

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

**ALEXANDRE AUGUSTO SCHMIDLIN KEIL**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA  
DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE EM  
EQUIPAMENTO DA INDÚSTRIA DE BEBIDAS**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2017**

**ALEXANDRE AUGUSTO SCHMIDLIN KEIL**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA  
DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE EM  
EQUIPAMENTO DA INDÚSTRIA DE BEBIDAS**

Monografia apresentada como requisito parcial  
à obtenção do título de Especialista em  
Engenharia da Confiabilidade, do  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof.Dr. Emerson Rigoni

**CURITIBA**

**2017**



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

# AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE EM EQUIPAMENTO DA INDÚSTRIA DE BEBIDAS

por

ALEXANDRE AUGUSTO SCHMIDLIN KEIL

Esta monografia foi apresentada em 04 de Novembro de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.  
Professor Orientador - UTFPR

---

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

---

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

## RESUMO

KEIL, Alexandre A. S. **Avaliação do impacto da implantação de um programa de Manutenção Centrada na Confiabilidade em equipamento da indústria de bebidas**. 2017. 67. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A presente monografia tem por objetivo identificar uma metodologia para avaliação do impacto da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) de forma quantitativa, comparando desempenho antes e após sua implantação em uma enchedora instalada em uma indústria de bebidas. Foi definido realizar o estudo em um dos sistemas que compõe o equipamento, o sistema de selagem é responsável pelo maior índice de falhas no equipamento, sendo coletados dados históricos de tempo até falha (TBF) e tempo de reparo (TTR). Por meio do *softwares* Weibull++ foram identificadas e modeladas as distribuições que melhor ajustaram-se aos dados: Weibull 3 parâmetros para dados de tempo entre falha antes e após a MCC e para os tempos de reparo: Ionormal para antes da MCC e Gamma Generalizada após a MCC, possibilitando cálculo da confiabilidade e Mantenabilidade do sistema. Com a definição das distribuições foi simulada a disponibilidade do sistema de selagem através de um diagrama de blocos de confiabilidade utilizando-se o *software* BlockSim resultando em um aumento na disponibilidade de  $A(v) = 99,06\%$  antes da MCC para  $A(v) = 99,84\%$  após a MCC. Foi possível determinar que através do cálculo da disponibilidade para períodos determinados comprova-se um efeito positivo do programa de MCC implementado.

**Palavras-chave:** Manutenção Centrada na Confiabilidade. Reliability. Maintainability. Availability.

## ABSTRACT

KEIL, Alexandre A. S. **Evaluation of the impact of the implementation of a Reliability Centered Maintenance program on beverage industry equipment.** 2017. 67. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

This monograph aims to identify a methodology for evaluating the impact of the Reliability Centered Maintenance (MCC) methodology in a quantitative way, comparing performance before and after its implementation in a filler installed in a beverage industry. It was defined to carry out the study in one of the systems that make up the equipment, the sealing system is responsible for the highest number of failures in the equipment, and historical time to failure (TBF) and repair time (TTR) data are collected. Through Weibull ++ softwares, the distributions that best fit the data were identified and modeled: Weibull 3 parameters for time data between failure before and after the MCC and for the repair times: lognormal before MCC and Generalized Gamma after MCC, making possible the reliability and maintenance of the system. With the definition of the distributions, the availability of the sealing system was simulated through a block diagram of reliability using the BlockSim software resulting in an increase in the availability of  $A(v) = 99,06\%$  before MCC to  $A(v) = 99,84\%$  after MCC. It was possible to determine that, by calculating the availability for certain periods, a positive effect of the implemented MCC program is demonstrated.

**Keywords:** Reliability Centered Maintenance. Reliability. Maintainability. Availability.

## LISTA ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Gráfico V balanceamento linhas.....	17
Figura 2: Distribuição de paradas de equipamentos em linhas de refrigerantes .....	17
Figura 3: Pasteurizador da linha de chá .....	19
Figura 4: Enchedora de copos .....	20
Figura 5: Codificador .....	21
Figura 6: Encaixotadora de copos.....	22
Figura 7: Estocagem de paletes.....	22
Figura 8: Eficiência e motivos de parada.....	23
Figura 9: Tempo de parada de cada equipamento.....	24
Figura 10: Impacto de cada equipamento na quebra total de equipamentos .....	25
Figura 11: Sistema de transmissão. ....	26
Figura 12: Válvulas de enchimento .....	28
Figura 13: Sistema de selagem.....	29
Figura 14: Curva PDF.....	31
Figura 15: Probabilidade de falha em um intervalo de tempo .....	32
Figura 16: Probabilidade de falha acumulada ou curva CDF .....	32
Figura 17: Curva da banheira e ciclo de vida .....	33
Figura 18: Disponibilidade .....	38
Figura 19: Tempo de parada por conjunto da enchedora.....	40
Figura 20: Distribuição de paradas na Enchedora .....	40
Figura 21: Teste de aderência dos dados .....	44
Figura 22: Probabilidade de falha $F(t)$ - Antes MCC.....	45
Figura 23: Função densidade probabilidade $f(t)$ - Antes MCC.....	46
Figura 24: Função confiabilidade $R(t)$ - Antes MCC .....	46
Figura 25: Taxa de falha $h(t)$ - Antes MCC.....	47
Figura 26: MTBF para tempo entre falhas antes MCC .....	47
Figura 27: distribuição tempo de reparo.....	48
Figura 28: Probabilidade de reparo em função do tempo.....	49
Figura 29: Manutenibilidade $M(t)$ - Antes MCC .....	49
Figura 30: Taxa de reparo em função do tempo .....	50
Figura 31: Tempo Médio de Reparo antes MCC.....	51
Figura 32: Definição de modelos de distribuição de falhas e reparo .....	52
Figura 33: Simulação de disponibilidade Antes MCC.....	52
Figura 34: Probabilidade de falha $F(t)$ - Após MCC.....	54
Figura 35: Função densidade probabilidade $f(t)$ - Após MCC.....	54
Figura 36: Função confiabilidade $R(t)$ - Após MCC .....	55
Figura 37: Taxa de falha $h(t)$ - Após MCC.....	55
Figura 38: MTBF para tempo entre falhas - Após MCC .....	56
Figura 39: Cálculo de dados de confiabilidade para TTR após MCC .....	57
Figura 40: Probabilidade de reparo $m(t)$ .....	57

Figura 41: Manutenibilidade $M(t)$ - Após MCC .....	57
Figura 42: Taxa de reparo após MCC .....	58
Figura 43: Tempo médio de Reparo após MCC .....	59
Figura 44: Simulação de disponibilidade - Após MCC .....	60
Figura 45: Comparativo entre probabilidades de falha .....	61
Figura 46: Comparativo entre curvas CDF .....	62
Figura 47: Comparativo Manutenibilidade $M(t)$ .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo entre falha (Minutos) - Antes aplicação MCC.....	41
Tabela 2 – Tempo para Reparo (Minutos) - Antes aplicação MCC.....	42
Tabela 3 – Tempo entre falha (Minutos) - Após aplicação MCC.....	42
Tabela 4 – Tempo para Reparo (Minutos) - Após aplicação MCC.....	43
Tabela 5 – Distribuições definidas para cada base de dados.....	44
Tabela 6 – Comparativo da probabilidade de falha.....	61
Tabela 7 – Relatório comparativo da simulação de disponibilidade.....	64

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CDF	Cumulative Distribution Function
CIP	Clean In Place
FDP	Função Densidade de Probabilidade de falha
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time To Repair
PDF	Probability Density Function
PIB	Produto Interno Bruto
TBF	Time Between Fail
TMEF	Tempo Médio Entre Falhas
TTR	Time To Repair

## **LISTA DE ACRÔNIMOS**

ABIA	Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação
CAPEX	Capital Expenditure
CIP	Clean In Place
OPEX	Operational Expenditure
PIB	Produto Interno Bruto

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\infty$  = *Infinito*;

$\mu$  = *Média*;

$\sigma$  = *Desvio Padrão*;

$\lambda$  = *Função Gamma*;

$\Gamma$  = *Função Gamma*;

$\eta$  = *Parâmetro de escala*;

$\beta$  = *Parâmetro de forma*;

$\gamma$  = *Parâmetro de localização*;

$t$  = *Tempo até Falha*;

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	TEMA .....	12
1.1.1	<i>Delimitação do tema .....</i>	<i>12</i>
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS .....	13
1.3	OBJETIVOS.....	14
1.3.1	<i>Objetivos gerais.....</i>	<i>14</i>
1.3.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>14</i>
1.4	JUSTIFICATIVA .....	15
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	15
<b>2.</b>	<b>INDÚSTRIA BEBIDAS - ENVASE DE CHÁ EM COPO.....</b>	<b>16</b>
2.1	LINHA ENVASE DE CHÁ.....	18
2.1.1	<i>Preparação de bebida/Pasteurização.....</i>	<i>19</i>
2.1.2	<i>Envase.....</i>	<i>20</i>
2.1.3.	<i>Codificação.....</i>	<i>21</i>
2.1.4	<i>Encaixotamento.....</i>	<i>21</i>
2.1.5	<i>Paletização .....</i>	<i>22</i>
2.2	DISTRIBUIÇÃO DAS PARADAS DE EQUIPAMENTO NA LINHA DE COPOS.....	23
2.3	ENCHEDORA DE COPOS .....	26
2.3.1	<i>Sistema de Transmissão/Estrutura.....</i>	<i>26</i>
2.3.2	<i>Sistema Elétrico.....</i>	<i>27</i>
2.3.3	<i>Sistema de Enchimento de Copos.....</i>	<i>27</i>
2.3.4	<i>Sistema de Selagem.....</i>	<i>28</i>
2.3.5	<i>Instrumentos de Medição .....</i>	<i>29</i>
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....</b>	<b>30</b>
3.1	MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE.....	30
3.2	CONFIABILIDADE .....	30
3.2.1	<i>Distribuições de probabilidade .....</i>	<i>34</i>
3.2.2.1	<i>Distribuição Lognormal .....</i>	<i>34</i>
3.2.2.2	<i>Distribuição Exponencial .....</i>	<i>35</i>
3.2.1.4	<i>Distribuição Gamma.....</i>	<i>36</i>
3.3	MANTENABILIDADE .....	37
3.4	DISPONIBILIDADE .....	38
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS DA PESQUISA.....</b>	<b>39</b>
4.1	ANÁLISE DA CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE ANTES APLICAR MCC .....	44
4.1.1	<i>Análise de confiabilidade antes implantação MCC.....</i>	<i>44</i>
4.1.2	<i>Análise Manutenibilidade antes da MCC.....</i>	<i>48</i>
4.1.3	<i>Análise da Disponibilidade antes da MCC.....</i>	<i>51</i>
4.2	ANÁLISE DA CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE APÓS APLICAR MCC .....	53
4.2.1	<i>Análise de confiabilidade após a implantação da MCC.....</i>	<i>53</i>
4.2.3	<i>Análise da Disponibilidade antes da MCC.....</i>	<i>59</i>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>64</b>
	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>67</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Este capítulo tratará do tema deste trabalho, de sua delimitação, do problema, dos objetivos, da justificativa, da metodologia de pesquisa e da estrutura do trabalho.

### 1.1 TEMA

O atual contexto econômico faz com que as indústrias estejam constantemente buscando redução de custo e uma maior produtividade em suas operações, a fim de manterem-se competitivas no mercado. Uma das estratégias adotadas para atender este objetivo é a otimização de uso de seus ativos, estabelecendo-se rotinas de manutenção que preservem o ativo em modo funcional, gerando disponibilidade do mesmo para empresa. Desta forma, uma das metodologias utilizadas para suportar os setores de manutenção neste aumento de disponibilidade é a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).

No entanto, faz-se necessário monitoramento adequado de indicadores essenciais para que seja possível comprovarmos a efetividade da metodologia na obtenção de resultados e objetivos da companhia onde esta sendo aplicado.

#### 1.1.1 Delimitação do tema

O processo de implantação de um programa de MCC é um processo de longo prazo, necessitando de grande esforço e dedicação de grupos multifuncionais nas análises de modos de falha, capacitação e implementação das rotinas de manutenção para enfim iniciar um novo processo de manutenção em um determinado equipamento (LAFRAIA, 2001). Desta forma quando se define como premissa em uma companhia a implementação da MCC em todos os seus ativos, o prazo para a contemplação de todos os equipamentos e o programa estar efetivamente operando como um todo é longo.

No entanto as companhias, para atender as constantes exigências do mercado, necessitam de resultados que possam lhes gerar um diferencial no mercado, com velocidade muitas vezes não compatível com o processo de

implantação e amadurecimento do programa de MCC e ainda objetivando retorno de investimento em treinamento, disponibilização de técnicos, operadores, engenheiros para os estudos em curto prazo.

Desta forma tem-se como desafio, demonstrar para a alta direção das companhias o avanço do programa conforme a evolução de implantação e os benefícios atingidos, de forma sustentar o programa como um todo até sua maturidade. Portanto é de extrema importância definir no processo de MCC, como será realizada a demonstração de ganho disponibilidade de ativos, redução de falhas, redução de custos alinhados com a estratégia da empresa em que se esta sendo implementado o programa. Com a definição de indicadores e através da avaliação destes, individualmente por equipamento podemos demonstrar de forma quantitativa a efetividade da MCC.

O objeto de estudo deste trabalho se limitará a apenas um equipamento de uma fabrica de refrigerantes da região de Curitiba.

Este trabalho terá como ponto focal a avaliação de indicadores de manutenção, obtidos através do software de gerenciamento SAP de forma a propiciar um estudo comparativo, baseando-se na análise de dados de vida anteriormente e após ser aplicado o estudo e plano de MCC ao objeto de estudo, desenvolvendo metodologia para avaliação do ciclo de vida deste equipamento, de forma a ser possível replicar para os demais equipamentos da empresa. Não é objeto de estudo o processo de implementação da metodologia de MCC nesta empresa/equipamento.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

As corporações baseiam suas tomadas de decisões e estratégias de negócio a partir de dados, indicadores de custos e redução de perdas. Como desafio na comprovação da efetividade de um programa de MCC de uma forma que facilite a análise dos níveis gerenciais das empresas quanto a evolução e comprovação de retorno do investimento neste tipo de metodologia tem-se:

- Como comprovar a efetividade do programa de MCC na redução de falhas, paradas de equipamentos?

- Como transformar a linguagem técnica dos resultados obtidos em um programa de MCC em uma linguagem objetiva e simples para avaliação dos níveis gerenciais da companhia?
- Como demonstrar que o investimento em software, pessoas nos dá retorno?

### 1.3 OBJETIVOS

Neste ponto serão descritos os objetivos deste trabalho.

#### 1.3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar se um programa de MCC implantado esta sendo efetivo na redução de falhas.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

Os planos de manutenção das linhas de envase da indústria objeto de estudo foram revisados, gerando novas instruções de trabalho baseadas na metodologia de MCC, identificando as funções básicas dos equipamentos e conjuntos, identificando seus modos de falha, o impacto desta falha e propondo-se atividades de manutenção que possam ser capazes de prever ou prevenir uma possível falha.

Após o início da utilização dos planos revisados através da MCC, identificou-se a necessidade de definir uma metodologia que possibilite realizar uma avaliação da efetividade do programa de MCC.

Identificar oportunidades na implantação de programas MCC, a fim de retroalimentar as premissas do programa e propor melhorias, se identificadas.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

No universo de trabalhos e pesquisas visando MCC tem-se um número limitado de trabalhos que demonstram os resultados finais de um programa de MCC de forma quantitativa. Identifica-se muitos trabalhos com foco em uma avaliação qualitativa e principalmente no processo de implementação. Mas as companhias definem seus investimentos (Capex e Opex) baseados em resultados e em taxas de retornos de investimentos. Desta forma para que um programa de MCC perdure nas companhias, tem-se que estabelecer e definir claramente como medir e demonstrar sua eficácia na redução de paradas e custos de manutenção.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 nos trará uma introdução do tema que será abordado, assim como uma descrição do problema a ser resolvido e a motivação para se realizar o trabalho.

No capítulo 2 será abordado a fabricação de bebidas (refrigerantes) assim como a especificação da função do equipamento selecionado para estudo.

No capítulo 3 será descrita a metodologia para analisar os dados de vida, os conceitos da confiabilidade, os conceitos de MCC e os aspectos de interação com o trabalho.

No capítulo 4 serão mostrados os resultados obtidos a partir da utilização da metodologia descrita no capítulo 3.

No capítulo 5 será descrita a conclusão do trabalho, demonstrando o desempenho do equipamento antes e após a implementação de plano de manutenção baseado na MCC, assim como a metodologia definida para realizar esta avaliação através dos dados disponíveis no sistema de coletas de dados da empresa.

## 2. INDÚSTRIA BEBIDAS - ENVASE DE CHÁ EM COPO

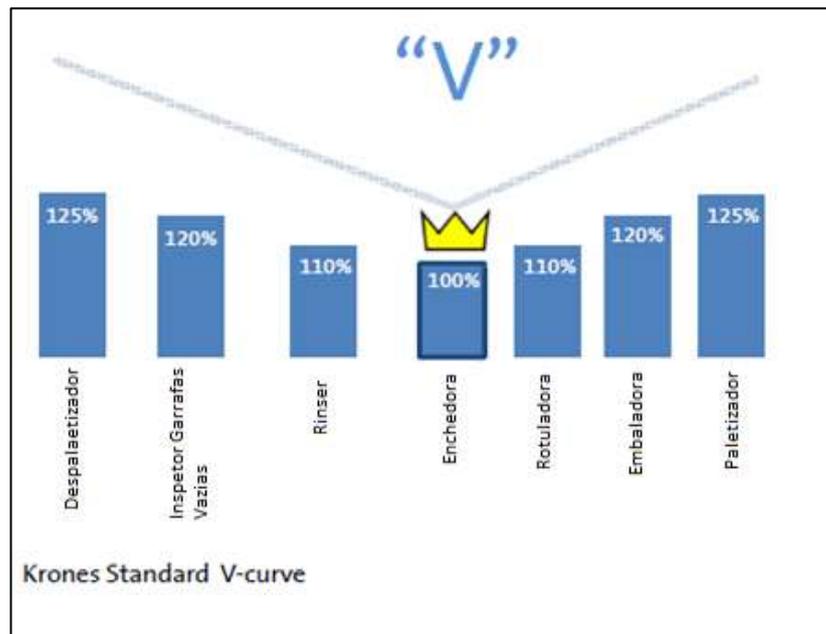
Neste capítulo será descrito a importância da indústria de alimentos no contexto econômico nacional, assim como descrição conceitual de linhas de envase de bebidas e detalhadamente uma linha de copos, descrevendo os equipamentos que constituem a linha e suas particularidades como tempos de parada de equipamentos

A indústria de alimentos representa um dos principais setores industriais brasileiros, de acordo com a ABIA (Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação) o faturamento das empresas deste setor somou R\$614,3 bilhões no ano de 2016 e responsável por aproximadamente 1,6 milhões de empregos e cerca de 10,1% do PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil.

Ao desmembrarmos apenas a indústria de bebidas que esta inserida no setor de alimentos temos uma representação de 19% do total da indústria de alimentos, desta forma a indústria de bebidas foi responsável por cerca de 1,9% do PIB do Brasil em 2016 (ABIA, 2017) com faturamento de aproximadamente R\$117 bilhões.

A indústria de bebidas distribui-se em diversos segmentos, cervejas, refrigerantes, sucos, dentre mais. No entanto todas as linhas de produção possuem características semelhantes, tendo como características básicas a preparação da embalagem para o envase, envase, embalagem e paletização. Dependendo do tipo de produto e necessidade de capacidade de produção alguns elementos podem ser feitos de forma manual, mas em geral as linhas são compostas basicamente dos mesmos equipamentos e tendo como equipamento chave a enchedora, na Figura 1, pode-se verificar um exemplo de configuração dos equipamentos de uma linha de produção, tendo como principal objetivo demonstrar a configuração de capacidades seguindo um modelo em V, ou seja, a enchedora representa a velocidade nominal da linha e os equipamentos que antecedem e que estão posteriormente devem ter sobre capacidade em relação a enchedora, isto deve-se a uma necessidade de garantir que sempre haja disponibilidade de embalagens a serem envasadas na entrada da enchedora e da mesma forma, há uma necessidade de garantir que a saída da enchedora esteja livre, portanto os equipamentos posteriores possuem capacidade acima da enchedora.

Figura 1: Gráfico V balanceamento linhas

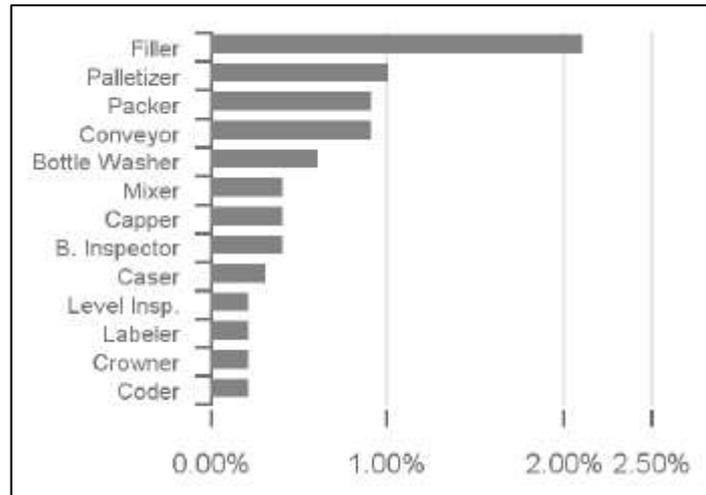


Fonte: Treinamento linhas Krones (adaptado).

Desta forma, como pode-se observar na Figura1, a enchedora é o equipamento que determina a capacidade da linha de produção. Os demais equipamentos trabalham como pulmões de capacidade, ou seja, uma parada em equipamentos que não sejam a enchedora não necessariamente ocasiona em uma parada da enchedora e por consequência uma redução de produção. Portanto a enchedora, em uma linha de produção de bebidas deve ter como objetivo a garantia de 100% de disponibilidade, a fim de utilizar ao máximo sua capacidade produtiva.

Este trabalho irá avaliar uma indústria de refrigerantes atuante em mais de 10 países, possuindo mais de 60 fabricas e cerca de 300 linhas de produção de diversas embalagens. Na Figura 2, podemos identificar o impacto de cada equipamento na disponibilidade geral das linhas de produção.

Figura 2: Distribuição de paradas de equipamentos em linhas de refrigerantes



Fonte: Pesquisa própria (2017).

Observa-se na Figura 2, que o equipamento com maior contribuição para paradas de linha é a enchedora, responsável por 2,1% das paradas das linhas de produção.

Como objeto de estudo foi selecionada uma linha de produção de uma fábrica de refrigerantes instalada na região de Curitiba que definiu como estratégia de definição de seu programa de manutenção a MCC. Em março de 2016 a linha de produção objeto deste estudo, iniciou a utilização de novos planos de manutenção baseados em MCC.

## 2.1 LINHA ENVASE DE CHÁ

A linha de produção selecionada para realização deste estudo é uma linha de envase de chá, em embalagens de copos plásticos de 300ml, com capacidade de produção de 6000 copos hora.

Esta linha de envase de copos pode ser dividida em cinco processos macro:

1. Preparação de bebida/Pasteurização
2. Envase
3. Codificação
4. Encaixotamento
5. Paletização

### 2.1.1 Preparação de bebida/Pasteurização

A pasteurização é o processo de preparação da bebida para o envase. Devido a este tipo de bebida não possuir conservantes faz-se necessário realizar um processo de esterilização da bebida a fim de garantir a qualidade do produto ao longo de toda sua vida útil. A Figura 3 demonstra um equipamento pasteurizador.

Figura 3: Pasteurizador da linha de chá



Fonte: Pesquisa própria (2017).

O pasteurizador, da Figura 3, realiza a pasteurização que consiste na elevação da temperatura da bebida a uma temperatura abaixo de seu ponto de ebulição e de forma súbita é realizado seu resfriamento, tal processo é realizado por equipamento denominado pasteurizador. O processo é realizado por dois trocadores de calor e uma bomba responsável pela circulação de bebida no interior dos trocadores. O primeiro trocador é responsável pelo aquecimento de água (sob pressão) a  $150^{\circ}\text{C}$  através de troca térmica com vapor a  $4\text{ kgf/cm}^2$ . O segundo trocador, trocador principal, é o trocador responsável pelo processo de pasteurização. Onde a água aquecida no trocador primário troca calor com a bebida.

Para o processo utilizado nesta indústria, a temperatura da bebida é elevada da temperatura ambiente para 136°C a uma pressão de 2,5 kgf/cm<sup>2</sup> durante 5 segundos, em seguida a temperatura é reduzida para 53°C e enviada para envase.

### 2.1.2 Envase

O processo de envase é o principal processo de manufatura realizado em uma indústria de bebida. É o processo responsável pelo envasamento da bebida na embalagem na qual será comercializada, garantindo que o volume definido para tal embalagem seja atendido, assim como o fechamento da embalagem seja realizado de forma adequada.

Figura 4: Enchedora de copos



Fonte: Pesquisa própria (2017).

A enchedora demonstrada na figura 4 possui capacidade para envase de até 6.000 copos hora, realizando o envase de chá a quente, 53°C.

### 2.1.3. Codificação

A codificação é um processo para atendimento a exigências legais, tais como validade do produto, identificação de lote, linha de produção. Possibilitando a rastreabilidade do produto e também informações vitais ao consumidor.

Figura 5: Codificador



Fonte: Pesquisa própria (2017)

A Figura 5 demonstra o codificador da linha responsável por marcar a data nos copos e caixas. Sendo uma obrigatoriedade em atendimento a requisitos legais, que exigem a informação de data de validade e sistema de rastreabilidade do lote de produção. Na linha de produção em avaliação, estão instalados dois equipamentos um para codificação no copo (embalagem primária) e outro na caixa (embalagem secundária).

### 2.1.4 Encaixotamento

O encaixotamento é o processo responsável pela armazenagem de diversas embalagens unitárias (copos) em uma embalagem que viabilize o transporte e

comercialização aos pontos de venda. Neste processo a embalagem secundária (caixa) contém 12 copos.

Figura 6: Encaixotadora de copos



Fonte: Pesquisa própria (2017).

A Figura 6 demonstra a encaixotadora de copos. O equipamento instalado possui capacidade de produção de até 21 caixas por minuto. Sendo responsável por realizar a dobra da caixa de papelão, posicionamento dos copos no interior da caixa e selagem da caixa através de cola.

#### 2.1.5 Paletização

O processo de paletização é um item necessário para viabilizar a estocagem do produto nos centros de distribuição e estoques, assim como facilitar a logística de transferência entre depósitos e clientes. Nesta linha de produção o processo de paletização é manual. A Figura 7 exemplifica um estoque de paletes.

Figura 7: Estocagem de paletes



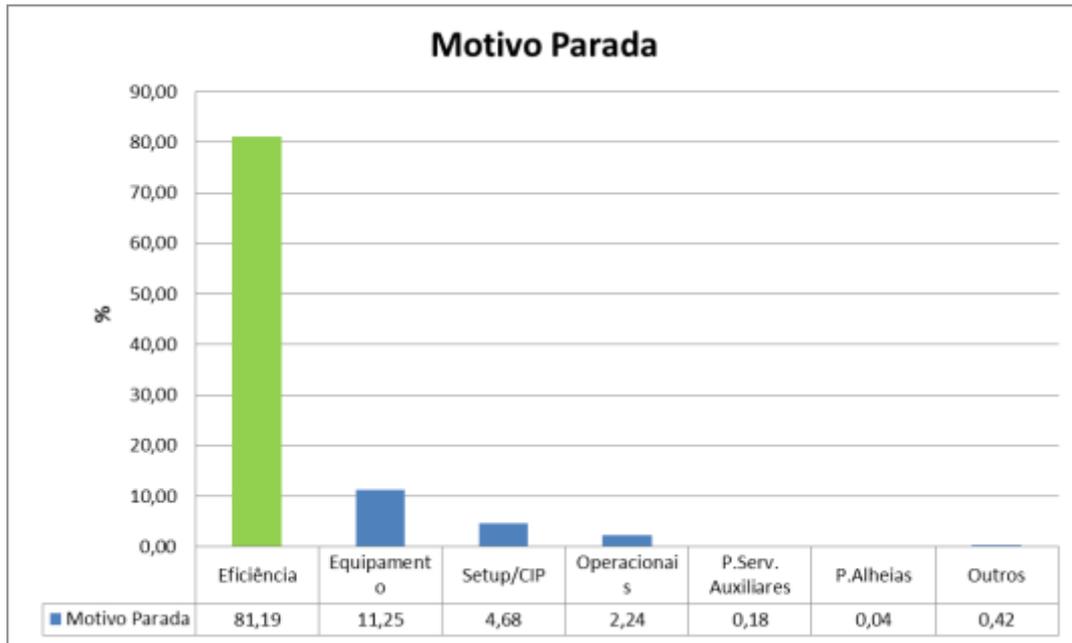
Fonte: Pesquisa própria (2017).

A Figura 7 representa o estoque de paletes oriundos da linha de produção de copos. A verticalização dos estoques é uma necessidade das indústrias afim de otimizar a área destinado a armazenagem de produtos, afim de concentrar o maior volume possível de material por m<sup>2</sup>.

## 2.2 DISTRIBUIÇÃO DAS PARADAS DE EQUIPAMENTO NA LINHA DE COPOS

Uma linha de produção de bebidas pode sofrer diversos tipos de paradas conforme a origem da causa da falha que motivou a parada. Na linha de copos pode-se identificar entre o período de março de 2015 a março de 2016 a distribuição de paradas conforme demonstrado na Figura 8.

Figura 8: Eficiência e motivos de parada.



Fonte: Pesquisa própria (2017).

A Figura 8 demonstra uma eficiência de linha (tempo em operação/tempo total disponível) de 81,2% e o principal motivo gerador de paradas e por consequência indisponibilidade foram as paradas por falhas em equipamentos, contribuindo com aproximadamente 11,25% de indisponibilidade na linha. O segundo maior gerador de indisponibilidade é o Setup/CIP (processos de troca de formato “Setup” e processo de limpezas para trocas de sabores na enchedora “Clean-In-Place”), o qual se tem poucas alternativas de redução devido a requisitos e procedimentos de limpeza e planejamento de produção para atendimento a demanda de vendas. Portanto tem-se como grande oportunidade de aumento de disponibilidade de linha a redução de paradas na linha de produção motivadas por falhas em equipamentos.

Estratificando-se as paradas de equipamento desta linha de produção para cada equipamento, obtêm-se o impacto de cada equipamento na indisponibilidade da linha em horas e percentualmente em relação a parada de equipamento total respectivamente, conforme demonstrado nas Figuras 9 e 10.

Figura 9: Tempo de parada de cada equipamento



Fonte: Pesquisa própria (2017).

A figura 9 demonstra em horas o período que cada equipamento esteve indisponível para produção devido a quebras. Observa-se que a enchedora é o equipamento com maior indisponibilidade devido a quebras.

Figura 10: Impacto de cada equipamento na quebra total de equipamentos



Fonte: Pesquisa própria (2017).

Através das Figuras 9 e 10 é possível identificar que a enchedora foi responsável por aproximadamente 46% do total de quebras de equipamentos desta linha, sendo o principal ofensor da disponibilidade da linha para produção, tendo em

um período de 12 meses em que os dados foram levantados, um total de 310 horas de máquina parada.

## 2.3 ENCHEDORA DE COPOS

O objeto de estudo deste trabalho é uma enchedora de copos modelo BRASKOP 7501/1 do fabricante Huhtamaki, fabricada no ano de 2006. Este equipamento tem capacidade de produção de 6000 copos por hora com volume de 300 ml cada (MANUAL EQUIPAMENTO).

Este equipamento dividido em cinco conjuntos principais para melhor entendimento do equipamento e alocação de informações de paradas no sistema de gerenciamento SAP, software utilizado pela indústria para gerenciamento dos apontamentos de produção e manutenção: sistema de transmissão, sistema elétrico, sistema de enchimento, sistema de selagem e instrumentos de medição.

### 2.3.1 Sistema de Transmissão/Estrutura

O sistema de transmissão é responsável por realizar o acionamento de todos os mecanismos do equipamento. Como característica construtiva, este equipamento possui um único motor que realiza a movimentação dos demais elementos móveis da máquina. Estes acionamentos são realizados por mecanismos conhecidos como cames. Portanto o processo de sincronização do equipamento torna-se bastante complexo.

Figura 11: Sistema de transmissão.



Fonte: Pesquisa própria (2017)

A Figura 11 demonstra o sistema de acionamento e transmissão da máquina. O motor transmite o movimento através de uma caixa redutora e um eixo central. Nets eixo central estão interligados outros três conjuntos de engrenagens que fazem o acionamento de três outros conjuntos (conjunto de enchimento, conjunto de selagem e conjunto de extração de copos). O acionamentos da máquina que não são transmitidos mecanicamente através do eixo central, são acionados através de válvulas eletropneumáticas.

### 2.3.2 Sistema Elétrico

O sistema elétrico é composto pelos componentes elétricos, solenoides de acionamento dos pistões pneumáticos, alimentação de resistências responsáveis pela selagem dos copos, alimentação do motor.

### 2.3.3 Sistema de Enchimento de Copos

O sistema de enchimento é composto por três válvulas de enchimento que trabalham paralelamente, enchendo simultaneamente três copos em cada ciclo.

A válvula é acionada por pistão pneumático que possui tempo pré-definido de abertura o qual resulta na abertura da válvula e permissão do fluxo de bebida demonstrada na Figura 12.

Figura 12: Válvulas de enchimento



Fonte: Pesquisa própria (2017).

A Figura 12 mostra o sistema de enchimento composto por três válvulas e pistões pneumáticos de acionamento das mesmas, assim como a mesa de copos. A mesa de copos em formato circular, com capacidade de 36 copos ao mesmo tempo. Esta mesa rotacional e ao longo dos 360° estão distribuídos os diversos conjuntos (depósito de copos, enchimento, selagem e extração de copos), o sistema gira de forma sequencial em intervalos de 30°, realizando as operações conforme a linha de a mesa rotacional avança para próximo conjunto.

#### 2.3.4 Sistema de Selagem

O sistema de selagem é responsável pelo posicionamento do selo na boca dos copos e ainda pela soldagem da tampa no copo. O correto posicionamento do selo garante que a superfície da boca do copo será completamente vedada. O selo é depositado através de uma ventosa que através de vácuo separa a tampa e posiciona sobre o copo. Da mesma forma que o conjunto de enchimento, é composto de três ventosas e três placas de soldagem.

A soldagem do selo é realizada por três resistências que aquecem três placas de soldagem que entram em contato com o selo e copo, realizando a fusão da cola do selo com a superfície plástica do copo. A temperatura deve ser mantida

controlada na faixa de 300°C, temperatura suficiente para realizar a correta fusão, mas sem deformar a superfície do copo.

Figura 13: Sistema de selagem



Fonte: Pesquisa própria (2017)

A Figura 13 demonstra o mecanismo de deposição dos selos nos copos e na sequência o conjunto de resistências responsáveis pela soldagem do selo no copo.

### 2.3.5 Instrumentos de Medição

O conjunto de instrumentos de medição é composto pelos sensores de posicionamento (*encoder*) da máquina, termopares responsáveis pelo controle de temperatura das placas, sensor de nível de monitoramento do tanque de acúmulo de bebida que abastece as válvulas de enchimento.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Neste capítulo será descrito o referencial teórico que irá embasar as análises a serem realizadas no capítulo 4 e conclusões do capítulo 5.

#### 3.1 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) pode ser definida como um processo utilizado para determinar o que deve ser realizado para que um ativo continue a realizar o que o usuário deseja que ele realize na condição atual de operação (MOUBRAY, 2001). Desta forma a MCC tem como fundamento determinar ações de manutenção que possibilitem que o ativo irá permanecer disponível para utilização conforme a necessidade do usuário sempre que desejado na condição do momento em que é realizado o estudo.

O programa de MCC baseia-se em sete perguntas que são realizadas para o ativo ou sistema que está sendo analisado.

1. Quais são as funções e desempenho básicos do ativo na condição atual de operação?
2. Em quais condições o ativo falha até que perca sua função?
3. O que causa cada falha funcional?
4. O que acontece quando cada falha ocorre?
5. Qual é o impacto de cada falha?
6. O que pode ser realizado para prever ou prevenir cada falha?
7. O que pode ser realizado se não for identificado uma intervenção proativa?

Portanto a implementação da MCC tem como objetivo final um aumento da disponibilidade do ativo em decorrência do aumento da confiabilidade, ou seja, o aumento da probabilidade do equipamento operar isento de falha até um tempo determinado e ainda aumentar a manutenibilidade, ou seja, a probabilidade do equipamento ser reparado em um determinado tempo (SELLITO, 2005).

#### 3.2 CONFIABILIDADE

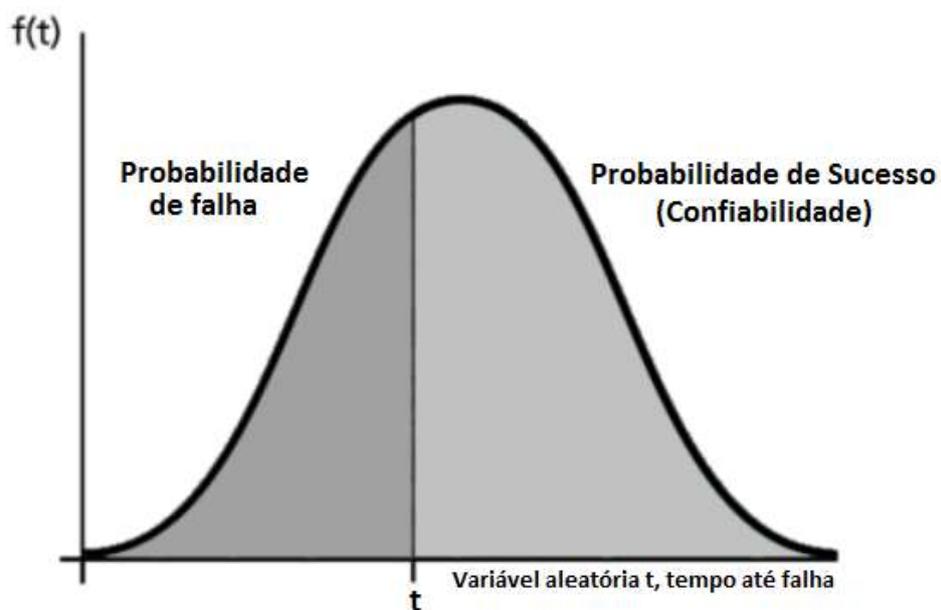
Confiabilidade é a probabilidade de que um componente, equipamento ou sistema exercerá sua função sem falhas, por um período de tempo previsto, sob condições de operação especificadas (LAFRAIA, 2001).

Para analisar-se confiabilidade usualmente utilizam-se as funções: função densidade de probabilidade de falha  $f(t)$ , função probabilidade de falhas  $F(t)$ , função confiabilidade  $R(t)$ , e a função taxa de falha  $h(t)$ .

A função densidade de probabilidade de falha  $f(t)$ , também conhecida como fdp ou pdf (probability density function) representa a variação da probabilidade de falhas por unidade de tempo. Pode-se representar de forma gráfica, conforme Figura 14, ou matematicamente pela equação (1).

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

Figura 14: Curva PDF



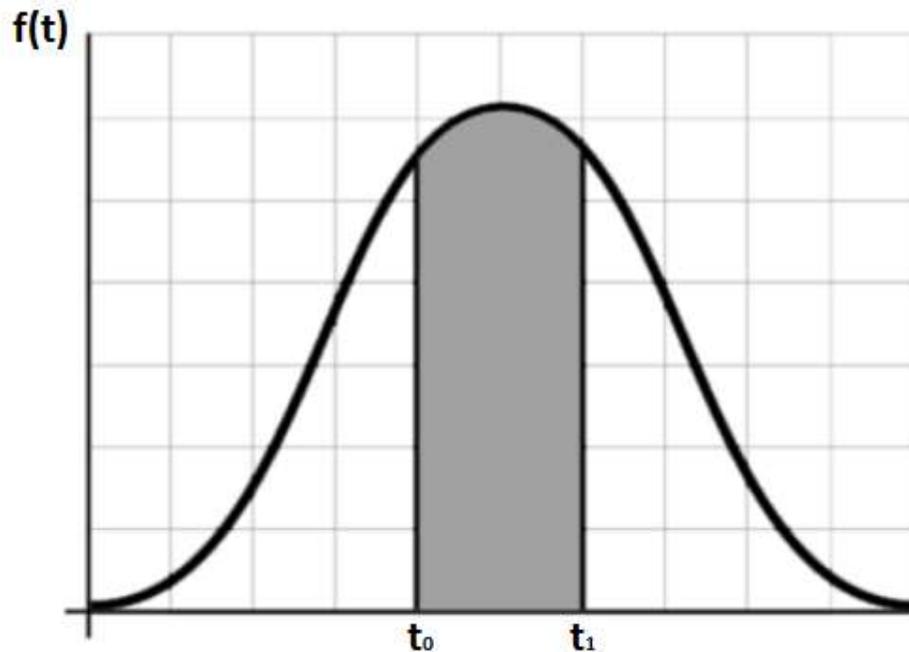
Fonte: Site Reliawiki (adaptado)

Na Figura 14 observa-se graficamente o resultado da equação (1) para tempos variando de  $t = -\infty$  até  $t = +\infty$ . A área compreendida abaixo da curva é igual a 1, ou seja, tem-se 100% de probabilidade de falha.

A função probabilidade de falha  $F(t)$  calcula a probabilidade de falha entre um período  $t_0$  e  $t_1$  conforme Figura 15. A equação (2) demonstra o cálculo da probabilidade de falha acumulada. Quando  $t_0 = -\infty$  tem-se a probabilidade de falha

acumulada até  $t_1$ , também conhecida como cdf (cumulative distribution function), demonstrada na Figura 16.

Figura 15: Probabilidade de falha em um intervalo de tempo

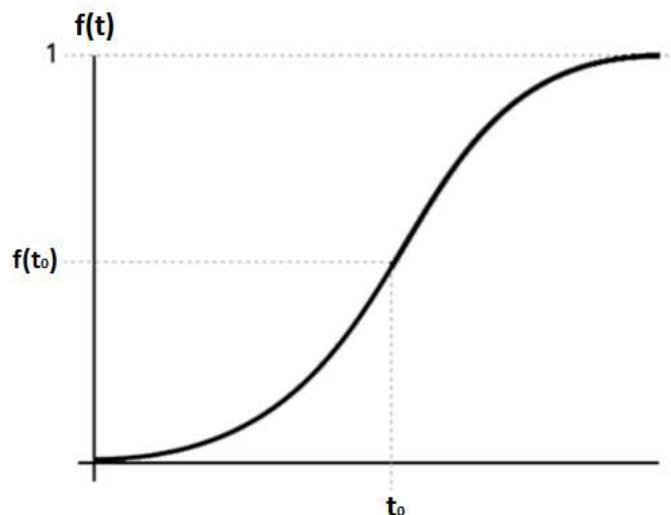


Fonte: Reliawiki adaptado)

$$F(t) = F(t_1) - F(t_0) = \int_{t_0}^{t_1} f(t) dt \quad (2)$$

A Figura 15 representa a probabilidade de falha ocorrer em intervalo de tempo determinado, que pode ser obtida através da equação (2) e é igual à área contida entre  $t_0$  e  $t_1$ .

Figura 16: Probabilidade de falha acumulada ou curva CDF



Fonte: Site Reliawiki (adaptada)

Ao utilizar-se a equação (2) entre um intervalo de tempo iniciando-se em  $t = -\infty$  até tempo pré-determinado  $t = t_0$  obtém-se a probabilidade de falha acumulada, representada graficamente pela Figura 16.

A função confiabilidade  $R(t)$  pode ser obtida através da equação (3) e determina a probabilidade de um item não falhar durante um determinado período. Graficamente pode ser representada pela Figura 17.

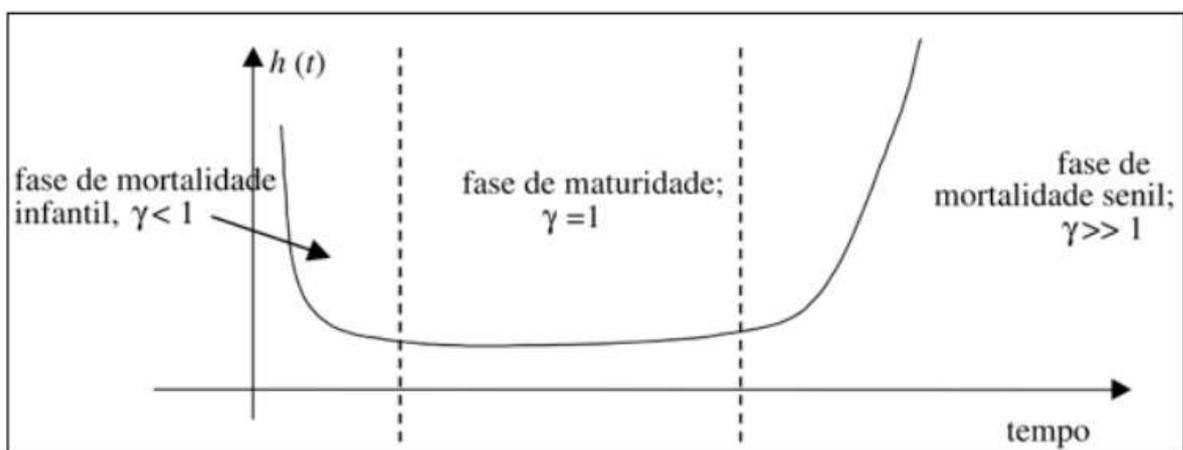
$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = 1 - \int_{-\infty}^t f(t)dt = 1 - F(t) \quad (3)$$

A função taxa de falha ou função de risco  $h(t)$  pode ser calculada através da equação (4). A função taxa de falha é a probabilidade condicional de que, dado que o item não falhou até  $t$ , falhará em  $[t+\Delta t]$  (LAFRAIA, 2001).

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

A taxa de falha é uma das principais características estudadas em confiabilidade de sistemas, o comportamento da taxa de falha de um sistema ao longo ciclo de vida do equipamento, pode ser representado graficamente pela curva da banheira, que demonstra de forma genérica a função de risco ao longo do ciclo de vida deste sistema. Distribuída em três fases características: mortalidade infantil, maturidade e mortalidade senil. (LAFRAIA, 2001). Na Figura 17 pode-se ver a curva da banheira.

Figura 17: Curva da banheira e ciclo de vida



Fonte: Selitto (2005)

Outro importante indicador na avaliação da confiabilidade é o *Tempo médio entre falhas (TMEF)* ou *Mean Time Between Failures (MTBF)*, que representa o tempo médio em que se espera que o equipamento ou sistema em questão falhe.

### 3.2.1 Distribuições de probabilidade

No estudo de confiabilidade de sistemas, tendo como enfoque a manutenção, deve-se determinar a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta aos dados de tempo de vida. As distribuições com maior aplicação na manutenção são: lognormal, Weibull, exponencial e Gamma (FOGLIATTO e RIBEIRO,2009).

As distribuições de dados de vida utilizados para avaliação da confiabilidade normalmente possuem até três parâmetros: parâmetro de escala, parâmetro de forma e parâmetro de localização.

O parâmetro de escala é o que este mais presente nas diversas distribuições. Ele é responsável por definir onde esta a maior concentração de dados.

O parâmetro de forma não esta presente em todas as distribuições. Ele define o formato das curvas *PDF* e *CDF* e também a taxa de falha.

O parâmetro de localização é utilizado para definir o início da distribuição, podendo ser negativo ou positivo. Sua unidade é tempo, portanto representa o tempo em que a distribuição inicia a representar probabilidade de falha.

#### 3.2.2.1 Distribuição Lognormal

A distribuição lognormal tem por característica um melhor ajuste em avaliações de componentes que sofrem desgaste, como componentes metálicos expostos a falha por fadiga, corrosão ou trincas. As funções de avaliação da confiabilidade para esta distribuição são calculadas através das equações de (5) a (7). A Figura 17 demonstra a curva PDF de uma distribuição lognormal com diferentes valores de  $\sigma$ .

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot t \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right]}, \quad t > 0 \quad (5)$$

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\sigma \cdot t \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)^2\right]} \quad (6)$$

$$MTBF = e^{(\mu + \sigma^2)/2} \quad (7)$$

### 3.2.2.2 Distribuição Exponencial

A distribuição exponencial apresenta um comportamento da taxa de falha constante ao longo do tempo. Sendo utilizada na descrição de sistemas complexos não redundantes, sistemas complexos com componentes com taxas de falhas independentes, componentes eletrônicos (LAFRAIA, 2001). As funções de confiabilidade para estas distribuição podem ser vistas nas equações (8) a (11) para  $t \geq 0$ .

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (8)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (9)$$

$$h(t) = \lambda \quad (10)$$

$$MTBF = 1/\lambda \quad (11)$$

Em que:

$\lambda = Taxa de Falha$

$t = Tempo até Falha$

### 3.2.2.3 Distribuição Weibull

O modelo de distribuição de Weibull tem por característica grande adaptabilidade a diferentes dados de falha, permitindo identificar na mesma função, três diferentes fases de falhas: falhas prematuras (mortalidade infantil), falhas aleatórias (taxa de falha constante) e fase de maturidade (falhas por desgaste). A distribuição de Weibull possui 3 parâmetros, descrita através das equações (12) a (15).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (12)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (13)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (14)$$

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (15)$$

Onde:

$\eta$  = *Parâmetro de escala;*

$\beta$  = *Parâmetro de forma;*

$\gamma$  = *Parâmetro de localização;*

$t$  = *Tempo até Falha*

#### 3.2.1.4 Distribuição Gamma

A distribuição Gamma é considerada uma generalização da distribuição exponencial. É utilizada em sistemas que trabalham com componentes em paralelo, cuja falha ocorre no momento que todos os componentes falharem. As equações (16) a (19) expressam as funções de confiabilidade.

$$f(t) = \frac{\eta}{\Gamma(\beta)} (\eta t)^{\beta-1} e^{-\eta t} \quad (16)$$

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\Gamma(\beta)} \int_0^{\eta t} x^{\beta-1} e^{-x} dx \quad (17)$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (18)$$

$$MTBF = \frac{\beta}{\eta} \quad (19)$$

Em que:

$\Gamma$  = *Função Gamma;*

$\eta$  = *Parâmetro de escala;*

$\beta$  = *Parâmetro de forma;*

$\gamma$  = *Parâmetro de localização;*

$t$  = *Tempo até Falha;*

### 3.3 MANTENABILIDADE

Os sistemas e ou equipamentos formados por sistemas, em sua grande maioria são factíveis da ocorrência de operações de manutenção. Tais operações se fazem necessárias a fim de garantir que após a ocorrência de uma falha o sistema ou equipamento retorna a sua condição inicial de operação, no entanto tais operações requerem intervalos de tempo para que a operação de manutenção seja realizada, portanto a Manutenibilidade tem como objetivo reduzir o tempo utilizado para que o ativo esteja apto a realizar sua função.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 5462 (1994), pode-se definir Manutenibilidade como a facilidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos. De acordo com LAFRAIA 2001, a Manutenibilidade pode ser descrita como a probabilidade de um equipamento ser recolocado em condições plenas de operação dentro de um dado período de tempo quando a ação de manutenção é realizada conforme os procedimentos descritos.

Portanto a Manutenibilidade esta ligada diretamente ao sucesso da execução da manutenção, mas também se deve considerar o tempo despendido para realizar a manutenção, a facilidade de manutenção, os custos envolvidos na atividade.

A partir dos dados históricos dos tempos utilizados para o reparo, é possível, assim como na confiabilidade, determinar uma distribuição que melhor se adeque aos dados de reparo. A distribuições normal e lognormal são as que usualmente mais se ajustam aos dados de reparo. A distribuição Normal se ajusta a atividades de reformas e manutenções preventivas, já a distribuição Lognormal se melhor se ajusta em manutenções corretivas e atividades que envolvam componentes intelectuais e cognitivos (MENGUE e SELLITTO, 2013). As funções para avaliação da Manutenibilidade de forma quantitativa são: densidade de probabilidade de reparo  $m(t)$  que representa a probabilidade de realização do reparo entre o tempo  $t$  e  $t+\Delta t$ , a função probabilidade de reparo  $M(t)$  e o tempo médio para reparo (Mean Time To Repair – MTTR), representadas pelas equações (20) a (22) (WUTTKKE e SELLITTO, 2015).

$$m(t)\Delta t = P[t \leq T \leq t + \Delta t] \quad (20)$$

$$M(t) = \int_0^t m(t).dt \quad (21)$$

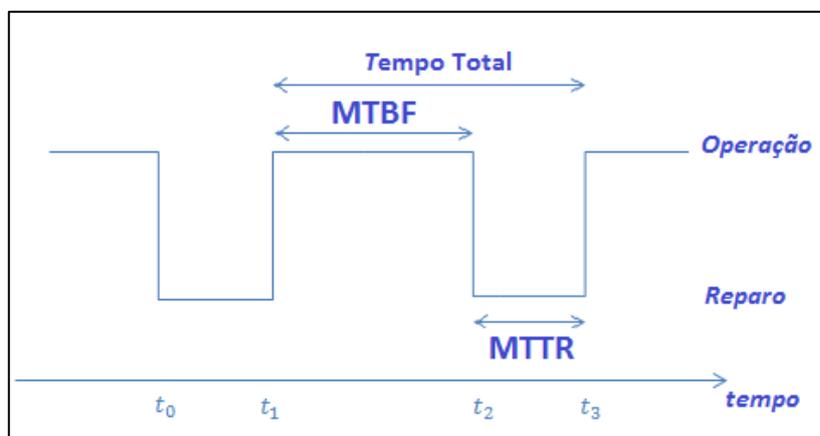
$$MTTR = \int_0^{\infty} t.m(t).dt \quad (22)$$

### 3.4 DISPONIBILIDADE

A disponibilidade é um fator fundamental na análise de sistemas reparáveis (LAFRAIA, 2001).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a disponibilidade pode ser definida como a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados. Para Lafraia (2001), disponibilidade é a probabilidade de que um sistema esteja operacional no instante  $t$ . A disponibilidade é uma relação entre o tempo disponível de um equipamento e o tempo total previsto de sua operação. O tempo disponível é o tempo entre duas falhas sucessivas ou também pode ser considerado como o MTBF. O tempo total é considerado a soma entre o tempo disponível e o tempo para o reparo (TTR), conforme pode ser visto na Figura 18. A equação (23) expressa o cálculo da disponibilidade  $Av(t)$ .

Figura 18: Disponibilidade



Fonte: Autoria própria (2017)

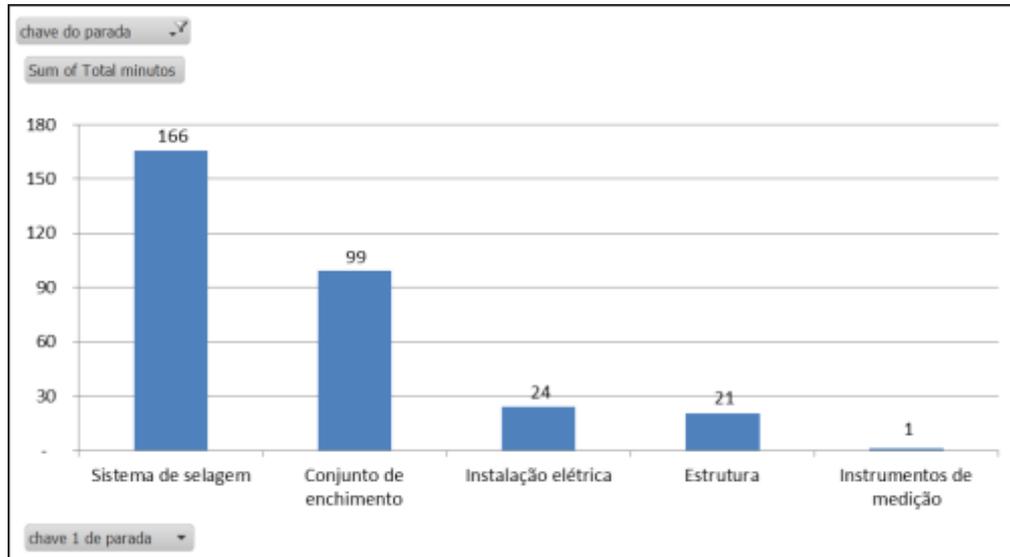
$$Av(t) = \frac{\text{Tempo disponível}}{\text{Tempo Total}} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (23)$$

#### 4. RESULTADOS DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida avaliando dados de falha e de reparo de uma enchedora de copos, descrita no capítulo 2. Os dados de vida foram extraídos do software de gerenciamento de produção e manutenção SAP R3 utilizando pela indústria. Os dados coletados referem-se ao período compreendido entre março de 2015 e agosto de 2017, sendo que período compreendido entre março de 2015 a fevereiro de 2016 refere-se ao período onde as estratégias de manutenção preventivas eram executadas conforme planos de manutenção já existentes para o equipamento. Já o período de março de 2016 a agosto de 2017 compreende dados devido após a implementação de planos de manutenção preventiva baseados na metodologia de MCC.

Como o objetivo de identificar metodologia de análise e priorização da pesquisa em um único elemento de um sistema complexo que é o equipamento como um todo, foram estratificadas as paradas na enchedora no período de março de 2015 a fevereiro de 2016 conforme os conjuntos descritos no capítulo 2 e identificado através de gráfico de Pareto, que o sistema de selagem é o principal motivador de falhas do equipamento, sendo o conjunto com maior tempo de indisponibilidade, responsável por 53% das paradas originadas por falhas em equipamentos na enchedora, como pode ser visto nas Figuras 19 que indica da distribuição dos tempos de parada de cada conjunto e 20 que representa a participação de cada conjunto no tempo total de parada da enchedora.

Figura 19: Tempo de parada por conjunto da enchedora



Fonte: Pesquisa própria (2017)

A figura 19 demonstra que o sistema de selagem foi responsável por 166 minutos de parada, sendo o conjunto com maior impacto nas paradas por quebra, durante o período anterior a implementação do MCC.

Figura 20: Distribuição de paradas na Enchedora



Fonte: Pesquisa própria (2017).

Devido à representatividade do conjunto de Selagem nas paradas da enchedora como um todo, definiu-se que o conjunto de Selagem seria o foco de

estudo deste trabalho. Para tal os dados de vida e de tempo de reparo foram extraídos exclusivamente para o conjunto de selagem para os períodos compreendidos antes e após a alteração nas estratégias de manutenção.

As Tabelas de 1 a 4 demonstram os dados utilizados para análise de caonfiabilidade e manutenibilidade, onde Tabela 1 mostra os dados de tempo entre falhas (*time between fail – TBF*) no período anterior a MCC, o Tabela 2 mostra os dados de tempo para reparo (Time To Repair – TTR) no período anterior a MCC, o Tabela 3 mostra o TBF posterior a MCC e a Tabela 4 mostra o TTR no período posterior a MCC.

Tabela 1 - Tempo entre falha (Minutos) - Antes aplicação MCC

123,67	3,67	49,67	2,67	62,67	48,00	1,00	1,33	41,67
1,00	32,00	49,00	0,67	2,67	16,67	14,00	1,00	2,67
1,00	1,33	1,00	1,33	4,33	10,00	8,00	0,67	2,33
184,67	2,67	3,83	1,00	8,00	1,00	55,00	1,00	98,33
23,67	13,00	6,17	0,67	18,00	2,33	10,67	1,00	2,00
51,67	3,67	16,88	1,00	19,20	0,67	6,33	1,00	1,00
1,67	3,00	166,12	2,00	144,80	24,00	5,67	1,00	33,67
1,00	2,33	326,00	3,00	1,00	55,00	7,75	1,00	43,00
1,00	12,33	94,83	1,00	1,00	2,33	4,58	1,00	17,00
1,33	1,67	212,17	1,00	3,00	7,00	21,33	1,00	4,81
2,00	13,00	2,33	1,00	4,00	1,67	49,67	1,00	97,19
1,00	3,00	163,33	1,00	3,00	3,33	3,00	1,00	3,67
1,00	225,00	60,33	1,00	2,00	10,83	2,00	135,00	326,33
4,00	6,00	4,33	1,00	17,00	1,83	2,00	1,00	54,00
3,33	266,00	12,33	1,00	36,00	5,00	1,67	140,00	164,00
22,33	84,00	3,67	1,00	9,00	1,33	144,33	6,00	1,00
13,17	87,00	1,67	1,00	112,00	1,00	17,00	20,00	22,00
17,83	3,00	1,00	1,00	3,17	1,00	1,00	81,33	672,33
44,33	2,33	1,67	36,33	0,83	95,33	2,00	8,67	51,67
0,67	2,00	5,33	1,67	2,00	1,67	6,00	7,00	95,00
12,33	3,00	392,33	96,17	1,00	2,67	138,33	2,00	30,33
1,67	1,00	13,00	0,83	1,00	1,33	0,67	50,00	15,67
6,00	7,00	130,67	15,33	1,33	1,00	7,33	104,00	17,33
51,00	1,33	1,00	6,67	9,67	5,67	263,67	31,00	1,67
31,00	38,67	193,00	1,00	34,00	1,00	6,00	1,00	4,00
63,00	127,33	19,00	55,90	25,00	1,33	1,00	75,00	1,00
138,67	55,67	6,33	160,10	68,05	7,67	1,00	15,33	1,00
1,67	52,00	14,33	1,33	14,28	2,00	1,00	2,00	

Tabela 2 - Tempo para Reparo (Minutos) - Antes aplicação MCC

0,67	0,33	0,33	1,67	0,33	0,67	0,33	0,67	0,67
0,67	0,33	0,33	0,33	2,00	0,33	0,33	0,67	0,33
0,67	0,67	0,33	0,67	3,33	0,33	3,33	0,33	1,00
0,33	1,33	0,17	0,67	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
1,00	1,33	0,33	0,33	0,33	0,67	1,00	0,33	0,67
1,67	2,00	0,22	0,33	0,54	0,33	0,33	0,33	0,67
0,33	2,00	2,33	0,33	1,33	0,33	1,00	0,33	0,67
0,33	1,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,75	0,33	0,33
0,33	0,67	0,17	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33
0,67	0,33	0,33	0,33	2,33	0,67	1,67	0,33	0,33
0,67	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,15
0,67	0,33	2,00	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33
0,67	0,33	0,33	0,33	1,33	0,50	0,33	0,33	1,00
1,67	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
3,00	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33
0,33	0,33	0,67	0,33	1,33	0,67	1,33	0,33	0,33
0,50	0,33	0,33	0,33	1,33	0,67	0,33	0,33	0,33
0,33	2,33	0,33	0,33	0,50	0,67	0,33	0,33	0,33
0,67	0,67	1,00	0,67	0,33	2,00	0,33	0,67	0,67
0,33	0,67	0,33	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33
0,67	2,67	0,67	0,50	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33
0,33	0,67	1,67	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,67
0,33	2,67	0,33	0,67	0,67	0,67	1,67	0,33	0,33
0,33	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	1,67
0,33	1,67	0,33	0,33	1,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0,33	2,00	0,33	0,23	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33
4,00	0,67	0,67	0,33	0,38	0,33	0,33	0,33	0,33
0,67	0,67	2,00	0,67	0,67	0,33	0,33	0,67	

Tabela 3 - Tempo entre falha (Minutos) - Após aplicação MCC

414,33	43,00	3,00	19,00	18,00	184,00	22,67	24,00	22,33
264,33	146,33	106,00	1,33	81,00	120,00	19,00	1,00	1,00
39,67	83,67	267,67	2,67	3,00	291,00	309,33	4,33	3,67
1,00	2,00	23,00	1,33	220,00	74,00	24,33	529,33	74,00
3,67	1,00	26,00	12,33	276,33	8,33	70,67	1,00	1,00
2,67	1,33	14,00	0,82	1,67	1,67	388,33	1,00	13,67
12,00	1,00	2,67	4,18	23,00	1,00	0,67	1,00	0,67
105,67	0,67	2,33	211,33	1,67	1,00	43,00	168,67	1,00
10,00	1,00	161,00	1,33	341,33	1,00	1,00	154,00	7,33
1,00	3,33	6,00	12,33	4,00	24,67	142,67	369,33	996,67
4,33	25,67	10,33	2,33	8,00	452,33	56,33	81,00	355,33
5,00	1,33	65,33	1,33	24,67	136,00	41,00	160,67	629,67
69,67	59,67	4,33	1,67	242,33	75,00	133,00	339,67	72,67

36,00	2,67	13,00	247,33	422,33	238,00	102,67	36,67	1,33
1,00	1,33	13,67	18,67	0,67	5,00	3,67	126,00	1,33
45,00	72,67	15,33	218,33	123,67	26,00	19,67	194,00	1,00
5,00	1,67	14,33	28,67	26,33	1,33	3,33	18,00	
388,00	1,00	0,67	69,00	8,00	137,67	1,00	9,67	

Tabela 4 - Tempo para Reparo (Minutos) - Após aplicação MCC

0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33	1,00	0,67	0,33
0,67	0,67	0,67	0,67	0,33	0,33	1,00	0,67	0,33
0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	2,00	1,00
0,33	0,33	0,33	0,67	0,33	0,33	0,67	0,33	1,00
1,00	0,33	0,33	1,00	0,67	0,67	1,33	0,33	1,00
0,67	0,67	0,33	0,82	0,33	0,33	0,67	0,33	0,67
0,67	0,67	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0,33	0,33	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33
0,33	0,33	0,33	0,67	1,33	0,33	0,33	1,00	0,67
0,33	0,67	0,33	3,00	0,33	2,00	2,00	0,33	0,33
0,67	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33	0,33	1,33	0,67
3,67	0,67	1,00	0,67	2,00	0,33	0,33	1,00	0,33
0,33	0,33	1,33	0,33	0,33	1,33	0,33	0,67	2,00
0,33	1,00	0,33	0,67	0,67	0,33	1,00	0,33	1,33
0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33	0,67	0,33	0,67
0,33	2,00	0,33	0,67	4,00	0,33	1,33	0,33	0,67
0,33	0,67	0,67	0,33	0,33	0,66	0,67	0,33	
0,33	0,67	0,33	0,33	0,33	1,33	0,67	1,00	

Os dados de tempo entre falhas e tempos de reparo foram analisados utilizando-se o *software* Weibull ++, com intervalo de confiança de 90%. O *software* permite a realização de teste de aderência dos dados em relação a diversas distribuições, conforme Figura 21. Desta forma os dados contidos nos Tabelas 1 a 4 foram analisados no software e as distribuições que melhor se ajustaram aos dados estão dispostas na tabela 5.

Figura 21: Teste de aderência dos dados



Fonte: autor através Weibull++

Tabela 5 – Distribuições definidas para cada base de dados

Dados	Distribuição
Tempo entre Falha (TBF) - Antes MCC	Weibull 3 Parâmetros
Tempo entre Falha (TBF) - Após MCC	Weibull 3 Parâmetros
Tempo para Reparo (TTR) - Antes MCC	Lognormal
Tempo para Reparo (TTR) - Após MCC	Gama-Generalizada

Fonte: Pesquisa própria (2017)

Através da ferramenta de teste de aderência e visualização do gráfico de ajuste dos pontos a curva de probabilidade de falha definiu-se pela utilização das distribuições contidas na tabela 5.

#### 4.1 ANÁLISE DA CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE ANTES APLICAR MCC

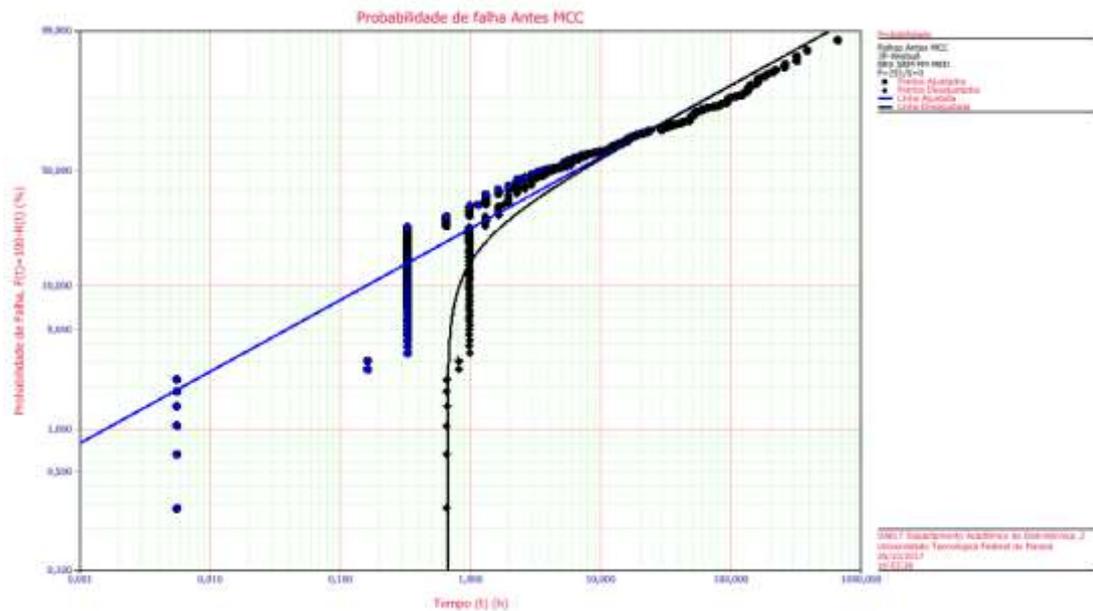
Nesta seção serão demonstrados os resultados de análise de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade do sistema antes da implantação da MCC.

##### 4.1.1 Análise de confiabilidade antes implantação MCC

A análise dos dados de tempo até falha antes da aplicação da MCC, ajustados conforme distribuição Weibull de três parâmetros forneceu como

resultado: parâmetro de forma  $\beta = 0,5096$ , o parâmetro de escala  $\eta = 12,9675$  e o parâmetro de localização  $\gamma = 0,6643$ . A Figura 22 representa o ajuste dos dados conforme a probabilidade de falhas  $F(t)$ . A função densidade acumulada de falha  $f(t)$  (*PDF*) é apresentada na Figura 23, Figura 24 representa a confiabilidade  $R(t)$  e a Figura 25 representa a taxa de falha  $h(t)$ . O tempo médio entre falhas (MTBF) calculado na Figura 26.

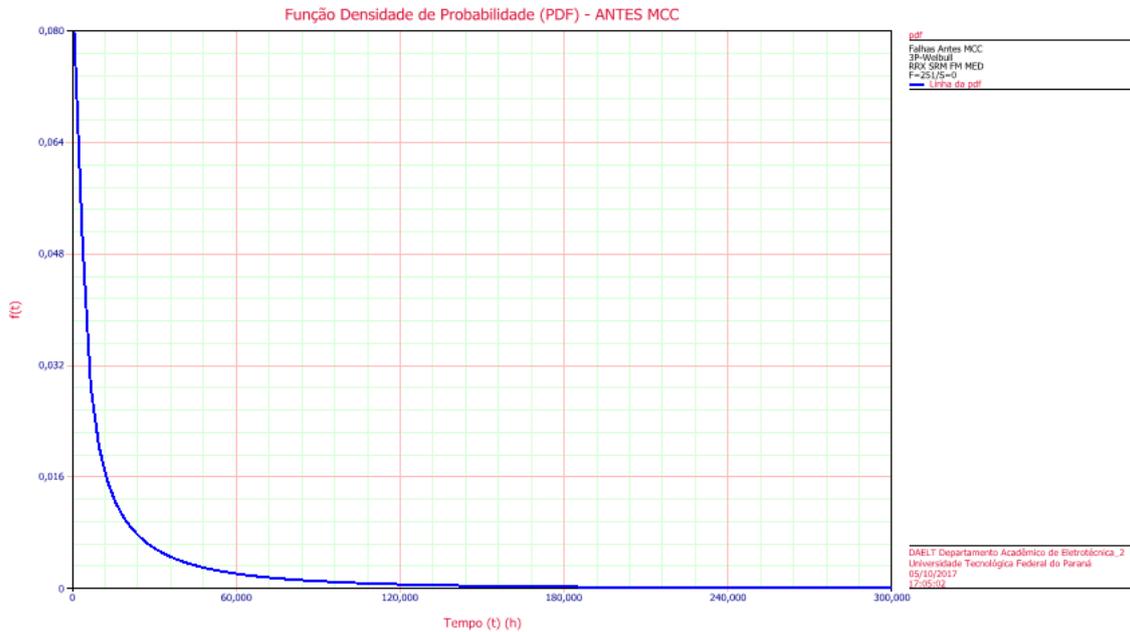
Figura 22: Probabilidade de falha  $F(t)$  - Antes MCC



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++

A distribuição Weibull 3 parâmetros obteve um bom ajuste aos dados de falha, conforme representado na Figura 22.

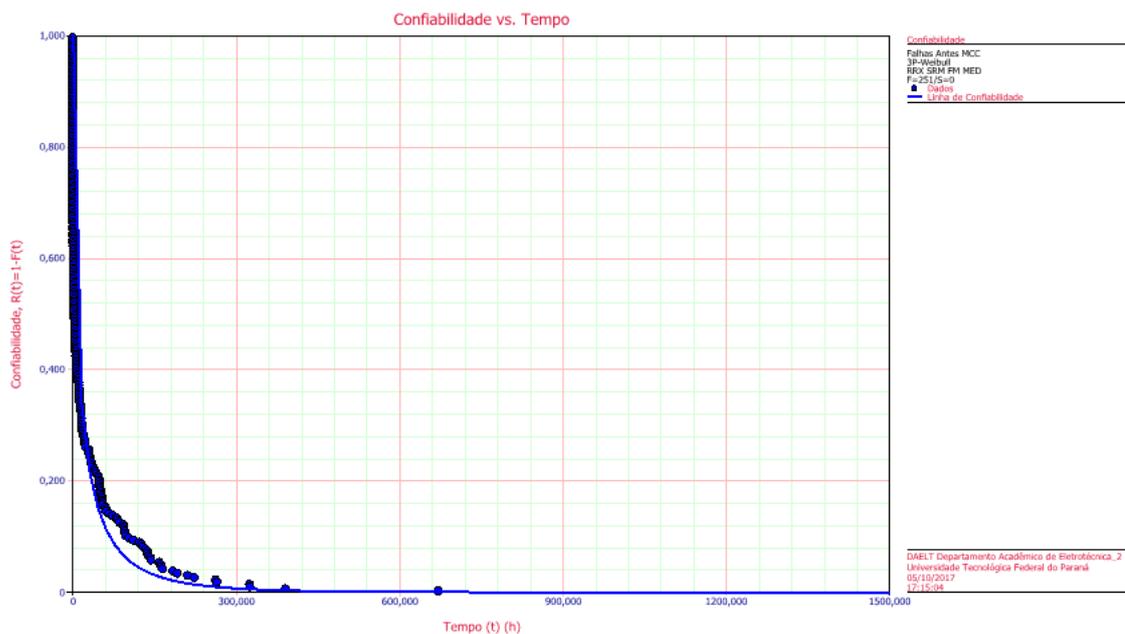
Figura 23: Função densidade probabilidade f(t) - Antes MCC



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++

O gráfico da distribuição acumulada de falhas, representado pela Figura 24 é característico de  $\beta$  próximo a 0,5. Apresentando uma probabilidade de falhas acumulada bastante acentuada no tempo inicial e suavizando a curva com o passar do tempo. Observa-se que para tempos abaixo de 10 horas a probabilidade de falha acumulada cresce rapidamente.

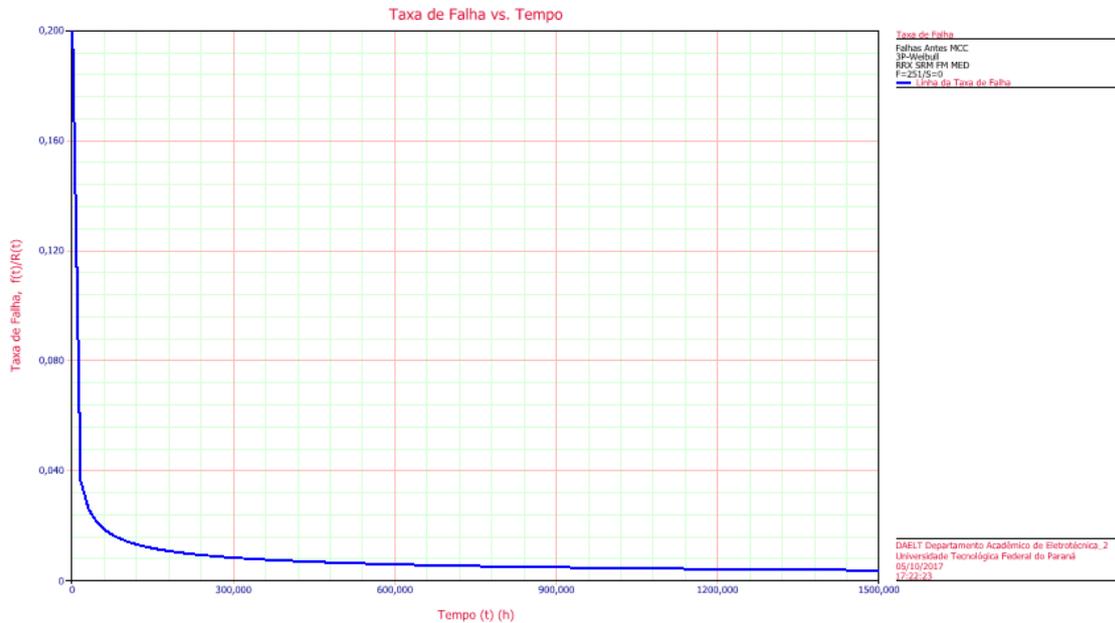
Figura 24: Função confiabilidade R(t) - Antes MCC



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++

A confiabilidade do sistema de selagem cai repentinamente desacelerando conforme o avanço do tempo.

Figura 25: Taxa de falha  $h(t)$  - Antes MCC



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++

A taxa de falha em função do tempo reduz, tendo inicialmente uma taxa de falhas alta e reduzindo com a evolução do tempo. Tendo uma característica de mortalidade infantil até 300 horas de operação e estabilizando com características de maturidade após este tempo.

Figura 26: MTBF para tempo entre falhas antes MCC



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++

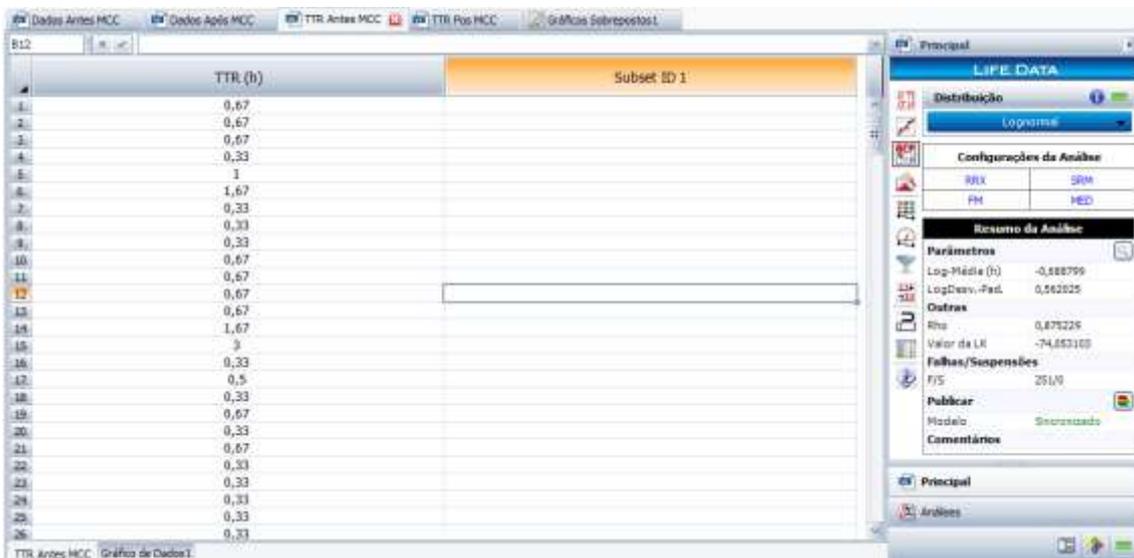
O tempo médio entre falhas (MTBF) calculado foi de 25,7 horas, conforme Figura 26.

#### 4.1.2 Análise Mantenedibilidade antes da MCC

Os dados de reparo, assim como os dados de falha foram ajustados à distribuição que melhor representou ajuste aos dados. Para avaliação dos dados de tempo de reparo no software Weibull++, é considerado a Mantenedibilidade da mesma forma que a probabilidade de falha, portanto o software ao calcular o MTBF para os dados de tempo de reparo, na verdade temos o cálculo do MTTR, a probabilidade de falha representa a probabilidade de reparo no tempo  $t$  e a taxa de falhas representa a taxa de reparos em relação ao tempo  $t$ .

Os tempos de reparo (TTR) para antes da MCC melhor se ajustaram a uma distribuição Lognormal, tendo como parâmetros a média  $\mu = -0,6888$  e desvio padrão  $\sigma = 0,5620$ .

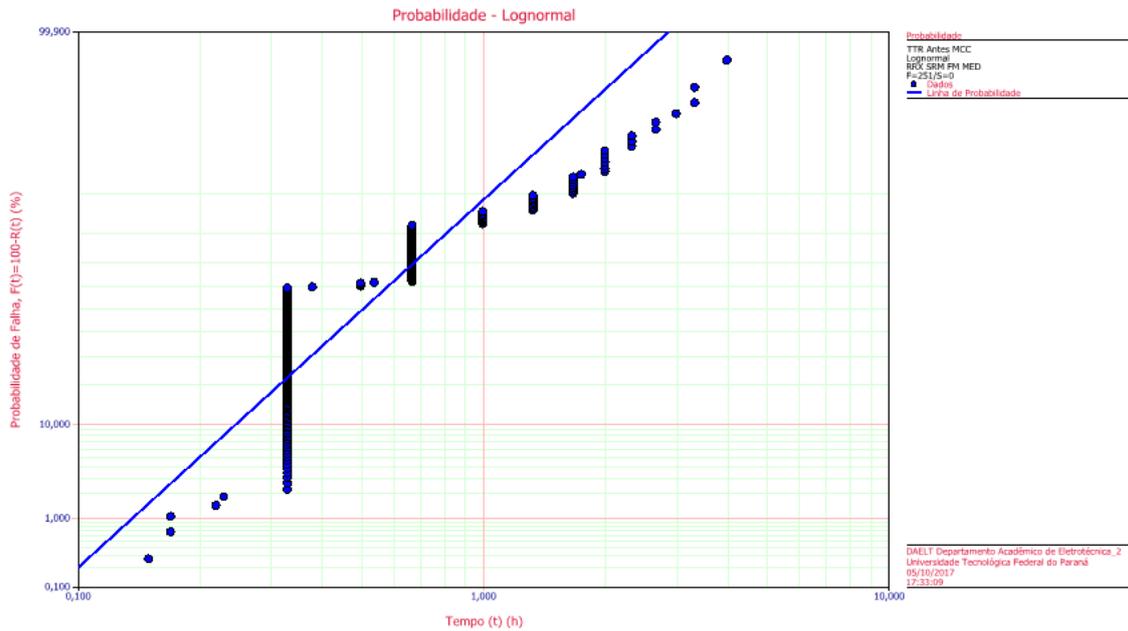
Figura 27: distribuição tempo de reparo



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

A Figura 27 demonstra os dados e resultado calculado para média e desvio padrão.

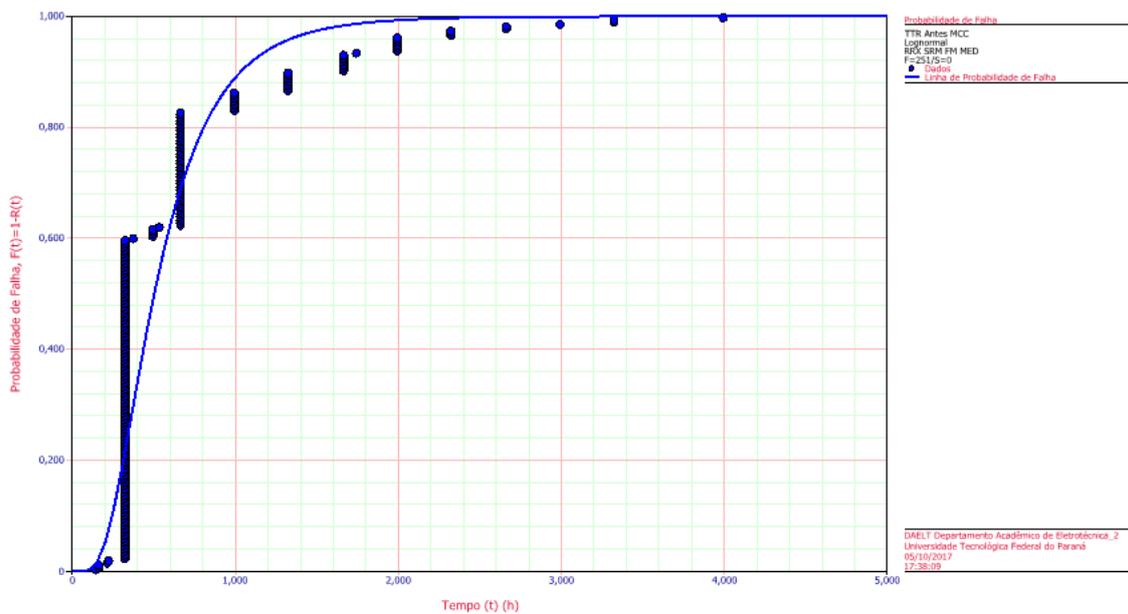
Figura 28: Probabilidade de reparo em função do tempo



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

A probabilidade de reparo em função do tempo é demonstrada na Figura 28, assim como a reta de ajuste da distribuição Lognormal, distribuição que melhor se ajustou aos dados.

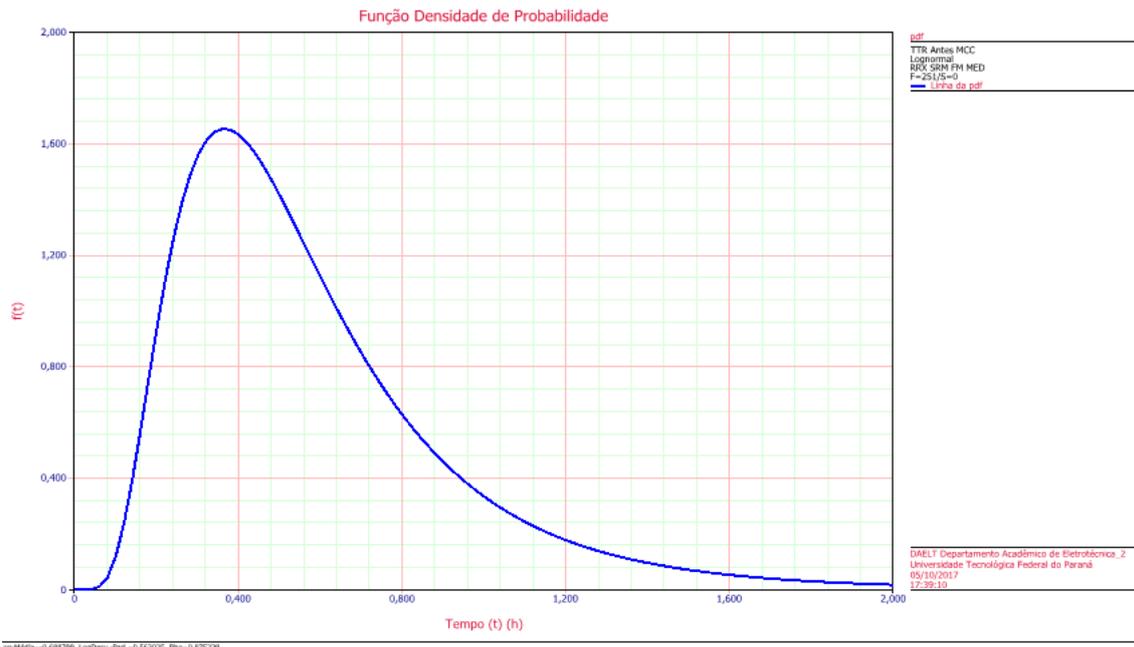
Figura 29: Manutenibilidade M(t) - Antes MCC



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

A Figura 29 representa a curva de mantabilidade, ou seja, a probabilidade acumulada de o reparo ser realizado até um tempo  $t$ . A probabilidade acumulada de se realizar o reparo em até uma hora é de 89,0%.

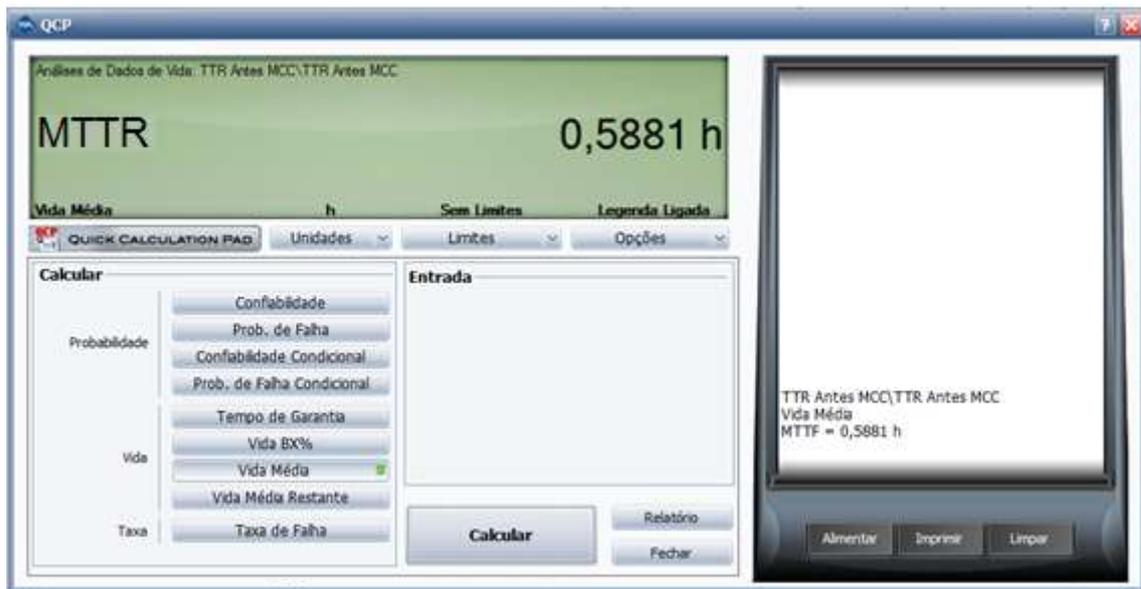
Figura 30: Taxa de reparo em função do tempo



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

A taxa de reparo, apresentada na Figura 30, demonstra um aumento da taxa de reparo para tempos próximos 0,4 horas. Após este tempo há um decréscimo na taxa de reparo em função do tempo.

Figura 31: Tempo Médio de Reparo antes MCC



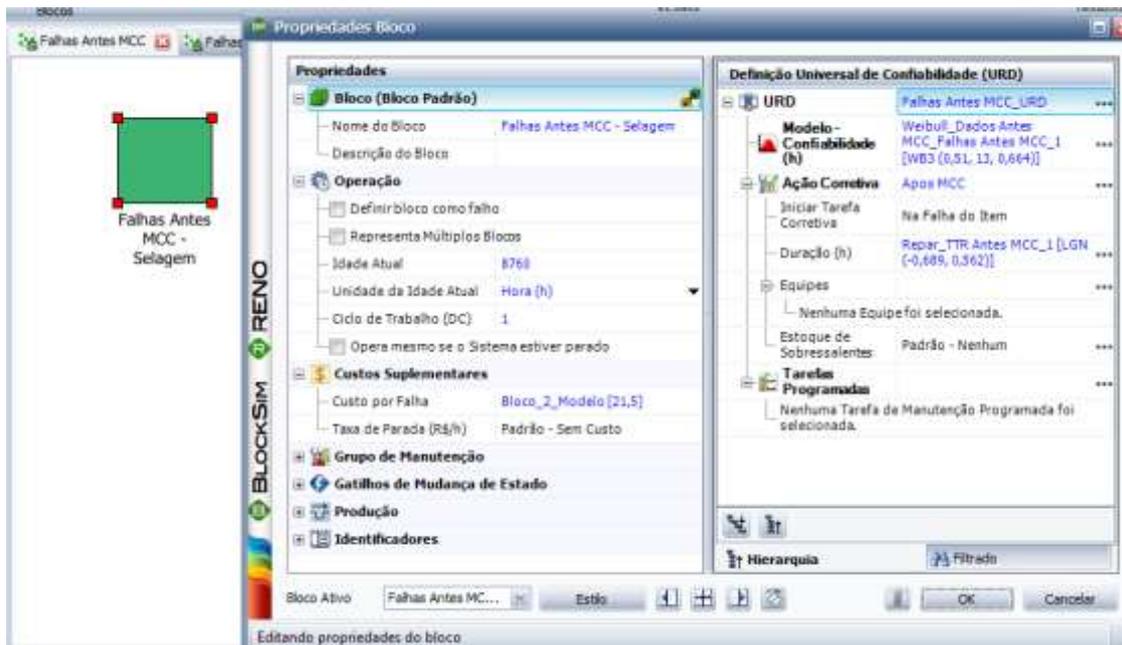
Fonte: Pesquisa própria através Weibull++ (Adaptado).

O tempo médio de reparo (MTTR) calculado para as operações de manutenção realizadas antes da MCC foi de 0,59 horas, representado na Figura 31.

#### 4.1.3 Análise da Disponibilidade antes da MCC

Após as definições das distribuições para os dados de tempo até falhas, foi utilizado o software BlockSim para realizar a simulação de disponibilidade para ambas as situações inserindo em ambas as situações os modelos de distribuições de reparo definidos, representado pela Figura 32.

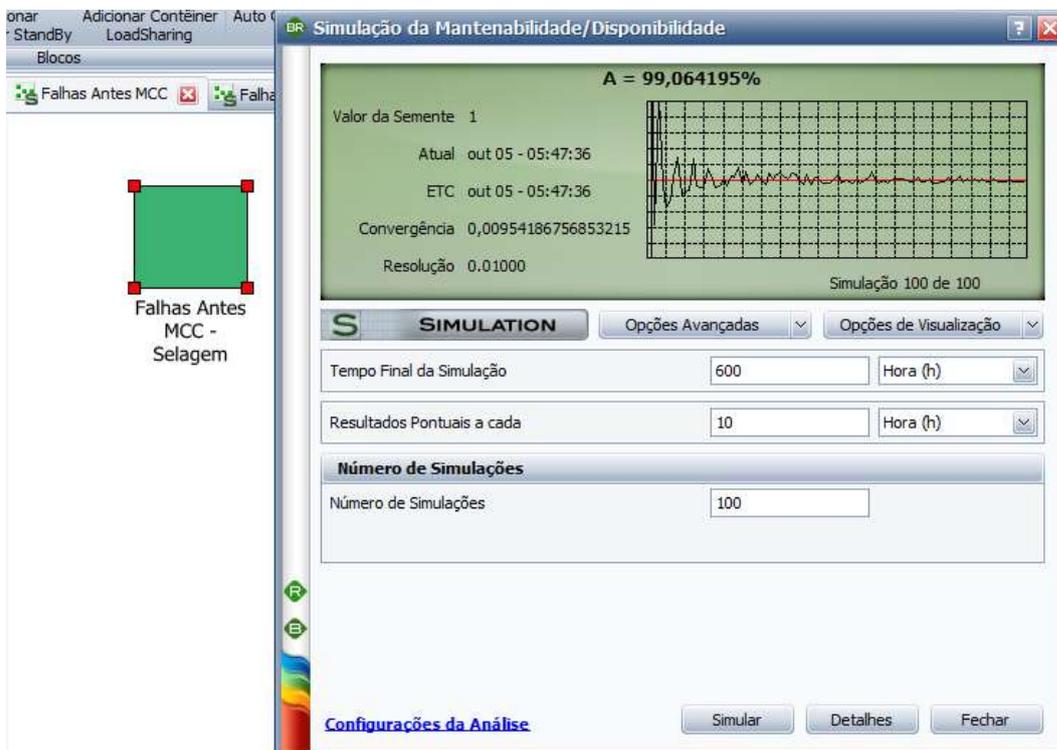
Figura 32: Definição de modelos de distribuição de falhas e reparo



Fonte: Pesquisa própria através BlockSim

Através de simulação considerando um tempo de 600 horas de operação, valor similar a um mês de produção, com medições a cada 10 horas e um numero total de repetições de 100 vezes, representado na Figura 33.

Figura 33: Simulação de disponibilidade Antes MCC



Fonte: Pesquisa própria através BlockSim

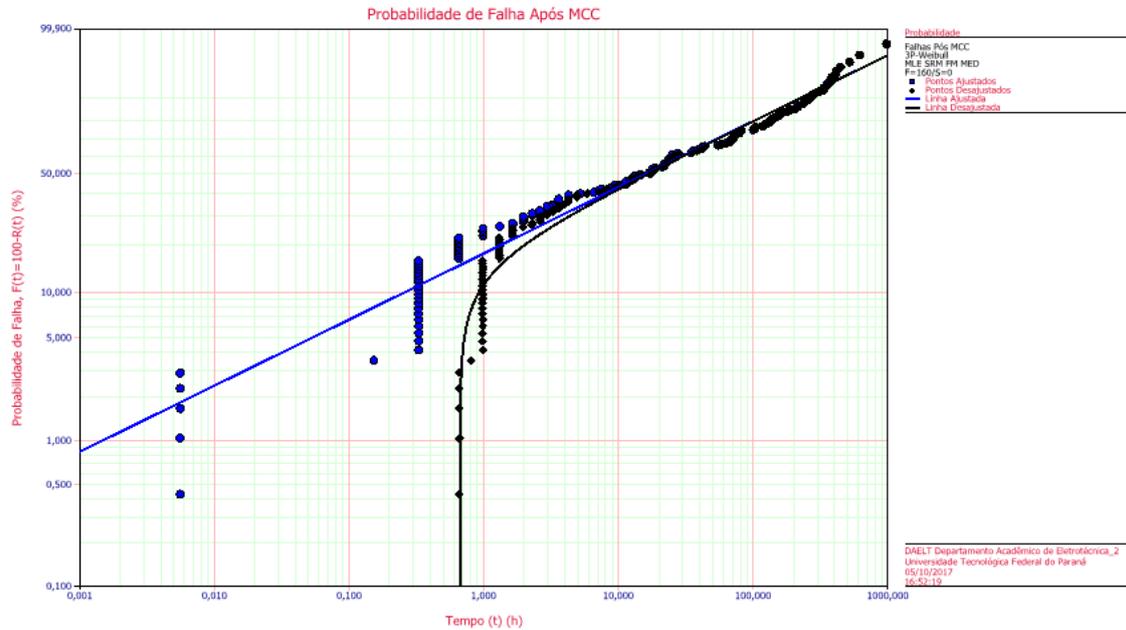
A disponibilidade identificada na simulação para o sistema de selagem antes da aplicação da MCC foi de 99,06%, conforme representado na Figura 33.

## 4.2 ANÁLISE DA CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE APÓS APLICAR MCC

Nesta seção serão demonstrados os resultados de análise de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade do sistema de selagem após da implantação da MCC.

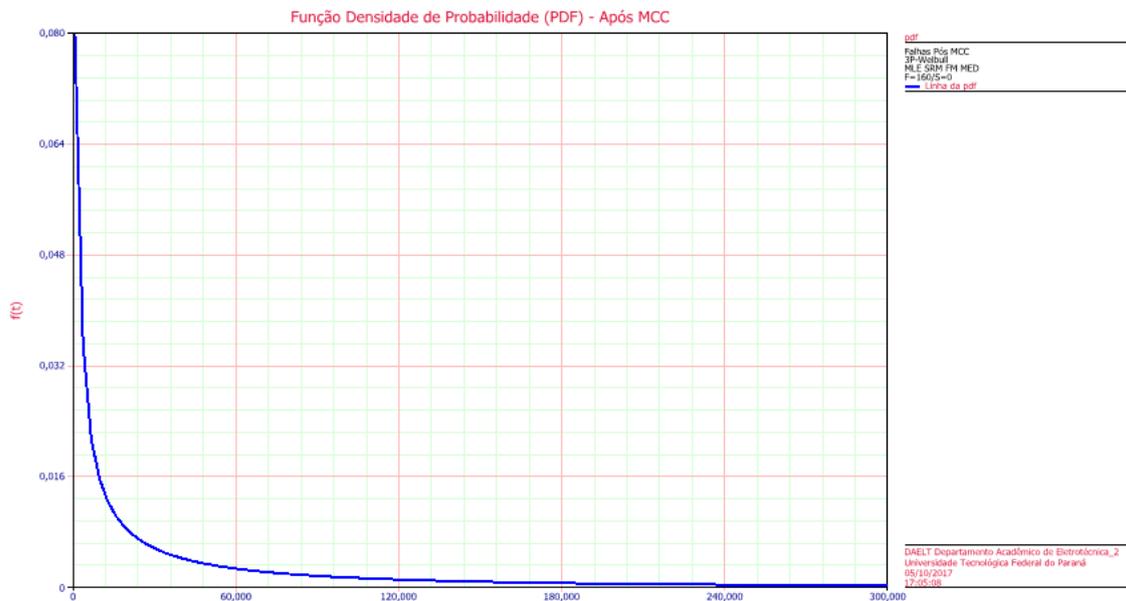
### 4.2.1 Análise de confiabilidade após a implantação da MCC

A análise dos dados de tempo até falha após a aplicação da MCC, ajustados conforme distribuição Weibull de três parâmetros forneceu como resultado: parâmetro de forma  $\beta = 0,4552$  o parâmetro de escala  $\eta = 35,6773$  e o parâmetro de localização  $\gamma = 0,6643$ . A Figura 34 representa o ajuste dos dados conforme a probabilidade de falhas  $F(t)$ . A função densidade acumulada de falha  $f(t)$  (*PDF*) é apresentada na Figura 35, a Figura 36 representa a confiabilidade  $R(t)$  e a Figura 37 representa a taxa de falha  $h(t)$ . O tempo médio entre falhas (MTBF), conforme Figura 38.

Figura 34: Probabilidade de falha  $F(t)$  - Após MCC

Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

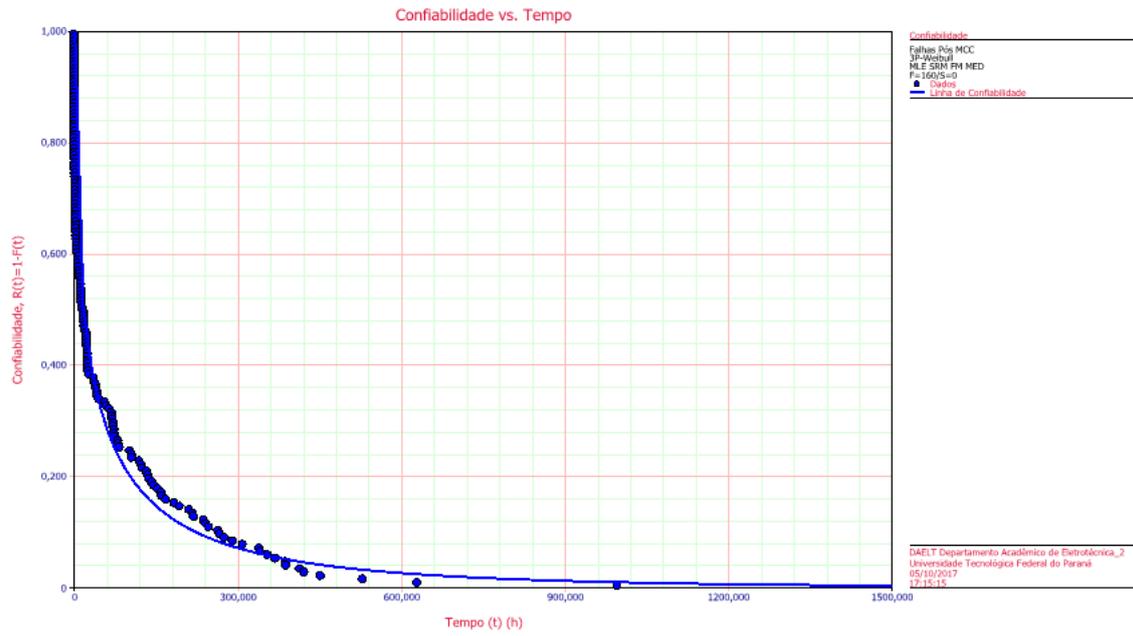
A distribuição Weibull 3 parâmetros obteve um bom ajuste aos dados de falha, conforme representado na Figura 34.

Figura 35: Função densidade probabilidade  $f(t)$  - Após MCC

Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

O gráfico da distribuição acumulada de falhas, representado pela Figura 35 é característico de  $\beta$  próximo a 0,5. Apresentando uma probabilidade de falhas acumulada bastante acentuada no tempo inicial e suavizando a curva com o passar do tempo.

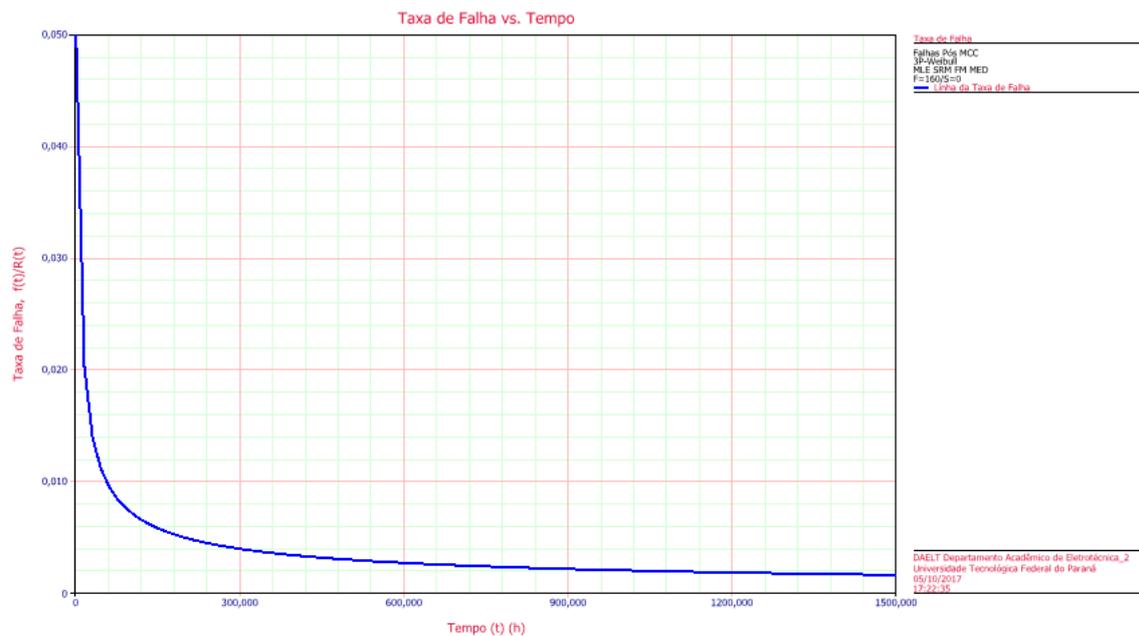
Figura 36: Função confiabilidade  $R(t)$  - Após MCC



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

A confiabilidade do sistema de selagem cai de forma acelerada em tempos de operação menores, mas há uma desaceleração desta queda conforme o tempo de operação é prolongado.

Figura 37: Taxa de falha  $h(t)$  - Após MCC



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

A taxa de falha em função do tempo reduz, tendo inicialmente uma taxa de falhas alta e reduzindo com a evolução do tempo. Tendo uma característica de mortalidade infantil até 300 horas de operação e estabilizando com características de maturidade após este tempo.

Figura 38: MTBF para tempo entre falhas - Após MCC



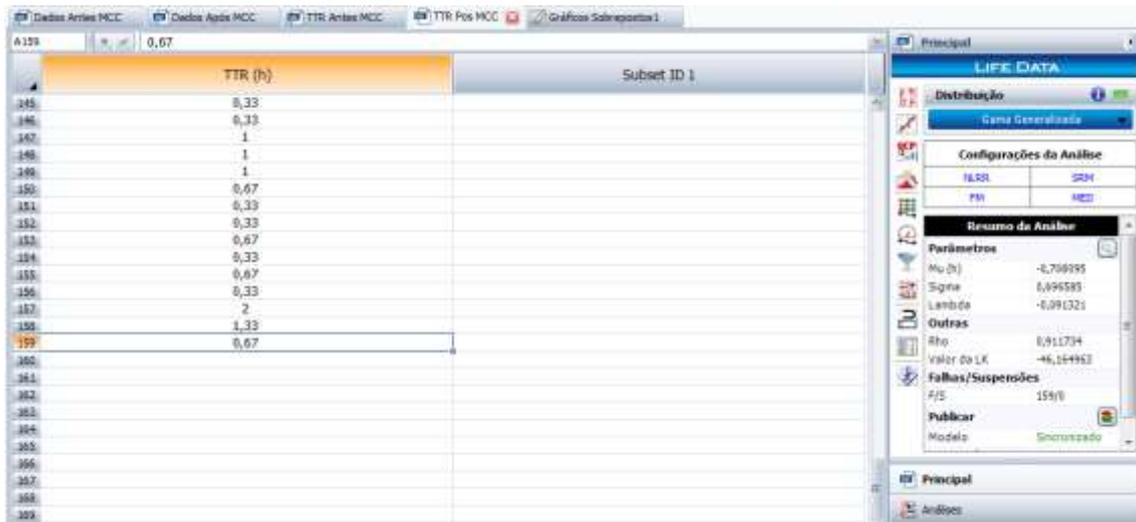
Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

O tempo médio entre falhas (MTBF) encontrado foi de 86,9 horas, conforme Figura 38.

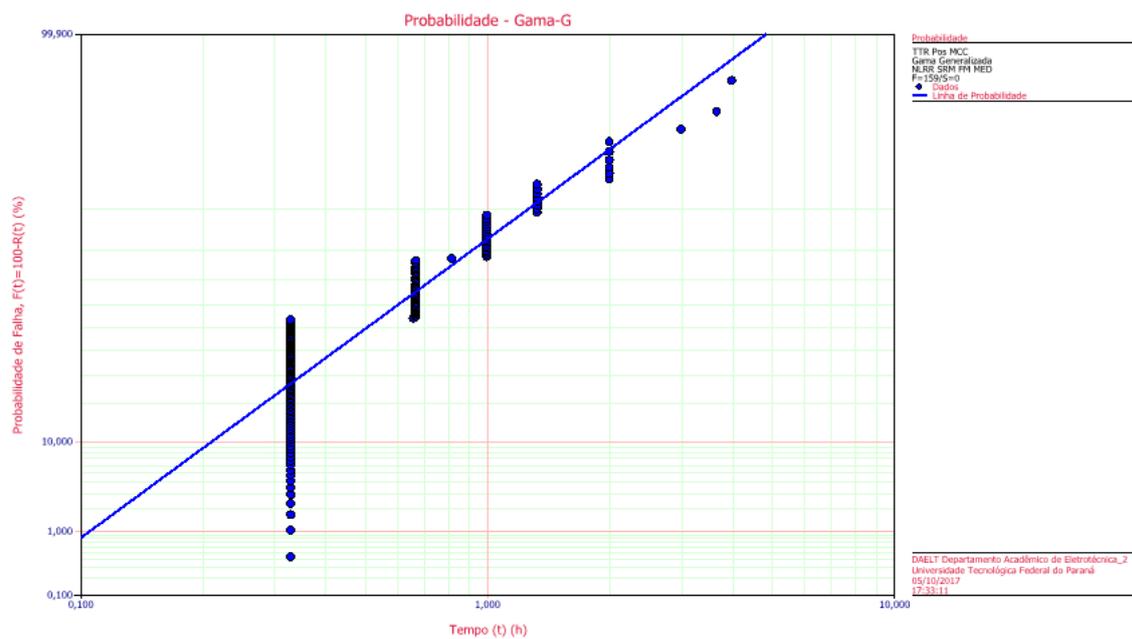
#### 4.2.2 Análise Mantenedibilidade antes da MCC

Os dados de tempo de reparo depois da implantação da MCC ajustados pelo mesmo procedimento que os dados antes ao reparo demonstram um melhor ajuste a distribuição, Gamma Generalizada, com parâmetros de  $\mu = -0,708$ ,  $\sigma = 0,6966$  e  $\lambda = -0,09$ , conforme demonstrado na Figura 39. A Figura 40 demonstra o ajuste dos dados e a probabilidade de reparo em função do tempo  $m(t)$ .

Figura 39: Cálculo de dados de confiabilidade para TTR após MCC



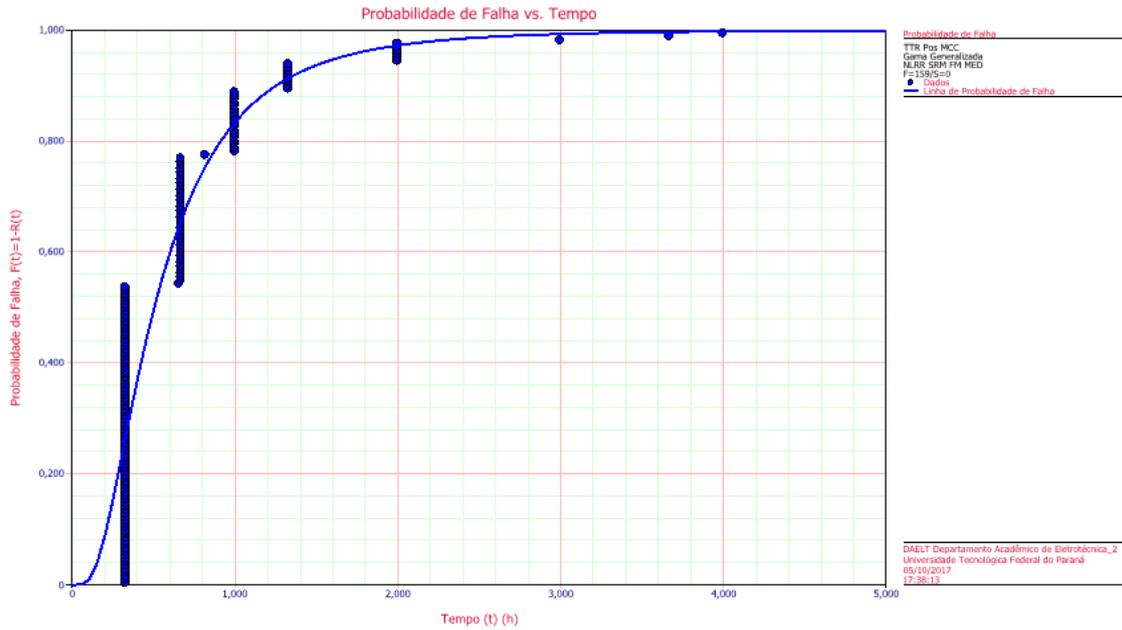
Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

Figura 40: Probabilidade de reparo  $m(t)$ 

Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

A Figura 40 mostra a probabilidade de reparo para os dados da amostra e se ajustarem razoavelmente em relação a distribuição Gamma Generalizada.

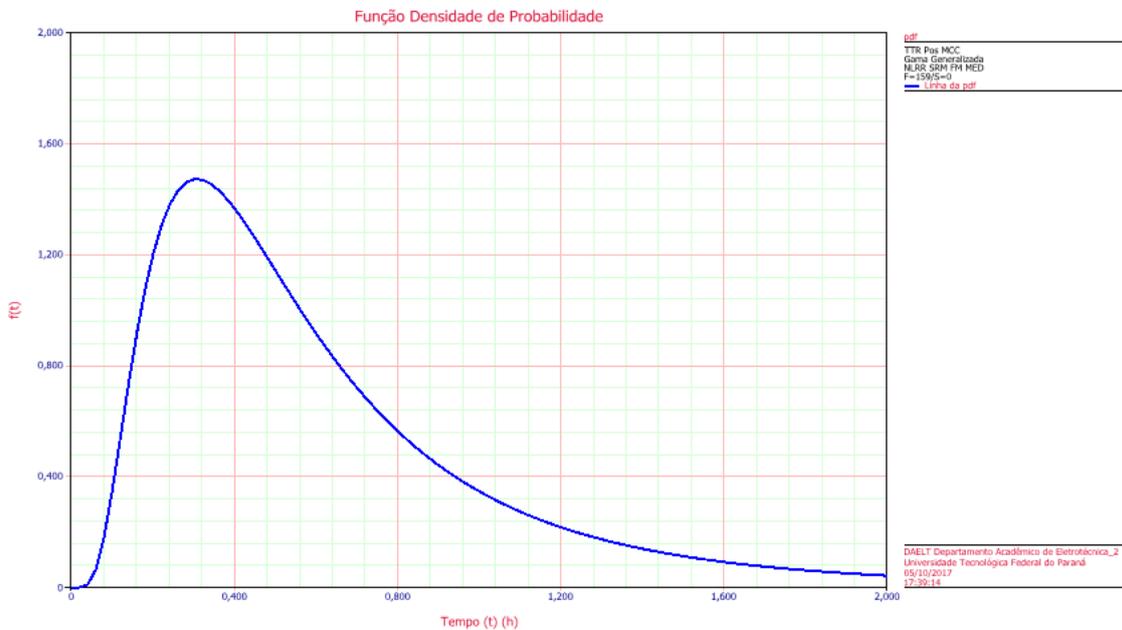
Figura 41: Manutenibilidade  $M(t)$  - Após MCC



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

A curva CDF que para este caso representa a curva de mantenedibilidade esta demonstrada na Figura 41. A probabilidade acumulada de se realizar o reparo em até uma hora é de 83,4%.

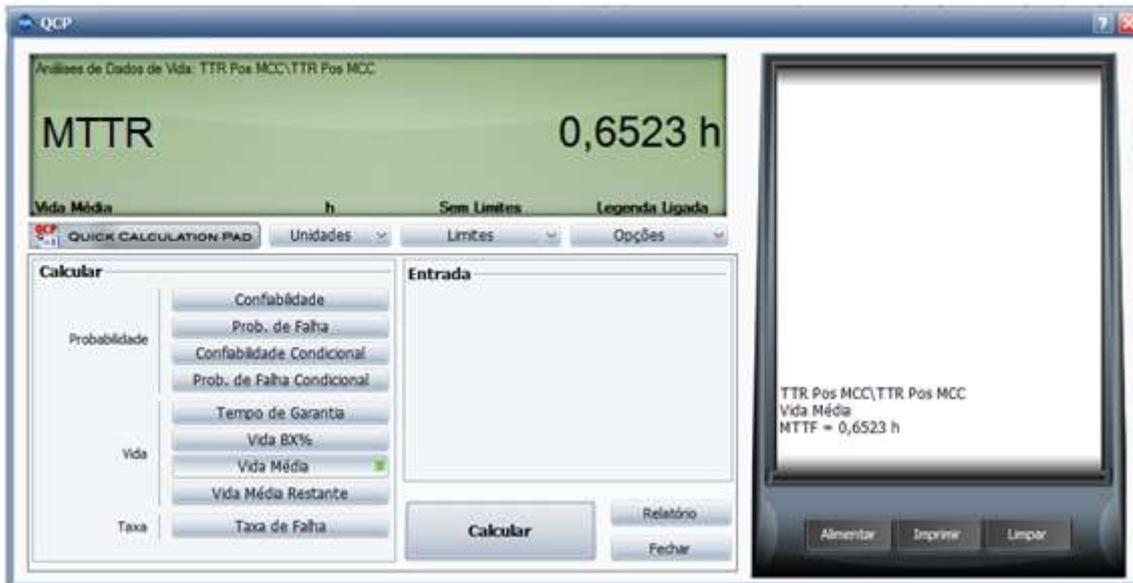
Figura 42: Taxa de reparo após MCC



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

A taxa de reparo, apresentada na Figura 42, demonstra um aumento da taxa de reparo para tempos próximos 0,4 horas. Após este tempo há um decréscimo na taxa de reparo em função do tempo.

Figura 43: Tempo médio de Reparo após MCC



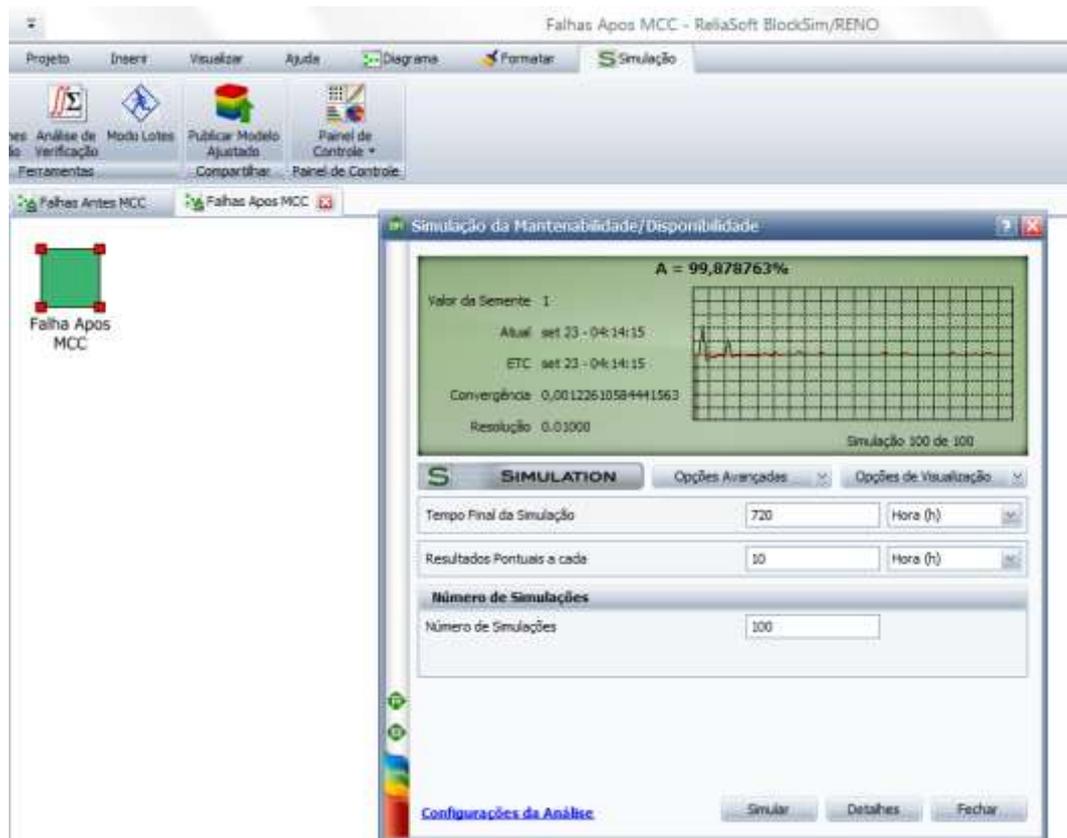
Fonte: Pesquisa própria através Weibull++ (Adaptado).

O tempo médio de reparo (MTTR) calculado para as operações de manutenção realizadas antes da MCC foi de 0,65 horas, representado na Figura 43.

#### 4.2.3 Análise da Disponibilidade antes da MCC

Através das distribuições identificadas para os dados de falha e dados de reparo sendo simulados em um bloco representando o sistema, é possível calcular a disponibilidade do sistema para tais condições, demonstrada na figura 44.

Figura 44: Simulação de disponibilidade - Após MCC



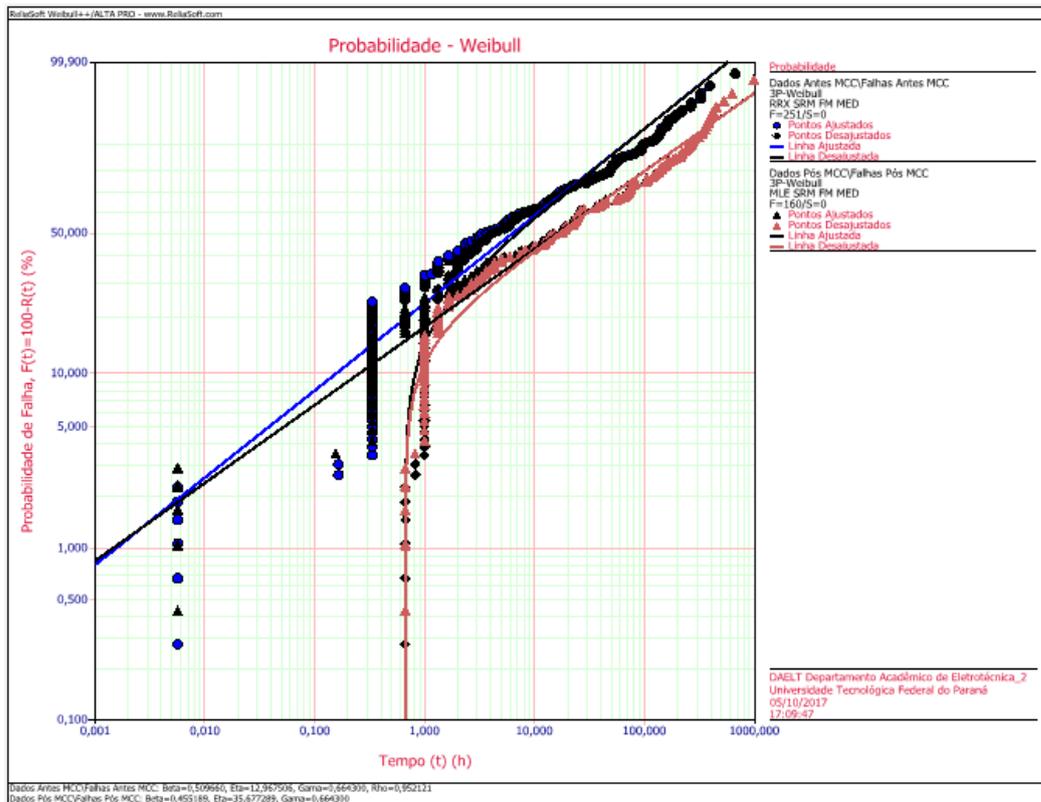
Fonte: Pesquisa própria através BlockSim

A disponibilidade identificada na simulação, conforme mostra a Figura 44, para o sistema de selagem após a aplicação da MCC foi de 99,88%.

### 4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Através da comparação entre resultados de confiabilidade e manutenibilidade antes e após a utilização de estratégias de manutenção baseadas em confiabilidade, demonstrados no capítulo 4, é possível demonstrar o impacto na disponibilidade final do sistema. A Figura 45 demonstra o comparativo da probabilidade de falha das duas situações, a Figura 46 demonstra as curvas CDF para ambas as situações.

Figura 45: Comparativo entre probabilidades de falha



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

Através da Figura 45 observa-se uma inclinação diferente entre as duas situações e um ajuste dos dados as distribuições selecionadas bastante semelhante.

A tabela 6 demonstra um comparativo entre simulações de tempos até falha para ambas as situações.

Tabela 6 – Comparativo da probabilidade de falha

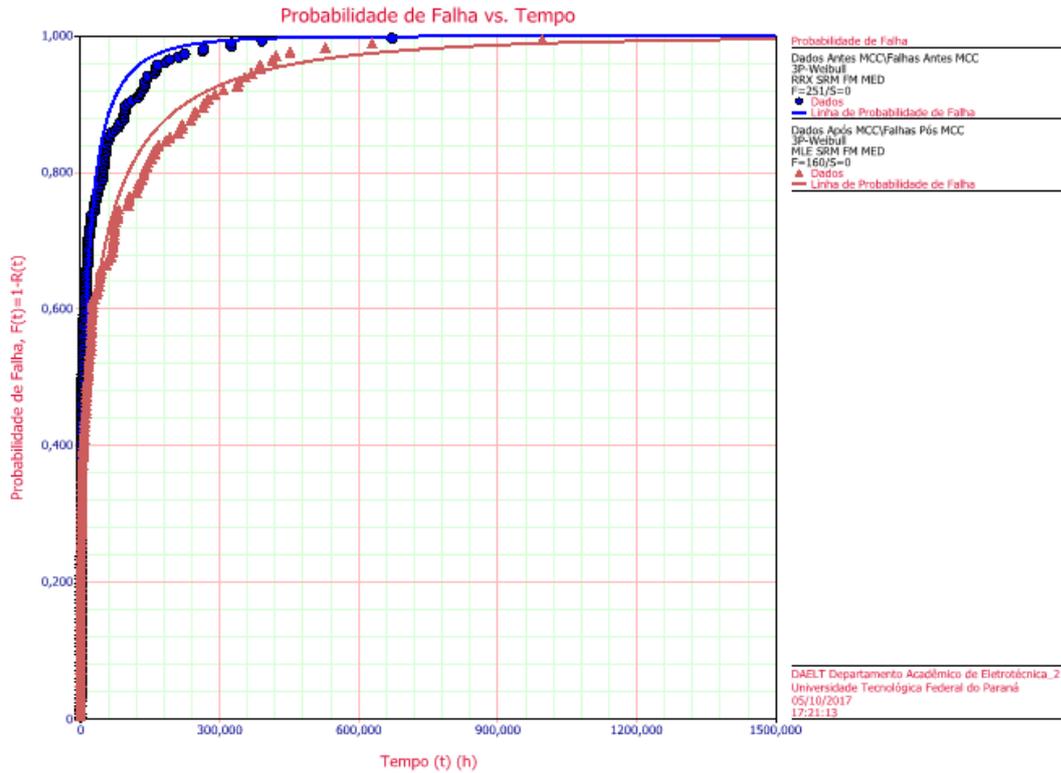
Tempo Operação (Horas)	Antes MCC - Probabilidade de falha F(t)	Após MCC - Probabilidade de falha F(t)
10	57,08%	41,91%
30	78,04%	59,94%
100	94,06%	79,68%
600	99,91%	97,30%
4000	100,00%	99,98%

Fonte: Adaptado de Weibull++

Na Tabela 6 demonstra para o mesmo tempo de operação tem-se probabilidades de falha menores para os dados de falha obtidos após a MCC. A

Figura 46 demonstra em vermelho a curva CDF representada pelos dados após a MCC e em azul os dados antes da MCC.

Figura 46: Comparativo entre curvas CDF

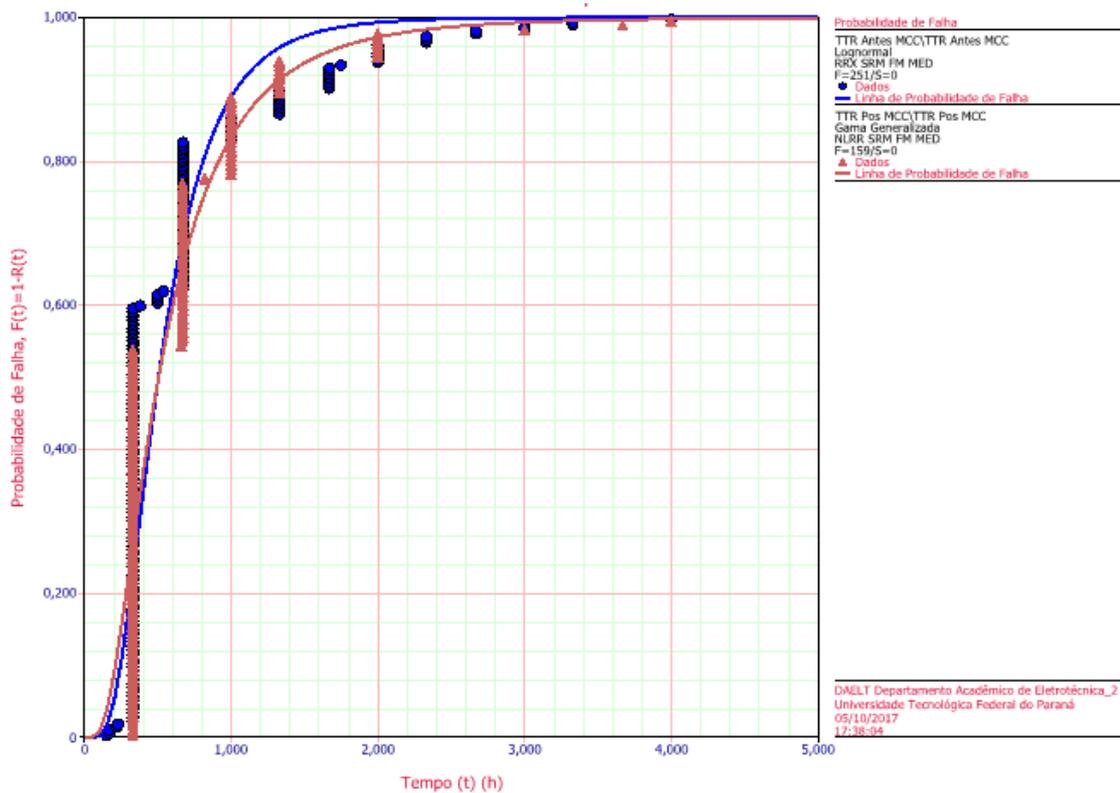


Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

A Figura 46 demonstra o comparativo da probabilidade de falha acumulada no tempo para ambas as situações. Portanto quando avaliado o aspecto confiabilidade comprova-se um melhor desempenho após a implementação do MCC. Os tempos médios entre falhas comprovam este aumento de confiabilidade já que, o MTBF antes da implementação do MCC era de 25,7 horas passando para 86,9 horas avaliando-se exclusivamente os dados até falha.

Avaliando-se de maneira semelhante os dados de tempo de reparo na busca de um comparativo entre as duas situações, como mostra a Figura 47 há para determinados tempos uma probabilidade de reparo maior antes do MCC em relação aos dados de reparo após o MCC.

Figura 47: Comparativo Mantenedibilidade M(t)



Fonte: Pesquisa própria através Weibull++.

Na figura 47 observam-se em azul os dados de tempo de reparo antes da MCC e em vermelho os dados após a MCC. Conclui-se que em intervalo de tempo menor teremos uma probabilidade de que a manutenção seja efetuada com sucesso maior. Mas esta representatividade em tempo (horas) é baixa, demonstrada através da comparação entre os tempos médios de reparo (MTTR), que para os dados antes da MCC era de 0,59 horas e após a MCC de 0,65 horas, muito menos representativa que o comparativo entre os MTBFs. Sinalizando uma necessidade de revisão de estratégias de manutenção que possam prevenir ou reduzir o tempo de reparo das intervenções de reparo após a MCC, contidas no intervalo de reparo compreendido entre 0,5 horas e 3 horas.

## 5. CONCLUSÃO

Ao simular as distribuições de tempo até falha e tempo de reparo para ambas as situações em um diagrama de bloco simples, simulando exclusivamente o sistema de selagem para ambas as situações, obteve-se um relatório detalhado, que leva em consideração o impacto dos tempos de reparo de forma conjunta aos tempos até falha. Estes dados são demonstrados na Tabela 7, que consolida os resultados da simulação de ambas as situações conforme descrito no capítulo 4.

Tabela 7 – Relatório comparativo da simulação de disponibilidade

<b>RESUMO</b>		
<b>Visão Geral do Sistema</b>		
<b>Geral</b>	<b>ANTES MCC</b>	<b>APÓS MCC</b>
Disponibilidade Média (Todos Eventos):	<b>99,06%</b>	<b>99,84%</b>
Desvio Padrão (Disponibilidade Média):	0,0097	0,0033
Disponibilidade Pontual (Todos Eventos) em 600 h:	1	1
Confiabilidade em 600 h:	<b>36,00%</b>	<b>78,00%</b>
Tempo Disponível (h):	594,39	599,06
Tempo Indisponível Total (h):	5,61	0,94
<b>Unidades</b>		
<b>Resumo das Métricas</b>		
TMAPF (h):	591,82	2377,31
MTBF (Tempo Total) (h):	<b>61,98</b>	<b>375,00</b>
MTBF (Tempo de Funcionamento) (h):	61,40	374,41
MTBE (Tempo Total) (h):	61,98	375,00
MTBE (Tempo de Funcionamento) (h):	61,40	374,41
MTTR (h):	0,58	0,59
<b>Resumo da Contagem do Evento</b>		
<b>Falhas do Sistema</b>		
Quantidade Esperada de Falhas:	<b>9,68</b>	<b>1,6</b>
Desvio Padrão (Quantidade de Falhas):	10,06	3,52
<b>Ações de MC</b>		
Quantidade de MCs:	9,68	1,6
Tempo Indisponível da MC (h):	5,61	0,94
<b>Resumo de Custo</b>		
<b>Custo Total</b>		
Custo Total do Sistema:	R\$ 208,12	R\$ 34,40

Fonte: Pesquisa própria através BlockSim (Adaptado)

A Tabela 7 demonstra um resumo com as informações necessárias para tomada de decisão com relação a efetividade da estratégia de manutenção em utilização, através das informações dos dados calculados para a disponibilidade final do sistema, a confiabilidade final do sistema após as horas de simulação, o MTBF, a quantidade de falhas esperada para intervalo de tempo de simulação e o custo de ambos os cenários.

Portanto conclui-se que o programa de MCC implementado para este sistema de selagem teve impacto positivo nos indicadores de desempenho, já que houve um aumento da disponibilidade de 99,06% para 99,84% após a MCC. Considerando-se a confiabilidade do sistema ao fim de uma operação de 600 horas (equivalente a um mês de operação) obteve-se evolução de 30,6% para 78%. Avaliando-se o MTBF houve uma evolução de 62 horas para 375 horas, representado ao fim de 600 horas de operação um redução na expectativa de ocorrência de falhas de 10 falhas para 2 falhas. Avaliando-se apenas o custo despendido com mão de obra para realização do reparo a um custo de R\$21,50 por hora, houve redução de R\$208,12 para R\$34,40 esperados ao fim de 600 horas.

Desta forma pode-se afirmar que através do cálculo da disponibilidade baseado na confiabilidade e manutenibilidade pode-se comprovar quantitativamente a efetividade de um programa de MCC.

## PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Através da estruturação de metodologia de análise da efetividade de um programa de MCC para um sistema isolado podem ser estudados sistemas mais complexos, através da ampliação dos estudos para outros sistemas que compõe o equipamento e construindo-se um diagrama de blocos de confiabilidade (*Reliability Block Diagram* – RBD) viabilizando a obtenção de dados para um equipamento como um todo. Assim como após a obtenção de dados de equipamentos é possível realizar estudo de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade da linha como um todo.

## REFERÊNCIAS

A. SPADER; J. ANDRADE, **Emprego da análise de falhas para direcionamento das atividades de manutenção em equipamentos na indústria do ramo de higiene e cuidados pessoais, 2015,**

FOGLIATTO,F.; RIBEIRO, J. **Confiabilidade e Manutenção Industrial.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2009

LAFRAIA, J. **Manual de Confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MENGUE, D; SELLITTO, M. **Estratégia de manutenção baseada em funções de confiabilidade para uma bomba centrífuga petrolífera.** Produção Online, v. 13, n.2, p-759-783, 2013. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v13i2.1341>

MOUBRAY, J., **Reliability Centered Maintenance.** New York, Editora Industrial Press, Revisão da 2ª Edição, 2001.

SELLITTO, M. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos.** Produção, v.15, n.1, p44-59, 2005.

WUTTKE, R.; SELLITTO, M. **Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de proceso petroquímico.** Produção Online, v.8, n-4, p1-23, 2008. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v8i4.134>