma análise qualitativa de como ele pode falhar. Seguindo os elementos, os efeitos potenciais de falha, por sua vez, são a forma como o cliente ou usuário final, de forma ampla, percebe a falha (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Após, é atribuído um valor para o campo de severidade (S) seguindo uma escala de 1 a 10, onde 1 significa efeito pouco severo e 10 significa efeito muito severo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). O Quadro 2 sugere a escala para análise da severidade de falha.

Quadro 2 – Escala para análise da severidade da falha

<b>Severidade do efeito</b>	<b>Descrição da severidade</b>	<b>Escala</b>
Muito alta	Quando compromete a segurança da operação ou envolve a infração aos regulamentos governamentais.	10 9
Alta	Quando provoca insatisfação do cliente, por exemplo, um veículo ou aparelho que não opera, sem comprometer a segurança ou implicar infração.	8 7
Moderada	Quando provoca insatisfação, devido à queda de desempenho ou mau funcionamento de partes do sistema.	6 5
Baixa	Quando provoca uma leve insatisfação, o cliente observa uma leve deterioração ou queda de desempenho.	4 3
Mínima	Falha que afeta minimamente o desempenho do sistema, e a maioria dos clientes nem mesmo note sua ocorrência.	2 1

Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009).

O tópico de Classificação pode ser utilizado para classificar uma característica de operação específica, ou um grupo de operações. Depois disso, o elemento de identificação das causas dos modos de falhas tem o objetivo de encontrar a causa raiz do problema. Nessa etapa, o conhecimento da equipe é importante para descrever, de forma concisa e completa, as causas dos modos de falha, para com isso, facilitar os esforços de correção e futuras melhorias (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Ligada às causas listadas está a ocorrência (O), que relaciona a probabilidade das causas listadas ocorrerem. Possui também uma escala qualitativa de 1 a 10, e relaciona-se com a taxa de falhas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009; LAFRAIA, 2001). O Quadro 3 apresenta o critério de avaliação sugerido.

Quadro 3 – Escala para probabilidade de ocorrência da falha

Ocorrência da falha	Taxa de falha	Escala
Muito alta	Falhas inevitáveis 100/1000 50/1000	10 9
Alta	Falhas que ocorrem com frequência 20/1000 10/1000	8 7
Moderada	Falhas ocasionais 5/1000 2/1000 1/1000	6 5
Baixa	Falhas raramente ocorrem 0,5/1000 0,1/1000	4 3
Mínima	Falhas muito improváveis 0,01/1000	2 1

Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009).

Controles de prevenção e detecção são as atividades que asseguram a robustez do projeto ou equipamento e diminuem a probabilidade de ocorrência do modo de falha. Controles atuais são aplicados em projetos similares. Controles usuais envolvem estudos mais profundos como, estudos matemáticos, testes com protótipos etc. A detecção (D) é a capacidade dos controles atuais em detectar causas ou modos potenciais de falha antes que ocorram. Utiliza escala qualitativa de 1 a 10, sendo 1 uma situação favorável e 10 uma situação desfavorável (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). O Quadro 4 apresenta o critério de avaliação sugerido.

Quadro 4 – Escala para probabilidade de detecção do modo de falha

Possibilidade de detecção	Descrição da detecção	Escala
Muito remota	A equipe de trabalho não identificará esse modo de falha.	10
Remota	A equipe de trabalho provavelmente não irá detectar esse modo de falha.	9 8
Baixa	Há uma baixa probabilidade de a equipe de trabalho detectar o modo de falha	7 6
Moderada	A equipe de trabalho pode detectar o modo de falha	5 4
Alta	Há uma alta probabilidade de a equipe de trabalho detectar o modo de falha	3 2
Muito alta	É quase certo que a equipe de trabalho irá detectar esse modo de falha	1

Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009).



Após o levantamento de todos os pontos anteriores, é obtido valor de risco (R), que é calculado para priorizar as ações de melhoria ou correção dos equipamentos ou projetos. A fórmula para encontrar o valor de risco é uma multiplicação entre severidade, detecção e controle, apresentada na Equação (28).

$$R = S.D.O \quad (28)$$

O Risco se eleva à medida que crescem a severidade, a ocorrência e a probabilidade de não detecção. Para itens com valores de risco elevados, são direcionadas ações de melhoria (SIQUEIRA, 2005).

Com os valores de risco calculados para todos os componentes, são analisados os de maior valor e são recomendadas ações, determinando responsáveis e data para execução. As ações recomendadas podem ser aplicadas para diminuir a probabilidade da não detecção, redução da severidade do efeito ou da probabilidade de ocorrência do modo de falha (SIQUEIRA, 2005; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

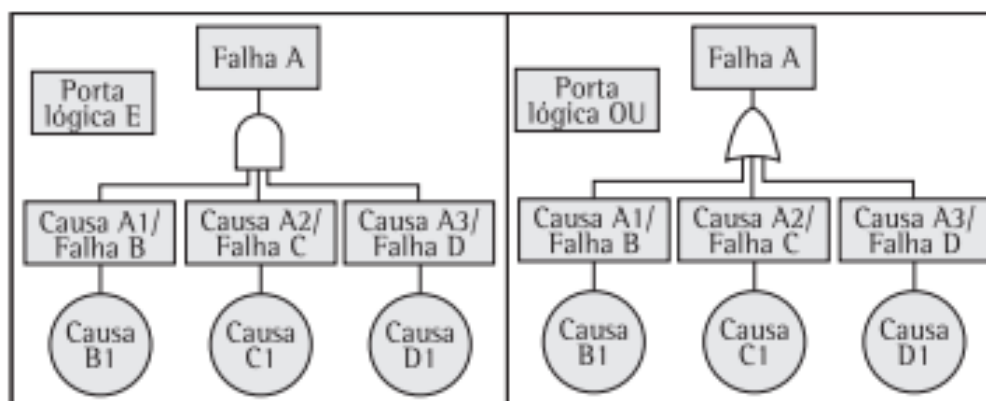
#### **2.4.4 FTA (Análise da Árvore de Falhas)**

O método da Análise da Árvore de Falhas, traduzido do inglês *Fault Tree Analysis* (FTA) é uma técnica de investigação para encontrar as possíveis causas da ocorrência de estados pré-identificados do sistema. Estes estados estão relacionados com o comportamento anormal do sistema, causados por erro humano, perturbações externas ou uma falha do equipamento (SAKURADA, 2001)

O método inicia com um evento de topo, também denominado de falha particular do sistema, desdobrando-se em uma árvore lógica até as falhas básicas (VOLLERTT JUNIOR, 1996)

Para construir uma FTA, utilizam-se símbolos como círculos e retângulos, e de operadores lógicos “ou” e “e”. O círculo representa um evento de falha básico, enquanto o retângulo representa também um evento de falha, mas sendo este resultado de uma combinação de outros eventos. Em relação aos operadores lógicos, a saída de uma porta lógica “e” implica em uma falha caso todos os eventos de entrada ocorram. Já a saída de uma porta lógica “ou” resulta em falha nos casos em que apenas um dos eventos de entrada ocorra. (OLIVEIRA U. R. et al. 2010). A Figura 4 exemplifica os operadores lógicos mais comuns de uma FTA.

Figura 4 – Operadores lógicos de uma FTA



Fonte: Oliveira U. R. et al. (2010)

#### 2.4.5 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) (do inglês *Reliability-centered Maintenance* - RCM) se originou na indústria aeronáutica na década de 50. Desde então, a metodologia migrou para outras áreas de atuação, como indústria automotiva, forças militares, e indústria de energia nuclear (RAUSAND, 1998).

Sellitto (2007) aponta a MCC como um dos métodos de suporte a decisões capazes de contribuir para o aumento da confiabilidade na produção.

Conforme Moubrey (1997), os resultados esperados com a aplicação da MCC são a elevação da segurança e proteção ambiental, melhor desempenho na operação, relacionado a quantidade e qualidade dos produtos e serviços ao cliente, custo de manutenção mais efetivo, itens mais caros com maior longevidade e um banco de dados de manutenção completo, além de pessoas mais motivadas e com melhor trabalho em equipe.

A metodologia MCC consiste na análise sistemática das funções e falhas funcionais de um sistema, identificando os modos e efeitos das falhas e selecionando tarefas de manutenção para prevenção das mesmas, segundo Smith (1992). Para isso, são utilizadas ferramentas de confiabilidade, como a FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falhas).

O processo de aplicação da metodologia MCC compreende uma sequência de questões, conforme apresentado por Moubrey (1997). As questões são:

- a) Quais as funções e padrões de desempenho atuais do equipamento?
- b) Como ele falha em executar suas funções?

- c) Qual a causa de cada falha funcional?
- d) O que ocorre quando cada falha acontece?
- e) Qual é a importância de cada falha?
- f) O que pode ser feito para que cada falha seja predita ou prevenida?
- g) O que fazer se não for identificada uma tarefa pró-ativa adequada?

## 2.5 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Segundo Pinto e Ribeiro (2002), para se ter um controle da manutenção eficiente e eficaz, são necessários acompanhamentos de desempenho dele através de indicadores. Estes indicadores são utilizados para identificar possíveis problemas que estão ocorrendo, determinando um padrão de comportamento dos equipamentos e sistemas de produção, para assim, aplicar as ações de manutenção. Os indicadores MTBF, MTTR, Disponibilidade e Confiabilidade (já explicados anteriormente) são alguns dos mais importantes para um controle da manutenção. Além disso, outros indicadores que ajudam a analisar o andamento da manutenção são a produtividade e a eficiência.

### 2.5.1 Produtividade

Em geral, a produtividade pode ser explicada, como o indicador responsável por mostrar a forma com que os recursos de um determinado processo estão sendo utilizados (PIRAN, LACERDA, & CAMARGO, 2018). A produtividade é a relação entre a quantidade de saídas (insumos gerados) pela quantidade de entradas (insumos necessários) para gerá-los, em um mesmo período (HEIZER & RENDER, 2001). Este indicador é calculado conforme a Equação (29).

$$Produtividade = \frac{\text{Outputs (saídas)}}{\text{Inputs (entradas)}} \quad (29)$$

O conceito de produtividade pode ser aplicado em todas as áreas geradoras de produtos a partir de insumos, como por exemplo indústria e área de serviços (MACEDO, 2012).

### 2.5.2 Eficiência

A eficiência representa o aproveitamento dos recursos de uma organização, ou seja, sua capacidade de reduzir os custos e maximizar resultados, receitas e lucros (PIRAN, 2015). A equação (30) demonstra o cálculo do conceito de eficiência.

$$Eficiência = \frac{\text{saídas (real)}}{\text{entradas (real)}} \text{ comparada com } \frac{\text{saídas (máx)}}{\text{entradas (máx)}} \quad (30)$$

A equação da eficiência (30) pode ser apresentada e calculada de maneira simplificada, conforme equação (31).

$$Eficiência = \frac{I}{I_{max}} \quad (31)$$

Onde:

I: Valor da performance alcançado no momento

$I_{max}$ : Valor da Máxima performance possível de alcance

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a implantação da metodologia MCC em um equipamento de uma linha de produção de uma indústria de bebidas.

#### 3.1 COLETA DE DADOS

Inicialmente será formado um grupo multidisciplinar com experiência na área de atuação constituído por um técnico eletricitista, um técnico mecânico, um técnico de planejamento, um supervisor de manutenção, operadores e um coordenador de confiabilidade. Após a equipe formada, serão coletados os dados de TBF, TTR e disponibilidade dos equipamentos de uma das linhas de produção da empresa.

#### 3.2 SOFTWARE DE MODELAGEM

A partir dos dados coletados, o *software* Proconf@ será utilizado para realizar a modelagem dos dados, a fim de encontrar os indicadores a serem analisados no trabalho. O *software* analisa amostras truncadas ou completas, estimando os parâmetros de distribuição, intervalos de confiança, calculando o MTTF, a taxa de falha e a confiabilidade para um período determinado. (FRITSCH; RIBEIRO, 1998)

#### 3.3 ESCOLHA DO EQUIPAMENTO

As linhas de produção de garrafas PET possuem, em geral, 8 equipamentos principais instalados em série. São eles:

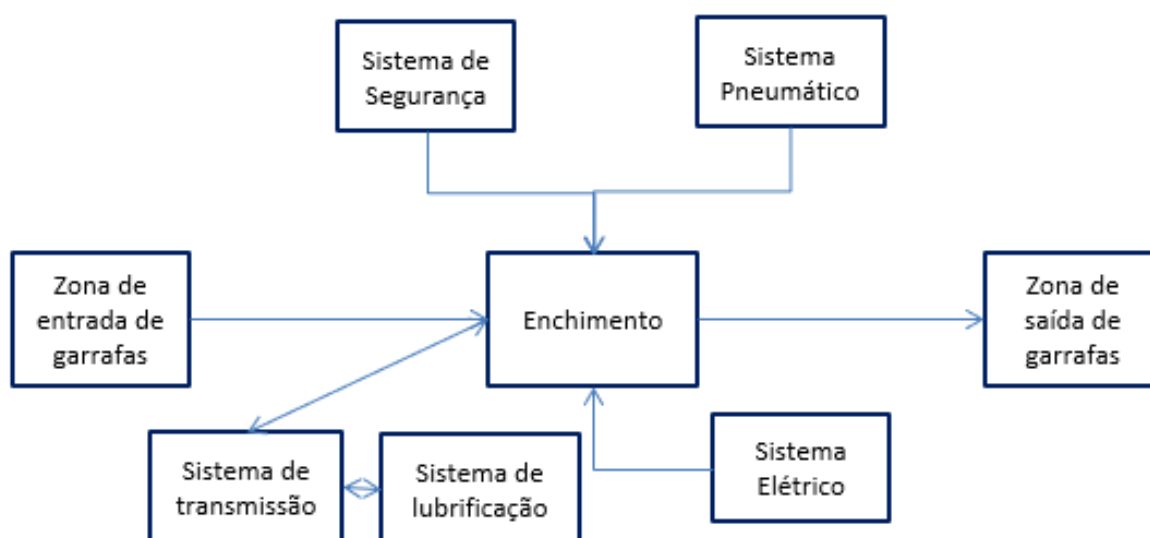
- a) Sopradora: transforma uma pré-forma em uma garrafa PET.
- b) Enchedora: responsável por encher as garrafas com o produto;
- c) Inspetor eletrônico: realiza a inspeção de qualidade do produto;
- d) Datadora: insere a data de validade nas garrafas;
- e) Rotuladora: aplica os rótulos nas garrafas;
- f) Empacotadora: agrupa as garrafas em fardos em pacotes e envolve-os em filme plástico;
- g) Paletizadora: agrupa os pacotes e monta os paletes;
- h) Envolvedora: responsável pela aplicação de filme plástico em volta dos paletes de produto acabado;

Para cada equipamento, serão comparados os dados de MTBF, MTTR e disponibilidade. O equipamento que apresentar baixo MTBF e disponibilidade, e MTTR alto, será o equipamento escolhido para aplicação da metodologia MCC, pois será o equipamento que pode trazer os maiores resultados de confiabilidade e redução de custos com manutenção.

### 3.4 DIVISÃO DO EQUIPAMENTO

Na etapa seguinte, inicia-se de fato a avaliação do equipamento escolhido. Inicialmente se definirão os sistemas do equipamento, como, por exemplo, o sistema pneumático e o sistema elétrico. Estes são organizados em um diagrama de blocos, a fim de se ter uma visão global do equipamento. A Figura 5. exemplifica um diagrama de blocos de uma enchedora de garrafas PET.

Figura 5 – Exemplo diagrama de blocos dos sistemas identificados



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.5 PREENCHIMENTO DA MATRIZ FMEA

A seguir, é apresentado o procedimento a ser adotado para o preenchimento da matriz FMEA.

Com a divisão dos sistemas realizada, preenche-se a primeira parte de uma matriz FMEA padrão elaborada para auxiliar o processo de aplicação da MCC. Cada

sistema é dividido em subsistemas, a fim de desenvolver uma análise detalhada de cada parte do equipamento. Dentro de cada subsistema serão divididos os conjuntos a serem detalhados, e, por fim, cada conjunto será dividido por componente, conforme demonstra o esquema da Figura 6 – Esquema da divisão do equipamento na matriz FMEA.

Figura 6 – Esquema da divisão do equipamento na matriz FMEA



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para cada componente, informa-se a sua quantidade instalada e a sua descrição. A descrição da função de cada componente seguirá a estrutura verbo + objeto + parâmetro de desempenho. O Quadro 5 apresenta um exemplo da estrutura desta primeira parte da matriz.

Quadro 5 – Exemplo da primeira parte matriz FMEA de um sistema

SUBSISTEMA (BLOCO)	CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE (Verbo+Objeto+Parâmetro de desempenho)
Zona de entrada de garrafa	Guias	Transportar as garrafas sem rótulo até a máquina	tiras de desgaste	5	Manter o alinhamento das garrafas
Sistema de Transmissão	Motor e redutor principal	Transmitir o torque gerado pelo motoredutor para o sistema de transferência	Rolamentos	1	Transmitir rotação no eixo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para segunda parte da matriz FMEA, analisa-se cada componente quanto ao seu desgaste natural, ocasionado pelo tempo de vida útil do componente, ou forçado,

quando certas condições de uso não são atendidas. Nela também é preenchido seu modo de falha, ou seja, a forma com que a peça se deteriora, e preenche-se também o efeito e consequência da falha. O Quadro 6 apresenta um exemplo da estrutura desta segunda parte da planilha.

Quadro 6 – Exemplo da Segunda parte matriz FMEA

TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA
Natural	Desgaste por atrito	Ocorre o travamento do transporte de entrada
Forçada	Queima / erro de leitura	Não libera entrada de garrafa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na terceira parte da matriz FMEA será classificado o tipo de falha, podendo ser evidente ou oculta. Em uma falha evidente é possível acompanhar sua evolução, enquanto, em uma oculta, não se consegue determinar quando irá ocorrer. O Quadro 7 apresenta um exemplo da estrutura desta segunda parte da planilha.

Quadro 7 – Exemplo da Terceira parte da matriz FMEA

TIPO DE FALHA	
EVIDENTE	OCULTA
X	
X	
X	
	x
X	
	x
X	
X	

Fonte: Elaborado pelo autor.



Após classificar o tipo de falha, serão encontrados os valores de risco para cada componente. Serão utilizados a experiência da equipe e o estudo do histórico de falhas, fornecido pelo *software* LMS® no formato de planilha Excel®, para determinar os valores para severidade, detecção e ocorrência. O Quadro 8 apresenta um exemplo do valor de risco calculado.

Quadro 8 – Exemplo do valor de risco na matriz FMEA

Valor de Risco			
SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	TOTAL
2	3	5	30
6	3	3	54

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez que os valores de risco foram calculados, o preenchimento da matriz FMEA foi finalizado. A partir deles, serão selecionados os componentes com os respectivos maiores valores, ou seja, aqueles em situação de risco crítica. Para estes, será determinado o tipo de manutenção mais adequada a ser implementada utilizando como apoio o esquema apresentado na Figura 7 – Relação Criticidade dos equipamentos com modos de falha. Este esquema relaciona o valor de risco calculado, que também é chamado de criticidade dos modos de falha, ou ainda de Número de Prioridade de Risco (*Risk Priority Number - RPN*), com a criticidade dos equipamentos, que corresponde a uma classificação ou hierarquia de importância dos equipamentos da linha de produção. Ao cruzar esses valores, serão encontradas as recomendações de manutenção a serem implementadas no sistema.

Figura 7 – Relação Criticidade dos equipamentos com modos de falha

		CRITICIDADE DOS MODOS DE FALHA NA FUNÇÃO DO EQUIPAMENTO (RCM) MÁX = 250							
		RPN RCM	Maior que 160	Entre 160 e 75	Entre 75 e 40	Menor que 40			
CRITICIDADE DOS EQUIPAMENTOS	Criticidade ativo							PDM full online / Monitoramento online / Inteligência Artificial	
	A								Troca mandatória (base tempo / horímetro)
	B								Inspeção qualitativa (parâmetros)
	C								Inspeção de rota (visuais / eventos qualidade/Testes de segurança)
							Check-list operacional (CIL)		

Fonte: Elaborado pela empresa.

Os valores de risco calculados, foram correlacionados com a criticidade do equipamento, no cruzamento entre ambos, apresentam recomendações de manutenção que serão adicionadas a um novo plano de manutenção, que substituirá o plano antigo, e passará a ser executado pela equipe de manutenção elétrica e mecânica da empresa. Após a execução destas etapas, e após um período de estabilização e geração de novos dados (aproximadamente um ano), serão coletados novamente os dados de MTBF, MTTR, Disponibilidade, eficiência e produtividade, e os indicadores serão comparados com os valores coletados anteriormente à aplicação da metodologia.

## 4 SISTEMA PROPOSTO

Este capítulo apresenta o sistema proposto para este trabalho, no qual foi implementada a metodologia proposta. O capítulo apresentará os dados obtidos com a manutenção centrada na confiabilidade e modelagem de dados através do *software* Proconf®.

### 4.1 DEFINIÇÃO DO EQUIPAMENTO

A primeira etapa para o desenvolvimento foi a escolha da linha de produção a ser analisada. Dentre as linhas de produção existentes na fábrica, a de garrafas PET de dois litros foi escolhida para análise por ser uma linha que não possui *setups* de embalagem, algo que as demais linhas da fábrica possuem. Mesmo possuindo esta característica como vantagem, a linha não atingia os indicadores estipulados como meta interna pela empresa.

Tendo esta escolha como ponto de partida, realizou-se a definição do equipamento a ser implementada a MCC. Para isso, as etapas de coleta de dados, modelagem e análise foram executadas.

#### 4.1.1 Coleta de dados

Esta etapa consistiu na coleta de uma amostra dos valores de TTR e TBF dos 8 principais equipamentos da linha de produção, cuja lista já foi previamente citada no item 3.2. Estes dados foram retirados do *software* LMS®, no qual são realizados os apontamentos das paradas de equipamentos. O Quadro 9 – Dados de TTR e TBF dos equipamentos demonstra os dados da amostra coletada no mês de dezembro de 2020.

Quadro 9 – Dados de TTR e TBF dos equipamentos

DATADOR		EMPACOTADORA		ENCHEDORA		ENVOLVEDORA		INSPETOR		PALETIZADORA		ROTULADORA		SOPRADORA	
TTR	TBF	TTR	TBF	TTR	TBF	TTR	TBF	TTR	TBF	TTR	TBF	TTR	TBF	TTR	TBF
0,076	169,43	0,81	21,45	0,1	19,23	0,124	125,4	0,021	209,33	0,12	100,34	0,29	34,61	0,55	21,99
0,021	190,49	0,11	39,99	1,18	33,21	0,21	100,22	0,87	187,22	0,28	112,01	0,21	10,45	0,21	61,8
0,076	99,34	0,67	49,22	0,029	10,22	0,098	91,98	0,21	250,74	0,18	55,32	0,12	8,34	0,29	44,87
0,103	210,45	0,81	18,28	0,019	22,29	0,136	81,99	0,02	198,11	0,11	34,88	0,09	23,56	0,49	19,32
0,111	123,76	0,1	56,23	0,25	18,88	0,148	76,23	0,19	268,99	0,13	109,98	0,11	4,99	0,62	49,33
0,124	187,87	0,091	73,12	0,29	50,12	0,264	109,98	0,03	233,45	0,21	67,21	0,17	49,43	0,44	51,94
0,098	109,34	0,89	99,39	0,44	30,34	0,284	135,83	0,29	200,25	0,19	50,51	0,33	3,12	0,21	66,49
0,08	69,33	0,021	109,77	0,019	9,1	0,187	128,66	0,1	192,39	0,09	42,87	0,21	7,98	0,89	39,46
0,067	267,9	0,011	10,33	0,012	29,21	0,101	56,88	0,05	263,56	0,08	89,23	0,1	5,1	0,78	78,43
0,034	200,12	0,19	19,45	0,16	33,67	0,122	100,1	0,17	277,91	0,17	29,33	0,13	4,66	1,21	61,09
0,087	177,66	0,21	44,56	0,28	38,45	0,135	39,44	0,02	266,73	0,23	20,1	0,38	18,56	0,99	44,82
0,099	145,33	0,32	84,34	0,22	7,99	0,142	219,33	0,13	105,55	0,29	98,36	0,4	16,65	1,09	28,48
0,022	100,32	0,77	18,33	0,015	12,65	0,127	202,4	0,09	129,85	0,37	88,45	0,27	9,67	0,68	51,77
0,213	88,17	0,61	114,47	0,123	39,19	0,201	99,33	0,11	288,88	0,07	101,59	0,24	19,45	0,64	56,12
0,045	221,12	0,29	110,54	0,244	8,55	0,184	91,26	0,08	290,28	1,1	145,82	0,19	20,54	0,88	30,45
0,089	99,38	0,26	80,22	0,31	9,77	0,133	72,48	0,03	274,74	0,72	100,33	0,5	21,56	0,12	39,55
0,095	124,28	0,35	67,23	0,48	18,32	0,22	90,88	0,13	268,98	0,03	44,22	0,29	10,33	0,23	59,1
0,077	187,33	0,33	55,48	0,8	30,56	0,198	66,57	0,18	299,33	0,33	59,33	0,31	19,22	0,44	47,67
0,088	134,77	0,49	50,29	0,31	6,33	0,152	87,36	0,03	255,66	0,09	81,9	0,33	9,56	0,66	56,77
0,091	189,47	0,36	44,26	0,24	13,88	0,149	80,01	0,1	274,12	0,03	28,66	0,41	7,77	0,54	55,89

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.2 Modelagem dos Dados

Com os dados extraídos e classificados por equipamento, foram realizadas as modelagens dos dados através do *Software Proconf®*. A partir do software, foi possível encontrar tanto os parâmetros de distribuição e MTTR quanto os parâmetros de distribuição e MTBF para cada equipamento. O Quadro 10 – Tabela dos resultados da modelagem para TTR apresenta os resultados das modelagens realizadas por equipamento para os dados de TTR.

Quadro 10 – Tabela dos resultados da modelagem para TTR

Equipamento	TESTE DO QUI-QUADRADO:	TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV:	DISTRIBUIÇÃO	PARÂMETROS
Datador	$\chi^2 = 5,62$ 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,0603	DN = 0,1861 Nível de Significância = 0,0679	A hipótese de que a população segue o modelo Normal não pode ser rejeitada.	95% do Intervalo de Confiança: para a Média = 0,0655 até 0,1041 para o Desvio Padrão = 0,0313 até 0,06
Empacotadora	$\chi^2 = 4,65$ 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,0979	DN = 0,165 Nível de Significância = 0,1635	A hipótese de que a população segue o modelo Lognormal não pode ser rejeitada.	t <sub>10</sub> = 0,0564 t <sub>50</sub> = 0,2489 MTTR = 0,385
Enchedora	$\chi^2 = 3,42$ 3 graus de liberdade Nível de Significância = 0,3319	DN = 0,1503 Nível de Significância = 0,1846	A hipótese de que a população segue o modelo Exponencial não pode ser rejeitada.	t <sub>10</sub> = 0,0291 t <sub>50</sub> = 0,1913 MTTR = 0,276

Quadro 10 – Tabela dos resultados da modelagem para TTR

Equipamento	TESTE DO QUI-QUADRADO:	TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV:	DISTRIBUIÇÃO	PARÂMETROS
Envolvedora	X <sup>2</sup> = 1,40 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,4962	DN = 0,161 Nível de Significância = 0,1904	A hipótese de que a população segue o modelo Lognormal não pode ser rejeitada.	t <sub>10</sub> = 0,1099 t <sub>50</sub> = 0,1589 MTTR = 0,165
Inspetor eletrônico	X <sup>2</sup> = 2,72 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,2562	DN = 0,1559 Nível de Significância = 0,2294	A hipótese de que a população segue o modelo Lognormal não pode ser rejeitada.	t <sub>10</sub> = 0,0241 t <sub>50</sub> = 0,0858 MTTR = 0,142
Paletizadora	X <sup>2</sup> = 2,42 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,2985	DN = 0,0765 Nível de Significância = 0,4183	A hipótese de que a população segue o modelo Lognormal não pode ser rejeitada.	t <sub>10</sub> = 0,0518 t <sub>50</sub> = 0,162 MTTR = 0,241
Rotuladora	X <sup>2</sup> = 1,94 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,3785	DN = 0,1397 Nível de Significância = 0,2138	A hipótese de que a população segue o modelo Lognormal não pode ser rejeitada.	t <sub>10</sub> = 0,1194 t <sub>50</sub> = 0,2265 MTTR = 0,254
Sopradora	X <sup>2</sup> = 2,43 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,2969	DN = 0,1546 Nível de Significância = 0,2396	A hipótese de que a população segue o modelo Lognormal não pode ser rejeitada.	t <sub>10</sub> = 0,233 t <sub>50</sub> = 0,5099 MTTR = 0,598

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 11 – Tabela dos resultados da modelagem para TBF apresenta os resultados das modelagens realizadas por equipamento para os dados de TBF.

Quadro 11 – Tabela dos resultados da modelagem para TBF

Equipamento	TESTE DO QUI-QUADRADO:	TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV:	DISTRIBUIÇÃO	ESTIMATIVA DA VEROSSIMILHANÇA MÁXIMA	PARÂMETROS
Datador	X <sup>2</sup> = 1,22 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,5437	DN = 0,1478 Nível de Significância = 0,1913	A hipótese de que a população segue o modelo Weibull não pode ser rejeitada.	Parâmetro de Localização = 46,9412 Gamma = 2,0878 Theta = 120,4564	95% do Intervalo de Confiança: para Gamma = 1,3524 até 2,7645 para Theta = 94,2961 até 153,1991 MTTF = 153,6331
Empacotadora	X <sup>2</sup> = 1,15 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,5621	DN = 0,1162 Nível de Significância = 0,283	A hipótese de que a população segue o modelo Weibull não pode ser rejeitada.	Gamma = 1,6985 Theta = 60,95	t <sub>10</sub> = 18,3214 t <sub>50</sub> = 51,4283 MTTF = 57,697

Quadro 11 – Tabela dos resultados da modelagem para TBF

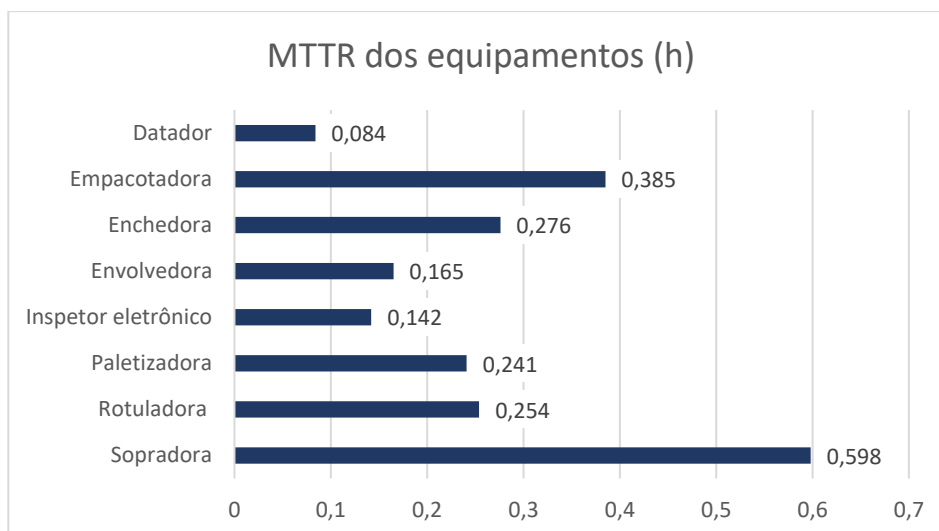
Equipamento	TESTE DO QUI-QUADRADO:	TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV:	DISTRIBUIÇÃO	ESTIMATIVA DA VEROSSIMILHANÇA MÁXIMA	PARÂMETROS
Enchedora	X <sup>2</sup> = 1,74 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,4195	DN = 0,1579 Nível de Significância = 0,2132	A hipótese de que a população segue o modelo Weibull não pode ser rejeitada.	Gamma = 1,3785 Theta = 19,1195	t <sub>10</sub> = 7,8647 t <sub>50</sub> = 18,6939 MTTF = 21,9629
Envolvedora	X <sup>2</sup> = 0,73 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,6929	DN = 0,1292 Nível de Significância = 0,2623	A hipótese de que a população segue o modelo Weibull não pode ser rejeitada.	Gamma = 2,4105 Theta = 89,2794	t <sub>10</sub> = 49,6246 t <sub>50</sub> = 92,1502 MTTF = 95,4034
Inspetor eletrônico	X <sup>2</sup> = 1,76 1 grau de liberdade Nível de Significância = 0,1844	DN = 0,1566 Nível de Significância = 0,2338	A hipótese de que a população segue o modelo Weibull não pode ser rejeitada.	Gamma = 4,6127 Theta = 237,8137	t <sub>10</sub> = 146,003 t <sub>50</sub> = 219,649 MTTF = 217,3346
Paletizadora	X <sup>2</sup> = 4,63 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,0986	DN = 0,1561 Nível de Significância = 0,2272	A hipótese de que a população segue o modelo Weibull não pode ser rejeitada.	Gamma = 1,9845 Theta = 72,0498	t <sub>10</sub> = 30,1932 t <sub>50</sub> = 67,438 MTTF = 72,2881
Rotuladora	X <sup>2</sup> = 1,76 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,4151	DN = 0,1317 Nível de Significância = 0,2366	A hipótese de que a população segue o modelo Weibull não pode ser rejeitada.	Gamma = 1,3305 Theta = 15,1173	t <sub>10</sub> = 3,8523 t <sub>50</sub> = 12,4301 MTTF = 15,2284
Sopradora	X <sup>2</sup> = 2,71 2 graus de liberdade Nível de Significância = 0,258	DN = 0,1256 Nível de Significância = 0,2545	A hipótese de que a população segue o modelo Weibull não pode ser rejeitada.	Gamma = 3,7115 Theta = 53,0218	t <sub>10</sub> = 27,9091 t <sub>50</sub> = 47,8028 MTTF = 47,7921

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.3 Análise das modelagens

Com as modelagens concluídas, os dados de MTTR e MTBF encontrados para cada equipamentos foram utilizados para gerar os gráficos, a fim de possibilitar uma melhor uma análise das condições de trabalho dos equipamentos. O Gráfico 1 apresenta os dados do MTTR dos equipamentos.

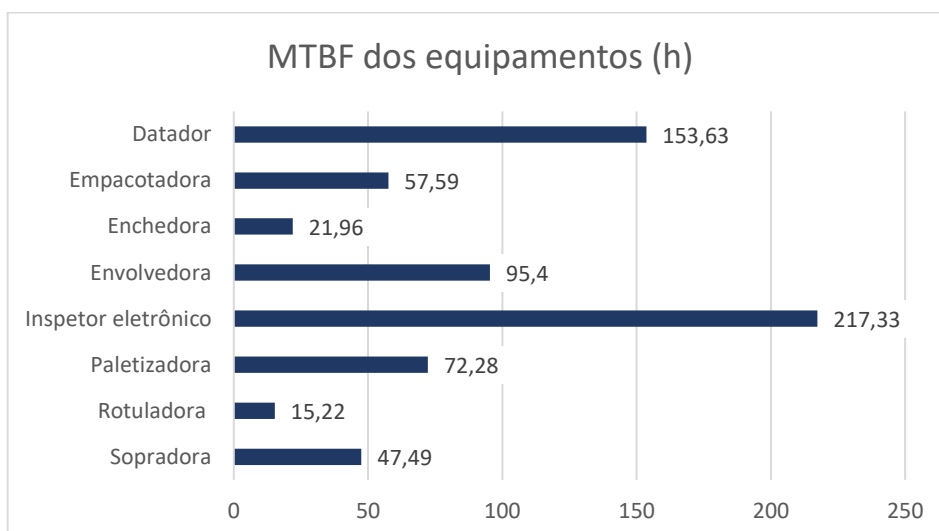
Gráfico 1 – MTTR dos equipamentos da linha



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 2 apresenta os dados do MTBF dos equipamentos.

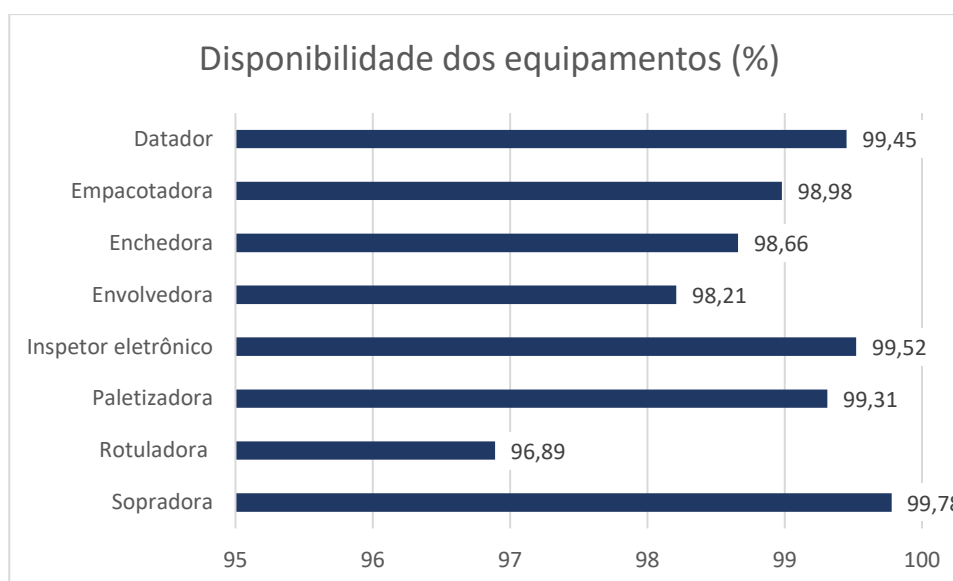
Gráfico 2 – MTBF dos equipamentos da linha



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além dos dados de MTTR e MTBF também foram calculados os valores de disponibilidade por equipamento. O Gráfico 3 – Disponibilidade dos equipamentos da linha apresenta os valores encontrados para Disponibilidade, os valores apresentados iniciam em 95% para uma melhor visualização.

Gráfico 3 – Disponibilidade dos equipamentos da linha



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.4 Escolha do equipamento

Dentre os equipamentos analisados, identificou-se que o que possui menor disponibilidade é a rotuladora, além do menor MTBF e o quinto maior MTTR. Devido a esses fatores, escolheu-se a rotuladora como o equipamento a ser analisado neste estudo de caso.

A rotuladora é responsável por adicionar o rótulo em garrafas de dois litros vazias, com velocidade nominal de 18.000 garrafas/hora. O equipamento possui duas estações de rotulagem. O equipamento funciona em média entre 5 e 6 dias na semana durante o ano inteiro. No início de 2020, a máquina passou por uma grande reforma a fim de deixá-la o mais perto possível do seu setup original. Com isso, a máquina encontrou-se no período da mortalidade infantil da curva da banheira devido a apresentar taxa de falha decrescente. Ao final do ano a máquina se encontrava no período de maturidade na curva da banheira, pois suas falhas eram aleatórias.

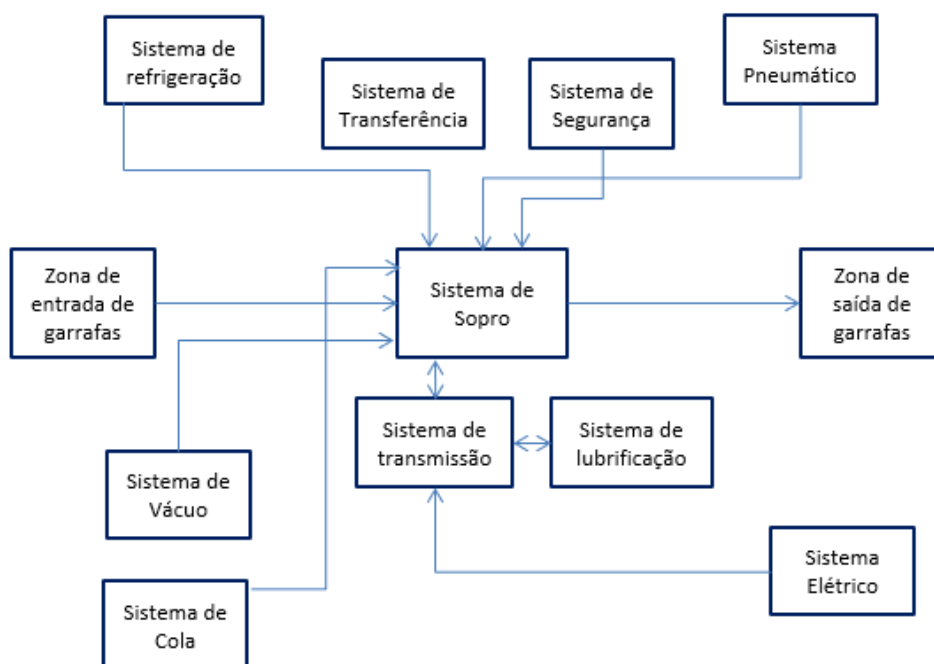
## 4.2 IDENTIFICAÇÃO DOS SISTEMAS

Para se ter uma visão geral da rotuladora, a máquina foi dividida em sistemas, a fim de que se tratassem cada um deles separadamente. Cada sistema correspondeu a uma parte da máquina, como por exemplo o sistema de vácuo, o qual é constituído



por componentes como bombas de vácuo e cilindro de transferência. No total, foram identificados 12 sistemas. A Figura 8 – Diagrama de blocos dos sistemas identificados demonstra o diagrama de blocos da rotuladora após esta divisão.

Figura 8 – Diagrama de blocos dos sistemas identificados



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.3 MATRIZ FMEA DA ROTULADORA

A etapa de elaboração da matriz FMEA é um dos pontos mais importantes na aplicação da MCC. A matriz foi preenchida pela equipe multidisciplinar conforme citado no item 3.4. A matriz auxiliou a encontrar os componentes do equipamento que podem gerar os maiores danos, probabilidades de falhas, e a indicar quais seus modos de falhas, auxiliando na elaboração das estratégias de manutenção.

A FMEA foi dividida em subsistemas relacionados com o diagrama de blocos apresentado no item 4.2. Dentro de cada subsistema foram definidos os conjuntos, e para cada conjunto foram definidos e analisados seus componentes individualmente.

Para o preenchimento da matriz, foi considerada a situação na qual a rotuladora se encontrava em dezembro de 2020. O Apêndice A apresenta a matriz FMEA desenvolvida para a rotuladora.

No total, foram identificados 85 componentes. Com a matriz FMEA preenchida para cada um deles, foram selecionados os componentes com risco mais elevado. A

equipe determinou que os componentes classificados com risco acima de 100 seriam analisados. No total, 23 componentes ficaram acima do estipulado como risco elevado.

Dos 23 componentes classificados, constatou-se que 20 estavam com valor de severidade igual ou maior que 7, demonstrando que no caso de ocorrência de falhas, os efeitos serão rígidos conforme classifica a escala apresentada no Quadro 2 – Escala para análise da severidade da falha

Para a probabilidade de ocorrências de falhas, foram encontrados 19 componentes com valores iguais a 5, indicando que é moderada a ocorrência de falhas conforme classifica a escala apresentada no Quadro 3 – Escala para probabilidade de ocorrência da falha. Todos os demais componentes encontraram-se com a probabilidade abaixo desse valor.

Analisando os valores da probabilidade de detecção, foram encontrados 19 componentes com valor de risco igual ou superior a 7, indicando a dificuldade da detecção da falha antes que ocorra, conforme classifica a escala apresentada no Quadro 4 – Escala para probabilidade de detecção do modo de falha.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a análise dos resultados obtidos após a aplicação da MCC na rotuladora.

### 5.1 RESULTADOS DE PERFORMANCE - MANUTENÇÃO

Analisando os componentes com valores de risco acima de 100 calculados na matriz FMEA apresentada no Apêndice A, foram elaboradas estratégias de manutenção para diminuir os riscos de falhas. O Quadro 12 apresenta essas estratégias criadas para diminuir os valores de risco dos componentes.

Quadro 12 – Estratégias de manutenção e melhorias adotadas

Sistema	Conjunto	Componente	S	O	D	RISCO	Estratégia adotada
Carrossel de rotulagem	Mancal principal	Rolamentos	8	4	6	<b>192</b>	Adicionado um plano de manutenção de troca mandatória a cada 8000 horas
Sistema de cola	Conjunto de Cola (Bomba e motoredutor)	Rolamentos	8	4	5	<b>160</b>	Alterada periodicidade do plano de troca mandatória de 16000 horas para 10000 horas e adicionado na inspeção qualitativa de motores o conjunto
Sistema de cola	Cilindro de Cola	Raspadores	7	5	6	<b>210</b>	Alterada periodicidade do plano de troca mandatória de 16000 horas para 8000 horas e adicionado inspeção visual pela operação
Sistema de cola	Cardan	Cardan	8	4	7	<b>224</b>	Adicionado um plano de manutenção de troca mandatória a cada 16000 horas e uma inspeção visual a cada 8000 horas
Sistema de corte	Elétrico	Sensor BL1	8	5	6	<b>240</b>	Adicionado no check list operacional a inspeção semanal dos sensores, quanto ao funcionamento, limpeza e reaperto
Sistema de corte	Elétrico	Sensor marca de corte	8	5	8	<b>320</b>	Adicionado no check list operacional a inspeção semanal dos sensores, quanto ao funcionamento, limpeza e reaperto
Sistema de corte	Cardan	Cardan	7	3	7	<b>147</b>	Adicionado no check list da rota de manutenção mecânica o cardan
Sistema segurança	Elétrico	Jogging	4	4	8	<b>128</b>	Adicionado no check list da rota de manutenção elétrica o jogging

Quadro 12 – Estratégias de manutenção e melhorias adotadas

Sistema	Conjunto	Componente	S	O	D	RISCO	Estratégia adotada
Sistema segurança	Cinta das portas	Cinta das portas	6	3	8	<b>144</b>	Adicionado plano de manutenção para troca mandatória a cada 16000 horas. Modificado o check list semanal da operação para contemplar as cintas
Sistema de transferência	Cilindro de Transferência	Cardan	8	3	8	<b>192</b>	Adicionado no check list da rota de manutenção mecânica o cardan
Sistema de transmissão	Motor e redutor principal (R562101)	Rolamentos	8	3	8	<b>192</b>	Instalados sensores de preditiva online para os rolamentos do motor e redutor
Sistema de vácuo	Bomba de Vácuo 1	Retentores	8	5	8	<b>320</b>	Retirado plano de inspeção visual e adicionado plano para troca mandatória a cada 8000 horas
Sistema de vácuo	Bomba de Vácuo 1	Rolamentos	6	5	7	<b>210</b>	Alterado o modelo de rolamento, aumentando sua vida útil. Alterada periodicidade da inspeção mecânica de 4400 horas para 2800 horas
Sistema de vácuo	Bomba de Vácuo 2	Retentores	8	5	8	<b>320</b>	Retirado plano de inspeção visual e adicionado plano para troca mandatória a cada 8000 horas
Sistema de vácuo	Bomba de Vácuo 2	Rolamentos	6	5	7	<b>210</b>	Alterado o modelo de rolamento, aumentando sua vida útil. Alterada periodicidade da inspeção mecânica de 4400 horas para 2800 horas
Sistema de vácuo	Bomba de Vácuo 3	Retentores	8	5	8	<b>320</b>	Retirado plano de inspeção visual e adicionado plano para troca mandatória a cada 8000 horas
Sistema de vácuo	Bomba de Vácuo 3	Rolamentos	6	5	7	<b>210</b>	Alterado o modelo de rolamento, aumentando sua vida útil. Alterada periodicidade da inspeção mecânica de 4400 horas para 2800 horas
Sistema elétrico	Painel elétrico	Inversores	8	3	8	<b>192</b>	Adicionado plano de manutenção para preventiva dos inversores a cada 16000 horas
Sistema elétrico	Painel elétrico	Painel de comando	7	4	8	<b>224</b>	Diminuído a periodicidade de limpeza do painel de 8000 horas para 4400 horas.
Sistema elétrico	Painel elétrico	IHM	7	3	8	<b>168</b>	Instalada proteção contra impacto e umidade. Adicionado no plano de inspeção da automação o backup do programa e inspeção visual
Sistema zona de entrada	Conjunto Caixa "L"	Rolamentos	6	4	7	<b>168</b>	Adicionado plano de manutenção para troca mandatória a cada 8000 horas
Sistema zona de entrada	Conjunto Caixa "L"	Anel de vedação	7	3	6	<b>126</b>	Adicionado plano de manutenção para troca mandatória do anel a cada 8000 horas

Quadro 12 – Estratégias de manutenção e melhorias adotadas

Sistema	Conjunto	Componente	S	O	D	RISCO	Estratégia adotada
Sistema zona de saída	Motor e redutor	Retentor	7	2	8	112	Retirado plano de inspeção visual e adicionado plano para troca mandatória a cada 8000 horas

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez que as novas estratégias de manutenção foram adotadas, novos planos foram desenvolvidos baseados nos resultados da análise da matriz. Para todos os componentes com alto valor de risco, foi verificado se cada um possuía algum plano de manutenção atrelado a ele. Para os componentes cujo plano não existia, estes foram adicionados. Para os componentes cujos planos de manutenção já existiam, estes foram então comparados com os novos planos desenvolvidos e foram atualizados, garantindo que:

- as novas estratégias fossem inclusas;
- o que já existia e não havia sido considerado pelas novas estratégias fosse mantido;
- o que estava desatualizado ou já estivesse contido em outras atividades, como inspeções de rota, por exemplo, fosse desconsiderado.

A rotuladora possuía inicialmente um total 49 planos de manutenção distribuídos ao longo do ano para sua execução. Cada plano de manutenção possui uma mão de obra específica. Estes são separados nos grupos: mecânica, elétrica, automação/instrumentação e operacional.

Todos os planos de manutenção da rotuladora foram revisados quanto a sua necessidade, material utilizado, tempo de execução e custo de manutenção. Também foram excluídos os planos que não eram necessários ou que se repetiam. Ao final da revisão, o número total de planos de manutenção diminuiu para 43, uma redução de 12,24%. O Quadro 13 demonstra a quantidade de planos por mão de obra específica antes e após a elaboração do MCC.

Quadro 13– Planos de manutenção por mão de obra específica

Mão de obra	Número de planos anterior	Número de planos posterior
Mecânico	17	22
Elétrico	12	5
Automação/Instrumentação	7	5
Operacional	13	12
Total	49	43

Fonte: Elaborado pelo autor.

No total, o número de planos de manutenção sofreu uma redução de seis planos. Apesar disso, percebe-se que o número total de planos de manutenção para a mão de obra mecânica aumentou. Isto se deve à existência de 5 componentes com alto risco que não possuíam uma estratégia de manutenção estabelecida.

Para a mão de obra elétrica, o número de planos foi diminuído praticamente pela metade, devido a unificação de pequenas inspeções em uma única geral e mais completa. Foram Instalados sensores de monitoramento preditivo online no motor e redutor principal, fazendo com que os planos de manutenção preventiva e inspeção de rota fossem desnecessários. Eles foram então excluídos.

Com a revisão os planos de manutenção da automação/instrumentação, foram agrupados 3 planos em apenas 1, devido aos componentes estarem no mesmo conjunto. Por fim, a estratégia de manutenção operacional também foi revisada, e esta teve um único plano de manutenção eliminado, que não era mais necessário já que um procedimento de rotina executava o mesmo trabalho.

Juntamente com a redução da quantidade de planos, os custos com peças de reposição e a contratação de serviços externos de manutenção foram impactados. Utilizando dados retirados do *software* de ERP da fábrica, que contabiliza os custos de peças e serviços para a execução dos planos de manutenção dos equipamentos. O Quadro 14 demonstra os custos com a manutenção anterior e posteriormente a aplicação da MCC.

Quadro 14 – Custo da manutenção na rotuladora

Custo anterior	Custo posterior	Economia
R\$125.354,81	R\$83.176,88	R\$42.177,93

Fonte: Elaborado pelo autor.

Estes custos, representam uma redução de 33,65%. As ações que mais contribuíram para esta redução foram a aplicação do monitoramento preditivo, a troca de alguns fornecedores de peças de reposição e o desenvolvimento de algumas melhorias para eliminar ou otimizar planos de manutenção.

Revisados todos os procedimentos de manutenção, separando por grupo específico de mão de obra, foram encontradas oportunidades de desenvolvimento de melhorias para diminuir o tempo de execução dos planos. Como exemplo, tem-se a revisão do encoder principal, componente responsável pela sincronização do equipamento. Nele, o técnico em eletrônica desmontava um conjunto para ter acesso ao componente, e após inspeção, montava novamente o conjunto. Neste exemplo, a

solução encontrada foi a oportunidade de modificar a posição do encoder, para assim, facilitar o acesso do mesmo sem a necessidade de desmontar o conjunto, e com isso ganhar tempo ao realizar a manutenção. No Quadro 15 é demonstrado o tempo hora-homem por mão de obra específica, após a aplicação da MCC.

Quadro 15 – Tempo Hora-Homem por mão de obra específica

Mão de Obra	Tempo Antes	Tempo Depois
Mecânico	183,5	227
Elétrico	37,83	15,33
Automação/Instrumentação	32	23
Operacional	15	11
Total	268,33	276,33

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir deste quadro, é possível identificar que, mesmo com a diminuição no número de planos, o tempo total para a execução deles não sofreu grandes impactos, mas ao contrário, acabou um pouco maior em algumas horas. O aumento no tempo de execução para a mão de obra mecânica está relacionado exclusivamente à adição dos 5 planos de manutenção já citados anteriormente. Ainda assim, mesmo sem a diminuição na carga horária da mão de obra, os custos totais concluíram em resultados positivos depois da aplicação da MCC.

Com as novas estratégias de manutenção criadas para a rotuladora, foi atualizada a matriz FMEA com os valores de risco do cenário posterior para verificar a eficácia dos planos de manutenção e melhorias criadas. No Quadro 16 é apresentada a comparação entre os novos valores de risco calculados após atualização da matriz FMEA e os valores do cenário anterior, para cada um dos 23 componentes analisados.

Quadro 16 – Comparação entre valores de risco

Sistema	Conjunto	Componente	Cenário anterior				Cenário posterior			
			S	O	D	RISCO	S	O	D	RISCO
Carrossel de rotulagem	Mancal principal	Rolamentos	8	4	6	192	6	2	6	72
Sistema de cola	Conjunto de Cola (Bomba e motoredutor)	Rolamentos	8	4	5	160	8	2	3	48

Quadro 16– Comparação entre valores de risco

Sistema	Conjunto	Componente	Cenário anterior				Cenário posterior			
			S	O	D	RISCO	S	O	D	RISCO
Sistema de vácuo	Bomba de Vácuo 3	Retentores	8	5	8	<b>320</b>	8	2	6	<b>72</b>
Sistema de vácuo	Bomba de Vácuo 3	Rolamentos	6	5	7	<b>210</b>	6	2	6	<b>84</b>
Sistema elétrico	Painel elétrico	Inversores	8	3	8	<b>192</b>	6	2	6	<b>84</b>
Sistema elétrico	Painel elétrico	Painel de comando	7	4	8	<b>224</b>	7	3	4	<b>84</b>
Sistema elétrico	Painel elétrico	IHM	7	3	8	<b>168</b>	7	2	5	<b>60</b>
Sistema zona de entrada	Conjunto Caixa "L"	Rolamentos	6	4	7	<b>168</b>	7	3	5	<b>60</b>
Sistema zona de entrada	Conjunto Caixa "L"	Anel de vedação	7	3	6	<b>126</b>	6	2	5	<b>50</b>
Sistema zona de saída	Motor e redutor	Retentor	7	2	8	<b>112</b>	4	2	6	<b>84</b>
Sistema segurança	Elétrico	Jogging	4	4	8	<b>128</b>	5	3	6	<b>108</b>
Sistema segurança	Cinta das portas	Cinta das portas	6	3	8	<b>144</b>	7	2	5	<b>50</b>
Sistema de transferência	Cilindro de Transferência	Cardan	8	3	8	<b>192</b>	6	3	4	<b>60</b>
Sistema de transmissão	Motor e redutor principal	Rolamentos	8	3	8	<b>192</b>	5	2	2	<b>20</b>
Sistema de vácuo	Bomba de Vácuo 1	Retentores	8	5	8	<b>320</b>	5	2	6	<b>48</b>
Sistema de vácuo	Bomba de Vácuo 1	Rolamentos	6	5	7	<b>210</b>	5	2	5	<b>40</b>
Sistema de vácuo	Bomba de Vácuo 2	Retentores	8	5	8	<b>320</b>	4	2	6	<b>72</b>
Sistema de vácuo	Bomba de Vácuo 2	Rolamentos	6	5	7	<b>210</b>	4	2	6	<b>72</b>
Sistema de cola	Cilindro de Cola	Raspadores	7	5	6	<b>210</b>	6	2	4	<b>40</b>
Sistema de cola	Cardan	Cardan	8	4	7	<b>224</b>	6	2	4	<b>32</b>
Sistema de corte	Elétrico	Sensor BL1	8	5	6	<b>240</b>	5	3	4	<b>60</b>
Sistema de corte	Elétrico	Sensor marca de corte	8	5	8	<b>320</b>	4	3	4	<b>48</b>
Sistema de corte	Cardan	Cardan	7	3	7	<b>147</b>	5	3	4	<b>60</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

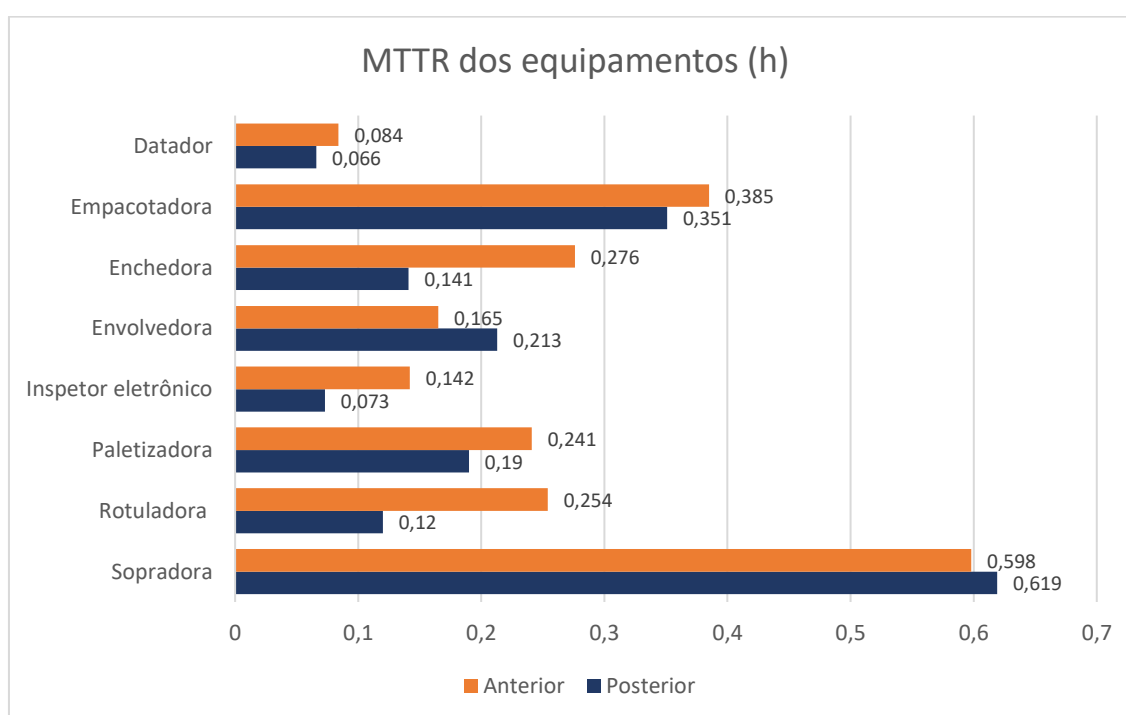


Analisando os valores do quadro apresentado, verificou-se que número de componentes com severidade igual ou maior que 7 diminuiu de 20 para 5. Os 19 componentes com probabilidade de ocorrência igual a 5 foram todos reduzidos para valores iguais ou menores que 3. Para a probabilidade de detecção, dos 18 componentes que possuíam valores acima ou igual a 7, 8 tiveram redução para valores iguais a 6, e 10 tiveram redução para valores iguais ou menores que 5. Por fim, verificou-se também que todos os componentes da matriz FMEA ficaram com valores de risco abaixo de 100 após atualização.

## 5.2 RESULTADOS DE PERFORMANCE - EQUIPAMENTO

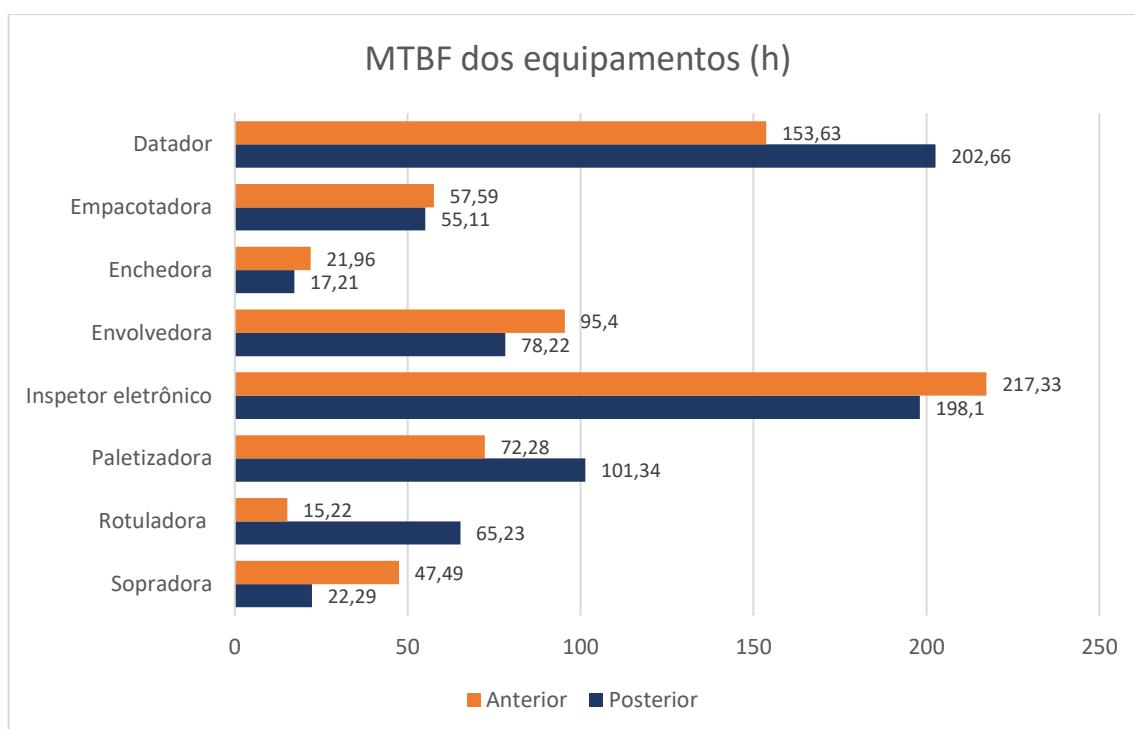
Finalizada a aplicação da MCC e revisados os planos de manutenção, foram coletados os dados de MTTR, MTBF e calculada a Disponibilidade utilizando dados coletados no mês de novembro de 2021, aproximadamente um ano após a aplicação. Com isso, foram gerados os Gráficos Gráfico 4 – MTTR dos equipamentos da linha, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Gráfico 6 – Disponibilidade dos equipamentos da linha a fim de realizar a comparação entre o cenário anterior e posterior.

Gráfico 4 – MTTR dos equipamentos da linha



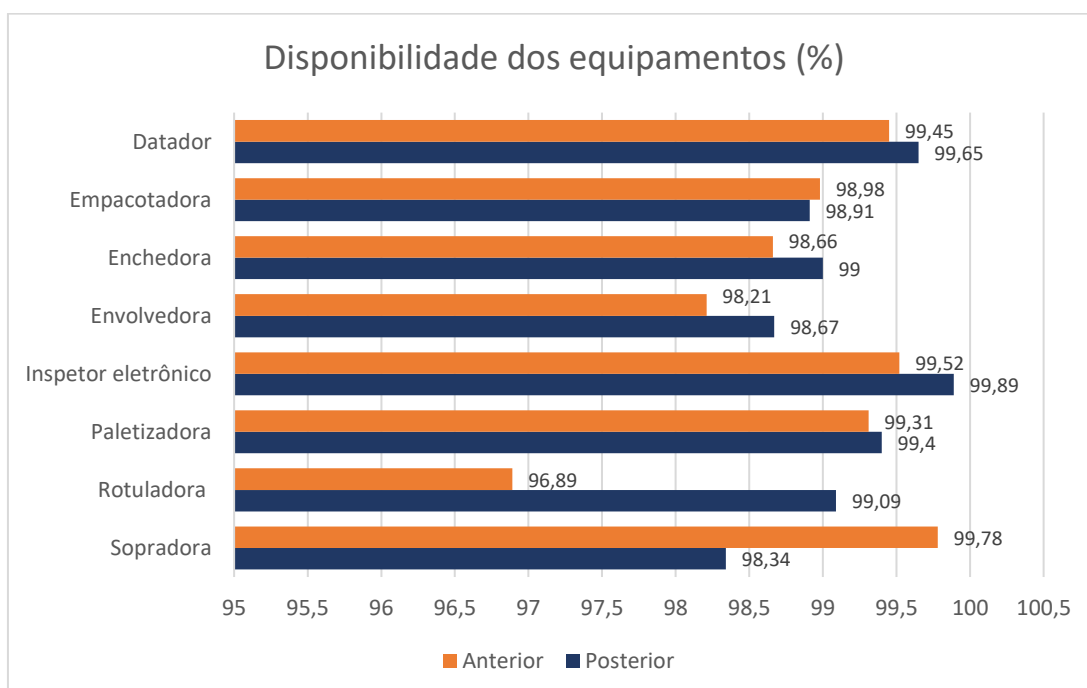
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 5 – MTBF dos equipamentos da linha



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 6 – Disponibilidade dos equipamentos da linha



Fonte: Elaborado pelo autor.

Fazendo uma comparação entre os dados antes e após a aplicação da MCC, verifica-se que o MTBF da rotuladora aumentou de 15,6 para 65,23 horas (4,2 vezes

o valor original), o MTTR diminuiu de 0,217 para 0,120 horas (-47,2%) e a disponibilidade aumentou de 96,89 para 99,09% (+2,2 p.p). Com estes dados, é possível identificar uma evolução na confiabilidade da rotuladora após a MCC, já que o equipamento aumentou o tempo entre falhas, diminuiu o tempo de reparo e aumentou consideravelmente a disponibilidade, respectivamente, e deixando com isso de ser o equipamento menos eficiente da linha.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho descreveu a aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em uma rotuladora de garrafas PET de dois litros de uma linha de produção. Os principais objetivos esperados com este estudo foram o aumento da disponibilidade e a confiabilidade do equipamento, e como consequência, a diminuição do custo de manutenção dele.

Com a coleta e modelagem dos dados, foi possível determinar a real situação em que se encontravam os equipamentos da linha produção. O uso dos resultados da modelagem (MTTR, MTBF e disponibilidade) facilitou a tomada de decisão quanto a escolha do equipamento, permitindo a priorização e o foco da aplicação do método. Por apresentar a pior disponibilidade, o menor MTBF e o quinto maior MTTR na rotuladora foi o equipamento escolhido para a aplicação da MCC.

Aproximadamente após um ano da aplicação da metodologia no equipamento, identificou-se que houve uma diminuição no valor de MTTR, melhorando em 47% o tempo levado para reestabelecer o funcionamento do equipamento desde a ocorrência de uma falha. Além disso, o MTBF aumentou, e com isso o equipamento funciona por mais tempo sem falhas, o que contribui para a linha a bater as suas metas de performance e custos. Diminuindo o MTTR e aumentando o MTBF, a disponibilidade da rotuladora aumentou, e conseqüentemente, a confiabilidade do equipamento também aumenta. A rotuladora deixou de ser o pior equipamento da linha, e passou a atender seus indicadores de performance, contribuindo para a motivação dos operadores em manter os resultados obtidos.

Os resultados financeiros após o MCC foram favoráveis. O custo para as manutenções preventivas reduziu em R\$42.177,93 por ano, o que representa uma redução de 33,65% em relação ao custo original. O valor economizado anualmente poderá ser investido na rotuladora para projetos de melhoria no equipamento, ou a empresa pode utilizar para outros fins que a empresa considerar prioridade.

O trabalho também tinha outros objetivos, como a revisão dos planos de manutenção existentes e geração de novos planos, complementar a documentação existente sobre o comportamento desse equipamento e suas características de operação, a fim de melhorar os indicadores de performance do equipamento e através da matriz FMEA, calcular o valor de risco dos principais componentes.

Com a finalização da matriz FMEA da rotuladora, foram comparados os planos de manutenção novos com os existentes. O total de planos de manutenção foi reduzido de 49 para 43, representando uma redução de 12,24% no número total de planos. Os procedimentos de manutenção e operação foram revisados, e com isso alguns sofreram alguma melhoria para reduzir o tempo total de execução, e outros foram excluídos por serem repetidos ou seus planos de manutenção foram retirados. Mesmo com a redução do número total de planos, o tempo total para realizar manutenções preventivas não foi impactado, mas redistribuído entre os grupos de mão de obra.

Implementando a metodologia MCC, o conhecimento da equipe de manutenção e operação sobre o equipamento aumentou consideravelmente, uma vez que, cada sistema, subsistema e componente da máquina foram analisados individualmente. Com maior conhecimento, o time de operação e manutenção estão mais aptos a antecipar falhas mais facilmente, e atuar de forma mais rápida e assertiva em falhas que possam ocorrer. Além disso, novos documentos padrões para consultas foram criados para a rotuladora, como por exemplo, o plano de manutenção a ser realizado no ano com seus respectivos materiais necessários, e a matriz FMEA completa com seus modos de falhas, fornecendo apoio para manutenções futuras.

Por fim, conclui-se que os objetivos deste estudo foram atingidos, demonstrando que em épocas atuais a MCC é uma metodologia que traz muitos benefícios para a empresa, já que a disponibilidade dos equipamentos interfere diretamente no setor financeiro da empresa, e por consequência na competitividade do mercado. É possível também concluir que aplicação da manutenção centrada na confiabilidade necessita tempo e de conhecimentos diversos do equipamento para a sua aplicação, mas os seus resultados alcançados trazem impactos financeiros positivos para a empresa.

A manutenção centrada na confiabilidade uma vez aplicada, não deve ser esquecida. Devido aos modos de falhas mudarem conforme o tempo passa ou manutenções de reformas são realizadas, a MCC deve ser acompanhada constantemente e atualizada conforme oportunidades de melhoria são encontradas.

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação da MCC em outros equipamentos do mesmo tipo de linha de produção (PET dois litros), e em equipamentos instalados em linhas de produção (de garrafa PET ou ainda de vidro retornável) que possuam

*setup* de embalagem, pois esta característica implica em modificação dos componentes do equipamento de acordo com o *setup* implementado.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

FOGLIATTO, Flavio S.; RIBEIRO, José L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FRITSCH, Celso; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Proconf**: um *software* orientado para análises de confiabilidade. Rio de Janeiro, 1998. 8 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998. Disponível em: <[www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1998\\_art234](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1998_art234)>. Acesso em: 10 março 2015.

HEIZER, Jay H.; & RENDER, Barry. **Administração de operações: bens e serviço**. Rio de Janeiro: LTC. 2001.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2009.

LAFRAIA, João R. B. **Manual de confiabilidade manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MACEDO, Mariano M. **Gestão da produtividade nas empresas**. Revista organização sistêmica. 2012.

MOBLEY, R. K. **Maintenance Fundamentals: Plan Engineering**: Elsevier Inc, 2004.

MOUBRAY, John. **Reliability-Centered Maintenance: RCM**. Industrial Press, 1997.

OLIVEIRA, U. R. et al. **Metodologia integrada para mapeamento de falhas: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas**. Prod. v. 20, n. 1, p. 77-91, 2010.

PEREIRA, Mario. J. **Engenharia de Manutenção: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

PINTO, Alan Kardec; RIBEIRO, Haroldo. **Gestão Estratégica e Manutenção Autônoma**. Rio de Janeiro. ABRAMAN, 2002.

PIRAN, F. A. **Modularização de produto e os efeitos sobre a eficiência técnica: uma avaliação em uma fabricante de ônibus**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas), Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 2015.

PIRAN, F. S., LACERDA, D. P., & CAMARGO, L. F. (2018). **Análise da Eficiência**. Elsevier, 2018.

RAUSAND M.; VATN J. **Reliability Centered Maintenance**. In C. G. Soares editor, Risk and Reliability in Marine Technology, Balkema, Holland, 1998 27p. Disponível em: [www.ipk.ntnu.no/fag/SIO3050/notater/introduction\\_to\\_RCM.pdf](http://www.ipk.ntnu.no/fag/SIO3050/notater/introduction_to_RCM.pdf) Acesso em: 10 nov 2021.

SAKURADA, Eduardo Y. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2001.

SELLITTO, Miguel. **Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos**, GEPROS, v.2, n. 1, p.97-108, 2007.

SELLITTO, Miguel. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos**. Produção, v.15, n.1, p.044-059, 2005.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

SMITH, A. M. **Reliability Centered Maintenance**. Boston: McGraw-Hill, Inc. 1992.

VOLLERTT JUNIOR, João R. **Confiabilidade e falhas de campo: um estudo de caso para melhoria da confiabilidade de um produto e do reparo, através de um procedimento sistemático de coleta de dados**. Santa Catarina, Florianópolis, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. 1996.



## APÊNDICE A – MATRIZ FMEA DA ROTULADORA

Quadro 17 Matriz FMEA da rotuladora

(continua)

SUBSISTEMA: CARRROSSEL DE ROTULAGEM														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Mancal principal	Transportar as garrafas sem rótulo até a máquina	Rolamentos	4	Transmitir rotação no eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Ocorre o travamento da máquina		x	8	4	6	<b>192</b>
Cabeça de Centragem	Gerar movimento para a rotulagem	Molas	48	Travar a bucha no eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Desalinhamento das garrafas	x		4	1	1	<b>4</b>
Cabeça de Centragem	Gerar movimento para a rotulagem	Discos	48	Vedar o eixo da cabeça	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Desalinhamento das garrafas	x		4	1	4	<b>16</b>
Cabeça de Centragem	Gerar movimento para a rotulagem	Buchas	24	Vedar o eixo da cabeça	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Desalinhamento das garrafas	x		4	2	1	<b>8</b>
Cabeça da Máquina	Gerar movimento para a rotulagem	Mancal	2	Transmitir rotação para o eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Travamento do carrossel de garrafas		x	4	2	3	<b>24</b>
Pratinho	Gerar movimento para a rotulagem	Correia	1	Transmitir sincronismo para os pratos	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Travamento do carrossel de garrafas	x		4	1	1	<b>4</b>

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: CARROSSEL DE ROTULAGEM														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Pratinho	Gerar movimento para a rotulagem	Rolamentos	48	Transmitir rotação para o eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Trava o prato	x		3	2	1	<b>6</b>
Pratinho	Gerar movimento para a rotulagem	Anéis de vedação	24	Vedar entrada de ar	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Trava o prato	x		3	1	1	<b>3</b>
Motor de Elevação do carrossel	Gerar movimento para a rotulagem	Motor de Elevação do carrossel	1	Elevação do carrossel	Baixa isolamento	Natural	Baixa isolamento	Não consegue realizar a altura do carrossel		x	2	1	5	<b>10</b>
Sistema de Alisamento	Gerar movimento para a rotulagem	Escovas	12	Realizar o alinhamento do rótulo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Garrafas com rótulo torto e desalinhado	x		3	3	1	<b>9</b>

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DE COLA ESTAÇÕES 1 E 2														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Elétrico	Fornecer cola para rotulagem	Resistências	14	Derreter a cola	Ressecamento	Natural	Ressecamento	Parada de máquina por temperatura baixa		x	4	3	3	36
Elétrico	Fornecer cola para rotulagem	Termopar	4	Fazer medição da temperatura	Descalibração	Natural	Descalibração	Parada de máquina por temperatura baixa		x	3	3	3	27
Elétrico	Fornecer cola para rotulagem	Controlador de Temperatura	4	Fazer leitura da temperatura	Descalibração	Natural	Descalibração	Parada de máquina por erro da temperatura		x	3	3	3	27
Conjunto de Cola (Bomba e motoredutor)	Fornecer cola para rotulagem	Rolamentos	10	Transmitir rotação para o eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Travamento do motor		x	8	4	5	160
Cilindro de Cola	Fornecer cola para rotulagem	Rolos	4	Transportar cola para o rótulo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Não passa cola para o rótulo	x		4	3	5	60
Cilindro de Cola	Fornecer cola para rotulagem	Raspadores	8	Ajustar película de cola	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Não passa cola para o cilindro	x		7	5	6	210
Cardan	Fornecer cola para rotulagem	Cardan	2	Transmitir rotação para o conjunto de cola	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Trava o cilindro de cola	x		8	4	7	224

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DE CORTE ESTAÇÕES 1 E 2														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Elétrico	Fornecer rótulo individual para rotulagem	Sensor BL1	1	Indicar que rótulo passou para garrafa	Queima / falha de sinal	Forçada	Queima / falha de sinal	Verificar se rótulo passou para garrafa		x	8	5	6	<b>240</b>
Elétrico	Fornecer rótulo individual para rotulagem	Sensor rolo bailarino	1	Controlar pressão do freio do porta bobina	Queima / falha de sinal	Forçada	Queima / falha de sinal	Falha no controle do freio do porta bobina, gerando erro de corte		x	4	5	4	<b>80</b>
Elétrico	Fornecer rótulo individual para rotulagem	Sensor marca de corte	1	Fazer leitura da marca de corte	Queima / falha de sinal	Forçada	Queima / falha de sinal	Rótulo cortado em posição incorreta		x	8	5	8	<b>320</b>
Elétrico	Fornecer rótulo individual para rotulagem	Sensor da caixa PIV	1	Indicar comprimento do rótulo	Queima / falha de sinal	Forçada	Queima / falha de sinal	Perde referência do comprimento de rótulo		x	4	2	3	<b>24</b>
Elétrico	Fornecer rótulo individual para rotulagem	Sensor da goleira	1	Controlar alinhamento do rótulo na garrafa	Queima / falha de sinal	Forçada	Queima / falha de sinal	Rotulagem sai fora do PTP		x	4	2	3	<b>24</b>

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DE CORTE ESTAÇÕES 1 E 2														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Elétrico	Fornecer rótulo individual para rotulagem	Motor de passo	1	Ajustar o corte do rótulo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Erro no comprimento do rótulo		x	4	1	2	8
Elétrico	Fornecer rótulo individual para rotulagem	Motor via aresta	1	Manter o alinhamento do rótulo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Desalinhamento de rótulo no cilindro de faca		x	4	2	3	24
Rolo estriado	Fornecer rótulo individual para rotulagem	Rolamentos	10	Transmitir transmissão para o eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Travamento do rolo estriado		x	4	5	1	20
Cilindro de Faca	Fornecer rótulo individual para rotulagem	Faca de corte	2	Cortar o rótulo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Falha no corte do rótulo	x		4	5	1	20
Cardan	Fornecer rótulo individual para rotulagem	Cardan	1	Transmitir rotação para o conjunto de corte	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Trava o cilindro de corte	x		7	3	7	147

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Tubulação	Fornecer graxa para o sistema	Tubulação	1	Transportar graxa para o sistema	Corrosão	Natural	Corrosão	Vazamento de graxa do sistema		x	3	1	3	9
Motorbomba	Fornecer graxa para o sistema	Rolamento	1	Transmitir rotação para o motor	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Travamento do motor da bomba		x	3	1	3	9
Conduites	Fornecer graxa para o sistema	Conduites	1	Unir as tubulações nos pontos de lubrificação	Corrosão	Natural	Corrosão	Vazamento de graxa do sistema		x	2	1	3	6
Pressostato	Fornecer graxa para o sistema	Pressostato	1	Fazer leitura de pressão do sistema de lubrificação	Descalibração	Natural	Descalibração	Não ligar bomba de graxa		x	3	4	3	36
Sensor	Fornecer graxa para o sistema	Sensor	1	Verificar/Indicar pressão máxima do sistema de lubrificação	Queima / falha de sinal	Forçada	Queima / falha de sinal	Não desligar bomba de graxa		X	3	2	1	6

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DE SEGURANÇA														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Elétrico	Garantir a segurança durante a operação	Sensor de segurança da porta	4	Parar equipamento em caso de abertura das portas	Queima / falha de sinal	Forçada	Queima / falha de sinal	Não Parar equipamento em caso de abertura das portas		X	9	1	3	27
Elétrico	Garantir a segurança durante a operação	Jogging	1	Acionar a máquina em modo de segurança	Falha de sinal dos botões	Forçada	Falha de sinal dos botões	Não acionar a máquina em modo de segurança		x	4	4	8	128
Cinta das portas	Garantir a segurança durante a operação	Cinta das portas	1	Elevar portas de acesso a máquina	Queima / falha de sinal	Forçada	Queima / falha de sinal	Porta não abre		x	6	3	8	144
Motor e redutor	Garantir a segurança durante a operação	Motor e redutor	2	Elevar portas de acesso a máquina	Baixa isolamento	Natural	Baixa isolamento	Não é possível abrir as portas para acesso a máquina		x	3	1	3	9

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA ESTAÇÕES 1 E 2														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Cilindro de Transferência	Rotular as garrafas	Mancal	4	Transmitir rotação para o eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Travamento do eixo	x		3	5	1	15
Cilindro de Transferência	Rotular as garrafas	Unhas	18	Prender o rótulo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Não fixa o rótulo	x		3	5	1	15
Cilindro de Transferência	Rotular as garrafas	Alavanca	6	Dar pressão para o rótulo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Travamento do eixo	x		3	5	1	15
Cilindro de Transferência	Rotular as garrafas	Buchas	12	Transmitir rotação para o eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Travamento do eixo	x		3	5	1	15
Cilindro de Transferência	Rotular as garrafas	Rolete came	6	Transmitir rotação para o came	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Falha no sincronismo das garras	x		3	5	1	15
Cilindro de Transferência	Rotular as garrafas	Molas	6	Manter pressão nas garras	Fadiga	Natural	Fadiga	Falha no sincronismo das garras	x		3	5	1	15
Cilindro de Transferência	Rotular as garrafas	Régua de sucção	36	Prender o rótulo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Falha na transferência do rótulo	x		3	5	1	15
Cilindro de Transferência	Rotular as garrafas	Cardan	2	Transmitir rotação para o conjunto de transferência	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Trava o cilindro de corte	x		8	3	8	192



Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DE TRANSMISSÃO														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Motor e redutor principal (R562101)	Transmitir o torque gerado do motor para transferência	Rolamentos	31	Transmitir rotação no eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Ocorre o travamento da máquina		x	8	3	8	192
Engrenagem intermediária	Transmitir o torque gerado do motor para transferência	Retentores	17	Vedar entrada de água	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Erro de sincronismo nas engrenagens		x	4	3	5	60
Engrenagem	Transmitir o torque gerado do motor para transferência	Anéis de vedação	2	Vedar entrada de água	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Ocorre o travamento do sincronismo da máquina		x	4	1	5	20
Embreagem Pneumática (Acionamento cilindro de faca 2)	Transmitir o torque gerado do motor para transferência	Distribuidor rotativo	1	Distribuir ar	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Ocorre o travamento do cilindro de facas		x	4	1	5	20

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DE VÁCUO														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Elétrico	Transferir rótulo para faca	Termopar	1	Fazer medição da temperatura	Descalibração	Natural	Descalibração	Parada de máquina por temperatura baixa		x	3	3	3	27
Elétrico	Transferir rótulo para faca	Controlador de Temperatura	1	Fazer leitura da temperatura	Descalibração	Natural	Descalibração	Parada de máquina por erro da temperatura		x	3	3	3	27
Elétrico	Transferir rótulo para faca	Manômetro	1	Indicar o vácuo no tambor	Descalibração	Natural	Descalibração	Indica valor errado de vácuo	x		1	1	1	1
Elétrico	Transferir rótulo para faca	Sensores	3	Indicar Presença de rótulo na transferência	Queima	Forçada	Queima	Parada de máquina por erro de leitura do sensor indicando que falta rótulo		x	5	2	4	40
Bomba de Vácuo 1	Transferir rótulo para faca	Retentores	1	Vedar entrada de água para o motor	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Queima do motor		x	8	5	8	320
Bomba de Vácuo 1	Transferir rótulo para faca	Rolamentos	4	Transmitir rotação para o rotor	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Queima do motor		x	6	5	7	210

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DE VÁCUO														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Bomba de Vácuo 2	Transferir rótulo para faca	Retentores	1	Vedar entrada de água para o motor	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Queima do motor		x	8	5	8	<b>320</b>
Bomba de Vácuo 2	Transferir rótulo para faca	Rolamentos	4	Transmitir rotação para o rotor	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Queima do motor		x	6	5	7	<b>210</b>
Bomba de Vácuo 3	Transferir rótulo para faca	Retentores	1	Vedar entrada de água para o motor	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Queima do motor		x	8	5	8	<b>320</b>
Bomba de Vácuo 3	Transferir rótulo para faca	Rolamentos	4	Transmitir rotação para o rotor	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Queima do motor		x	6	5	7	<b>210</b>

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DE ELÉTRICO														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Painel elétrico	Fornecer eletricidade para componentes da máquina	Inversores	1	Controlar velocidade do motor principal	Sujidade	Natural	Sujidade	Motor principal não aciona		x	8	3	8	<b>192</b>
Painel elétrico	Fornecer eletricidade para componentes da máquina	Painel de comando	1	Ligar e desligar sistemas da máquina	Sujidade	Natural	Sujidade	Parada de máquina por falta de controle de acionamento		x	7	4	8	<b>224</b>
Painel elétrico	Fornecer eletricidade para componentes da máquina	IHM	1	Controlar marca de corte e comprimento rótulo	Sujidade	Natural	Sujidade	Parada de máquina por falta de controle de acionamento		x	7	3	8	<b>168</b>
Painel elétrico	Fornecer eletricidade para componentes da máquina	PLC	1	Fazer comunicação para os periféricos da máquina	Sujidade	Natural	Sujidade	Parada de máquina por falta de comando para componentes da máquina		x	7	1	7	<b>49</b>

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DA ZONA DE SAÍDA DE GARRAFAS														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Coluna Estrela saída	Transportar as garrafas rotuladas	Anel vedação	1	Vedar entrada de água	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Não gera movimento para a estrela de garrafa	x		3	1	1	3
Coluna Estrela saída	Transportar as garrafas rotuladas	Rolamentos	2	Permitir rotação para o eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Não gera movimento para a estrela de garrafa	x		3	2	1	6
Motor e redutor	Transportar as garrafas rotuladas	Rolamento	1	Transmitir rotação no eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Ocorre o travamento da máquina		x	7	2	6	84
Motor e redutor	Transportar as garrafas rotuladas	Retentor	1	Vedar entrada de água	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Ocorre o travamento da máquina		x	7	2	8	112
Transporte de Saída	Transportar as garrafas rotuladas	Esteira	1	Transportar a garrafa para a estrela de saída	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Desalinhamento da garrafa na saída das garrafas	x		4	4	2	32

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DA ZONA DE ENTRADA DE GARRAFAS														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Guias	Transportar as garrafas	Tira de desgaste	5	Manter o alinhamento das garrafas	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Desalinhamento da garrafa no carrossel	x		3	1	4	12
Transporte de Entrada	Transportar as garrafas	Esteira	1	Transportar a garrafa para a estrela de entrada	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Desalinhamento da garrafa na entrada da garrafa	x		4	2	5	40
Transporte de Entrada	Transportar as garrafas	Sensores	1	Parar o equipamento com o transporte de entrada no nível mínimo	Queima / erro de leitura	Forçada	Queima / erro de leitura	Não libera entrada de garrafa		x	4	3	5	60
Transporte de Entrada	Transportar as garrafas	Engrenagens	2	Tracionar a esteira	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Não gerar o movimento de tração da esteira	x		5	2	3	30
Transporte de Entrada	Transportar as garrafas	Mancal	2	Transmitir rotação no eixo e alinhar	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Não gerar o movimento de tração da esteira	x		3	3	1	9

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DA ZONA DE ENTRADA DE GARRAFAS														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Sem fim	Transportar as garrafas sem rótulo até a máquina	Rolo tensor	1	Tensionar a correia	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Não gerar o movimento para o sem fim	x		3	1	1	3
Embreagem sem fim	Transportar as garrafas sem rótulo até a máquina	Rolamentos	8	Permitir rotação dos componentes da embreagem	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Não gerar o movimento para o sem fim	x		3	1	4	12
Embreagem sem fim	Transportar as garrafas sem rótulo até a máquina	Sensor	1	Indicar que embreagem sem-fim está acoplada	Queima / erro de leitura	Forçada	Queima / erro de leitura	Máquina para por embreagem desacoplada	x		5	1	5	25
Caixa redutora sem fim	Transportar as garrafas sem rótulo até a máquina	Rolamentos	6	Permitir rotação dos componentes	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Não gera movimento para a caixa redutora	x		5	3	1	15
Coluna Estrela Intermediária	Transportar as garrafas sem rótulo até a máquina	Rolamentos	2	Permitir rotação para o eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Não gera movimento para a estrela de garrafa	x		3	1	1	3
Coluna Estrela entrada	Transportar as garrafas sem rótulo até a máquina	Rolamentos	2	Permitir rotação para o eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Não gera movimento para a estrela de garrafa	x		3	1	1	3

Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(continuação)

SUBSISTEMA: SISTEMA DA ZONA DE ENTRADA DE GARRAFAS														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Conjunto Caixa "L"	Transportar as garrafas	Rolamentos	2	Transmitir rotação no eixo	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Ocorre o travamento do transporte de entrada		x	6	4	7	168
Conjunto Caixa "L"	Transportar as garrafas	Anel de vedação	1	Vedar entrada de água	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Ocorre o travamento do transporte de entrada		x	7	3	6	126
Arco Guia	Transportar as garrafas	Tira de desgaste	4	Manter o alinhamento das garrafas	Desgaste por atrito	Natural	Desgaste por atrito	Desalinhamento da garrafa no carrossel	x		2	1	2	4



Quadro 17 – Matriz FMEA da rotuladora

(conclusão)

SUBSISTEMA: SISTEMA DE PNEUMÁTICO														
CONJUNTO	FUNÇÃO DO SUBSISTEMA (BLOCO)	COMPONENTE / SUBCONJUNTO	QUANTIDADE DO ITEM	FUNÇÃO DO COMPONENTE	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	TIPO DE DETERIORAÇÃO (Natural ou Forçada)	MODO DE FALHA DE DETERIORAÇÃO NATURAL	EFEITO E CONSEQUÊNCIA DA FALHA	TIPO DE FALHA		CONSEQUÊNCIA FEC			
									EVIDENTE	OCULTA	S	O	D	RISCO
Válvula reguladora	Fornecer ar para a máquina	Válvula reguladora	1	Ajustar a pressão de ar da máquina	Desgastes	Natural	Desgastes	Travamento da regulagem de pressão de ar	x		3	1	3	9
Mangueiras	Fornecer ar para a máquina	Mangueiras	1	Garantir pressão estável na máquina	Desgastes	Natural	Desgastes	Queda de pressão na máquina	x		3	1	3	9
Válvula direcional	Fornecer ar para a máquina	Válvula direcional	1	Garantir acionamento da embreagem	Desgastes	Natural	Desgastes	Falha no acionamento da embreagem	x		4	1	3	12
Pressostato	Fornecer ar para a máquina	Pressostato	1	Verificar pressão de entrada	Descalibração	Natural	Descalibração	Falha no equipamento devido pressão mínima		x	4	1	3	12

Fonte: Elaborado pelo autor.