

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

**VINICIUS SANTA CLARA UCELLI**

**DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO UTILIZANDO  
TÉCNICAS DE CONFIABILIDADE**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2019**

**VINICIUS SANTA CLARA UCELLI**

**DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO UTILIZANDO  
TÉCNICAS DE CONFIABILIDADE**

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

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano

**CURITIBA**

**2019**



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO UTILIZANDO TÉCNICAS DE CONFIABILIDADE

por

VINICIUS SANTA CLARA UCELLI

Esta monografia foi apresentada em 31 de outubro de 2019, 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. Carlos Henrique Mariano Dr  
Professor Orientador - UTFPR

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

---

Prof. Wanderson Stael Paris, MSc.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

Dedico este trabalho à Deus e minha família,  
especialmente a minha esposa.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida, à minha esposa, meus pais e meu irmão que sempre estiveram do meu lado em todas as situações.

Agradeço aos professores que fazem um papel extremamente importante na disseminação do conhecimento, a equipe de profissionais da COMPASS e à instituição da UTFPR pela realização do curso.

Gostaria de lembrar dos colegas de turma pela excelente convivência e troca de experiências.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Se você pode medir aquilo de que está falando e expressar em números, você conhece alguma coisa sobre o assunto; mas, quando você não pode exprimir em números, seu conhecimento é pobre e insatisfatório. (Thomson, William)

## RESUMO

UCELLI, Vinicius Santa Clara. **Definição de Estratégia de Manutenção Utilizando Técnicas de Confiabilidade**. 2019. 67f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Essa monografia tem por objetivo definir qual a melhor estratégia de manutenção para o modo de falha de desgaste dos canais nos rolos guias da máquina multifio, utilizando técnicas de confiabilidade, com foco na redução de custo e no aumento da disponibilidade. A pesquisa tem uma abordagem quantitativa e as técnicas de coleta de dados foram: referência bibliográfica, pesquisa documental e de campo. Na pesquisa documental e de campo realizada na empresa foram coletados os dados de vida, tempo de duração da manutenção e custos. Com esses dados foram realizadas análise de dados de vida, manutenabilidade e intervalo de custo ótimo para manutenção preventiva utilizando o software Weibull++. Através dos resultados dessa análise realizou uma simulação utilizando diagrama de blocos de confiabilidade do software BlockSim com o intuito de comparar os tipos de manutenção e definir qual é a melhor estratégia de manutenção sempre considerando custo e disponibilidade como fatores principais para a tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Confiabilidade. Disponibilidade. Custo. Manutenção.

## **ABSTRACT**

UCELLI, Vinicius Santa Clara. **Definition of Maintenance Strategy Using Reliability Techniques**. 2019. 67p. Monograph (Specialization in Reliability Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2019.

This monograph has the objective to define the best maintenance strategy for the wear failure mode on the guide rollers channel of the multiwire machine, using reliability techniques, focusing on cost reduction and increased availability. The research has a quantitative approach and the data collection techniques were: bibliographic reference, documentary and field research. The documentary and field research carried out in the company collected the data of life, duration of maintenance and costs. With this data, carried out life data analysis, maintainability and optimal cost range for preventive maintenance were performed using Weibull ++ software. Through the results of this analysis performed a simulation using block reliability diagram of BlockSim software in order to compare the types of maintenance and define what is the best maintenance strategy always considering cost and availability as main factors for decision making.

**Keywords:** Reliability. Availability. Cost. Maintenance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Índice de rendimento operacional global (IROG) – Disponibilidade x Eficiência x Qualidade.....	15
Figura 1.2 – Gráfico de Pareto – Principais modos de falha por minutos de parada de máquina .....	16
Figura 2.1 – Exemplo de uma multifio desdobrando um bloco.....	20
Figura 2.2 – Bloco desdobrado em chapas .....	21
Figura 2.3 – Rolo guia com os canais no revestimento de poliuretano e sem cubo..	22
Figura 2.4 – Rolo guia montado na máquina .....	22
Figura 2.5 – Chapa de granito com marcas de fio funda.....	23
Figura 3.1 – Função do custo ótimo para manutenção preventiva.....	26
Figura 3.2 – Curva do tempo ótimo para manutenção preventiva.....	27
Figura 3.3 – Função densidade da probabilidade de falha.....	28
Figura 3.4 – Função densidade da probabilidade de falha.....	29
Figura 3.5 – Curva da banheira.....	30
Figura 3.6 – Dados completos.....	32
Figura 3.7 – Dados censurados a direita.....	32
Figura 3.8 – Dados censurados a esquerda .....	33
Figura 3.9 – Dados censurados em intervalo .....	33
Figura 3.10 – Distribuição de Weibull para os diversos valores de $\beta$ .....	35
Figura 3.11 – Distribuição de Weibull para os diversos valores de $\eta$ .....	36
Figura 3.12 – Efeito do parâmetro $\gamma$ na Weibull .....	37
Figura 3.13 – Função densidade da probabilidade Normal .....	38
Figura 3.14 – Função da confiabilidade para distribuição lognormal.....	39
Figura 3.15 – Rank Regressão em Y e em X.....	40
Figura 3.16 – Sistema com configuração em série .....	42
Figura 3.17 – Sistema com configuração em paralelo .....	43
Figura 3.18 – Sistema com configuração K em N .....	44
Figura 4.1 – Dados de vida dos rolos.....	48
Figura 4.2 – Curva de confiabilidade dos dados de vida .....	49
Figura 4.3 – Curva de probabilidade de falha dos dados de vida .....	49
Figura 4.4 – Dados de manutenibilidade do rolo guia .....	50
Figura 4.5 – Curva de confiabilidade de manutenibilidade da substituição de um rolo .....	51
Figura 4.6 – Curva de probabilidade de falha de manutenibilidade da substituição de um rolo .....	51
Figura 4.7 – Cálculo da probabilidade em 6,02 horas .....	52
Figura 4.8 – Dados de manutenibilidade de todos os rolos guia .....	52
Figura 4.9 – Curva de confiabilidade de manutenibilidade de substituição de todos os rolos guia .....	53

Figura 4.10 – Curva de probabilidade de falha de manutenibilidade de substituição de todos os rolos guias .....	53
Figura 4.11 – Cálculo da probabilidade em 15,61 horas .....	54
Figura 4.12 – Custo ótimo de substituição .....	54
Figura 4.13 – RBD do conjunto de rolo guia de entrada e saída, e a máquina com os dois conjuntos .....	55
Figura 4.14 – Simulação substituição de um rolo por vez (manutenção corretiva) ...	56
Figura 4.15 – Disponibilidade média manutenção corretiva .....	58
Figura 4.16 – Bloco disponível/Indisponível manutenção corretiva .....	59
Figura 4.17 – Simulação substituição de todos os rolos (manutenção preventiva) ...	60
Figura 4.18 – Disponibilidade média manutenção preventiva .....	62
Figura 4.19 – Bloco disponível/Indisponível manutenção preventiva .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Distribuições estatísticas .....	34
Tabela 4.1 – Dados de vida dos rolos .....	47
Tabela 4.2 – Tempos de substituição do rolo guia .....	47
Tabela 4.3 – Relatório da simulação manutenção corretiva .....	57
Tabela 4.4 – Relatório financeiro da simulação manutenção corretiva .....	58
Tabela 4.5 – Relatório da simulação manutenção preventiva .....	61
Tabela 4.6 – Relatório financeiro da simulação manutenção preventiva .....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

cm/h	Centímetros por hora
Dan	Decanewton
F(t)	Probabilidade de falha
HH	Homem hora
IROG	Índice de rendimento operacional global
LDA	<i>Life Data Analysis</i>
m/s	Metros por Segundo
MLE	Máxima Verossimilhança
mm	Milimetro
MTBF	<i>Medium Time Between Failure</i>
MTTR	<i>Medium Time to Repair</i>
pdf	Função densidade da probabilidade
R(t)	Confiabilidade
RAM	<i>Reability, Availability and Maintainability</i>
RBD	<i>Reliability Block Diagram</i>
RRX	<i>Rank Regression em X</i>
RRY	<i>Rank Regression em Y</i>
t	Tempo

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\beta$  – Inclinação da curva

$\eta$  – Vida característica.

$\gamma$  – Vida mínima

$\lambda$  – Taxa de falha

$\mu$  – Média

$\sigma$  – Desvio padrão

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA .....	15
1.2	OBJETIVOS .....	17
1.2.1	Objetivo Geral.....	17
1.2.2	Objetivo Específico.....	17
1.3	JUSTIFICATIVA .....	18
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	18
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
<b>2</b>	<b>TEMA</b> .....	<b>20</b>
2.1	CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	24
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>25</b>
3.1	MANUTENÇÃO .....	25
3.1.1	Manutenção corretiva .....	25
3.1.2	Manutenção preventiva .....	26
3.1.3	Manutenção preditiva .....	27
3.2	CONFIABILIDADE.....	28
3.2.1	Coleta e tipos de dados.....	31
3.3	PRINCIPAIS DISTRIBUIÇÕES UTILIZADAS EM CONFIABILIDADE....	34
3.3.1	Distribuição de Weibull .....	35
3.3.2	Distribuição Exponencial .....	37
3.3.3	Distribuição Normal .....	38
3.3.4	Lognormal .....	39
3.4	ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS .....	39
3.4.1	Mínimos Quadrados (Rank Regressão em Y e X).....	39
3.4.2	Máxima Verossimilhança.....	40
3.5	DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE (RBD).....	41
3.5.1	Sistema em Série. ....	42
3.5.2	Sistema em paralelo.....	42
3.5.3	Sistema K em N.....	43
3.6	DISPONIBILIDADE E PROCESSOS ESTOCÁSTICOS .....	44
3.7	CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	45
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>46</b>
4.1	COLETA DE DADOS .....	46
4.2	ANÁLISE DE DADOS DE VIDA .....	48
4.3	ANÁLISE RAM MANUTENÇÃO CORRETIVA .....	55
4.4	ANÁLISE RAM MANUTENÇÃO PREVENTIVA .....	59
4.5	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	63
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>65</b>
5.1	DIFICULDADES ENCONTRADAS.....	65
5.2	PROPOSIÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	66
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente as empresas buscam maior produtividade e menor custo, no setor de rochas ornamentais não é diferente, principalmente devido a três fatores: abertura de muitas empresas no ramo ampliando a concorrência; as empresas chinesas estão comprando blocos de outros países, beneficiando e comercializando a baixo custo; redução do preço dos materiais utilizados para substituir a aplicação das rochas ornamentais.

Uma das formas de aumentar a produtividade e reduzir os custos e identificar o “gargalo de produção”.

Segundo Davis, Aquilano e Chase (2008) “Uma vez que o gargalo é o componente mais lento do processo, ele fixa o ritmo do sistema”, ou seja, ele limita a capacidade final de produção.

Para aumentar a produtividade e reduzir os custos deve se implementar políticas avançadas de produção e manutenção no “gargalo de produção”. Atualmente a política de manutenção mais avançada é a gestão de ativos, considerada a 5º geração da manutenção conforme Pinto e Xavier (2015).

A gestão de ativos utiliza técnicas avançadas de engenharia de confiabilidade. Segundo Martins (2015) a gestão de ativos visa alcançar o equilíbrio de custos, riscos e o desempenho desejado nos ativos, de forma a atingir os objetivos organizacionais.

A confiabilidade é definida pela capacidade de um item desempenhar sua função em um intervalo de tempo sob determinadas condições. A engenharia de confiabilidade é uma área de estudo que tem como objetivo avaliar e otimizar a confiabilidade de sistemas através da utilização de técnicas estatísticas.

A engenharia de confiabilidade utiliza o histórico do equipamento ou ensaios para calcular a confiabilidade e/ou a probabilidade de falha do equipamento, através da aplicação da estatística possibilita definir qual o melhor tipo de manutenção a ser empregado.

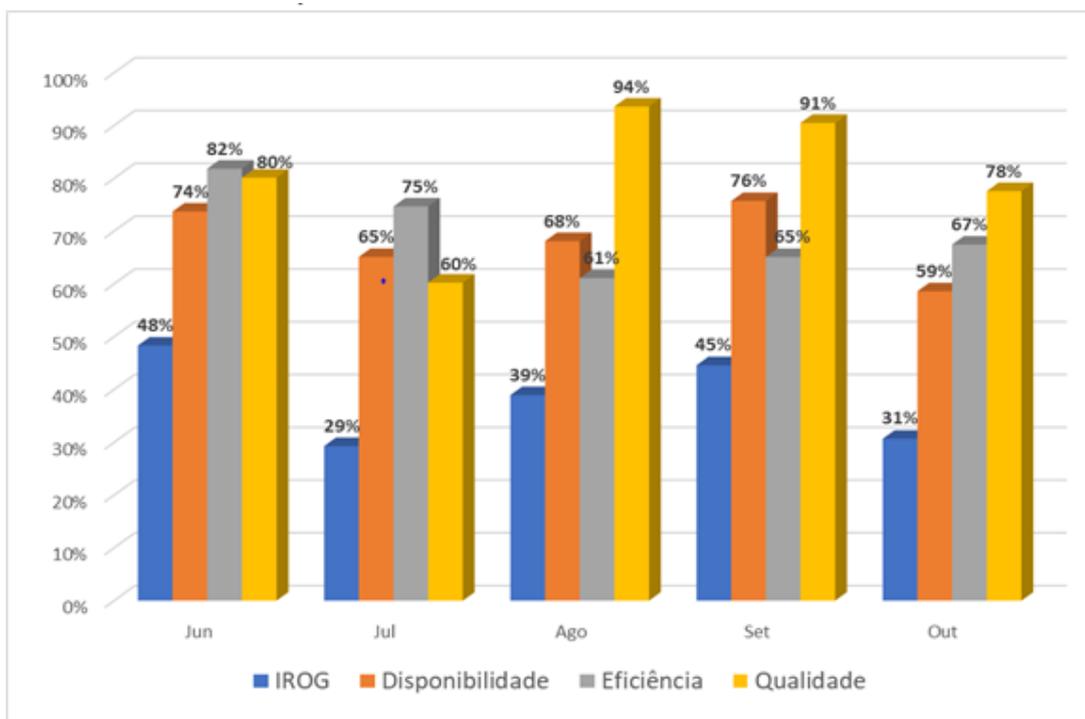
## 1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Um estudo realizado pela equipe de processos da empresa constatou que a área de desdobramento de blocos é o “gargalo de produção”, ou seja, é a área que impede a empresa de adquirir mais receitas. As multifios são máquinas responsáveis pelo desdobramento dos blocos transformando-os em chapas.

Devido ao estudo realizado foi implementado indicadores para controle e aperfeiçoamento dessa etapa do processo produtivo, sendo o principal indicador o índice de rendimento operacional global (IROG) que avalia três fatores: disponibilidade, eficiência e qualidade.

Nos cinco primeiros meses de acompanhamento desse indicador na multifio de 48 fios verificou-se que ele está muito abaixo do Benchmarking mundial (75%), conforme figura 1.1, sendo necessário realizar melhoria nos processos afim de alcançar maior produtividade da máquina.

Figura 1.1 - Índice de rendimento operacional global (IROG) – Disponibilidade x Eficiência x Qualidade

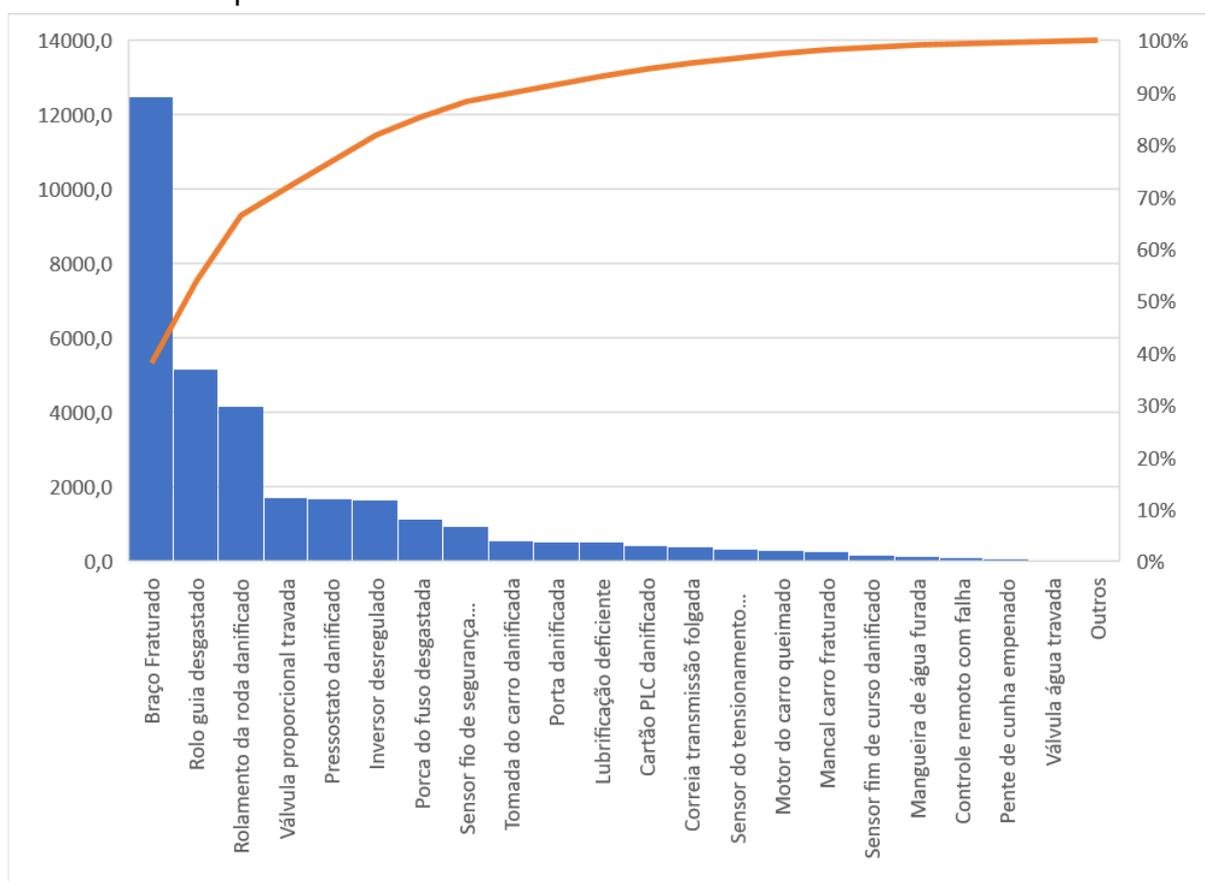


Fonte: o autor (2018).

Nenhum dos três fatores alcançou a meta nos cinco meses de apuração do indicador, por isso, um plano de ação foi elaborado para conseguir atingir a meta de 90% em disponibilidade operacional, 85% em eficiência e 98% em qualidade.

Esse plano abrangeu vários setores inclusive a manutenção, que apresentou um gráfico de Pareto dos principais modos de falha nos últimos seis meses de operação da multifio de 48 fios, conforme figura 1.2.

Figura 1.2 - Gráfico de Pareto – Principais modos de falha por minutos de parada de máquina.



Fonte: o autor (2018).

O modo de falha com o maior tempo de parada de máquina foi o braço fraturado com 38% do tempo total, esse problema foi solucionado através de estudo de engenharia e aplicação chapa de reforço. O segundo modo de falha com maior tempo de parada é o desgaste no rolo guia com 15,7% do tempo total, esse modo de falha custa 9,8% do orçamento anual de manutenção da fábrica.

A multifio de 48 fios possui dois conjuntos de rolos guias chamados de rolo guia de entrada e rolo guia de saída. Cada conjunto possui 8 rolos guias montados

um do lado do outro, e tem a função de guiar os fios diamantados que realizam o processo de desdobramento dos blocos em chapas.

Atualmente não é possível empregar a manutenção preditiva nos rolos guias por questões de segurança, por isso, o tipo de manutenção adotado é a manutenção corretiva.

De acordo com os dados abordados pressupõe que a manutenção corretiva não é o melhor tipo de manutenção empregada no modo de falha de desgaste dos rolos guias. A manutenção preventiva é conhecida por ser uma manutenção com custo elevado, e normalmente não utiliza toda a vida do componente, porém, reduz o tempo de parada de máquina e por consequência aumenta a disponibilidade operacional e a capacidade da empresa de gerar mais receitas.

Diante disso qual é a melhor estratégia de manutenção para o modo de falha de desgaste nos rolos guias levando em consideração custo de manutenção e produtividade da máquina?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é avaliar qual é a melhor estratégia de manutenção para o modo de falha de desgaste dos canais nos rolos guias da máquina multifio, utilizando técnicas de confiabilidade, visando reduzir o custo de manutenção e aumento da eficiência operacional.

### 1.2.2 Objetivo Específico

Este trabalho também deverá atender aos seguintes objetivos específicos, para cumprimento do objetivo geral:

- Coletar tempos de falha e tempos de reparo dos rolos guias através do banco de dados da empresa.
- Coletar os custos de manutenção: Sobressalentes, lucro cessante e mão de obra (HH).

- Por meio do software Weibull ++ encontrar os modelos probabilístico das funções de probabilidade acumulada de falha/reparo (pdf), funções e probabilidade acumuladas, função confiabilidade e a função custo da manutenção planejada x tempo.
- Criar o diagrama de blocos da confiabilidade no software Blocksim e realizar a simulação da disponibilidade e custo proporcionando comparar os tipos de manutenção.
- Analisar os resultados e concluir o trabalho.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A máquina estudada é “gargalo de produção” e os resultados do indicador IROG está muito abaixo do Benchmark mundial, impedindo a empresa de aumentar suas receitas e melhorar o seu resultado.

Esse estudo é importante para identificar qual o melhor tipo de manutenção para o modo de falha de desgaste dos rolos guias com o intuito de melhorar o resultado de disponibilidade do indicador IROG levando em consideração custo benefício. Para isso será utilizadas técnicas avançadas de confiabilidade para comparar o custo de material, custo de mão de obra e o lucro cessante dos dois tipos de manutenção afim de obter o resultado de qual é o melhor tipo de manutenção a ser adotado.

Vale ressaltar que esse modo de falha é o segundo maior motivo de parada da máquina conforme o gráfico de Pareto, em seis meses a máquina ficou inoperante por 86,2 horas, ou seja, a máquina ficou em média indisponível por 1,99% do tempo.

### 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho tem como natureza uma pesquisa aplicada para solução de um problema prático em uma empresa de beneficiamento de rochas ornamentais. De acordo com Barros e Leheld (2000), a pesquisa aplicada tem como objetivo solucionar problemas encontrados na realidade.

As técnicas selecionadas para coleta dos dados são: pesquisa documental, pesquisa de campo e revisão bibliográfica.

Na pesquisa documental os dados foram coletados diretamente nas planilhas de excel da base de dados da empresa. Na pesquisa de campo os dados foram coletados durante a execução das manutenções.

A revisão bibliográfica foi realizada com base em livros, artigos, dissertações e monografias sobre técnicas de confiabilidade principalmente abordando dados de análise de vida (LDA) e análise RAM (*reliability, availability e maintainability*).

Esse trabalho tem uma abordagem quantitativa pois os dados coletados serão analisados em softwares estatísticos Weibull++ e Blocksim, afim de obter a confiabilidade e manutenibilidade dos rolos guias, posteriormente será realizada a simulação e comparação dos dois tipos de manutenção.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para alcançar os objetivos estabelecidos, o trabalho será apresentado em capítulos, o primeiro capítulo é a introdução e os demais capítulos são:

- Capítulo 2 – Apresentação do tema da pesquisa.
- Capítulo 3 – Referencial teórico para apresentar conceitos e técnicas importantes sobre custos, manutenção e engenharia de confiabilidade relevantes para o desenvolvimento do trabalho.
- Capítulo 4 – Aplicação dos conceitos e técnicas de manutenção e confiabilidade para analisar os dados coletados, para isso será utilizado softwares estatísticos afim de obter os resultados da pesquisa.
- Capítulo 5 – Conclusões do trabalho.
- Capítulo 6 – Referências bibliográficas utilizadas no trabalho.

## 2 TEMA

O equipamento em estudo é uma máquina multifio que pode conter no máximo 48 fios diamantados de 7,3mm de diâmetro com capacidade de desdobrar um bloco em 47 chapas de 30mm de espessura.

Figura 2.1 - Exemplo de uma multifio desdobrando um bloco.



Fonte: O autor (2019).

O processo de desdobramento de blocos acontece devido ao giro dos fios a uma velocidade de 28 a 31m/s e a descida controlada da máquina de 8 a 70 cm/h. O ajuste da velocidade de giro dos fios e a descida é controlada devido ao tipo de bloco a ser desdobrado e a afiação do fio.

Durante todo esse processo é utilizado água para resfriar e limpar o fio diamantado e a quantidade de água deve ser ajustada de acordo com a afiação do fio e o bloco a ser desdobrado.

Figura 2.2 - Bloco desdobrado em chapas.



Fonte: O autor (2019).

A máquina multifio possui um motor elétrico principal que transmite rotação ao volante através de um conjunto de polias e uma correia sincronizadora. O volante transmite rotação aos fios diamantados através dos canais das correias que são fixadas em seu costado.

Existe um conjunto de rodas tensionadoras que tem a função de tensionar os fios diamantados a uma pressão de 180 daN a 210 daN. O tensionamento ocorre através de cilindros hidráulicos ou pneumáticos que movimentam os suportes das rodas para frente.

Os conjuntos de rolos guias de entrada e saída ficam localizados próximo ao bloco a ser desdobrado, ele possui canais para guiar e reduzir a vibração dos fios diamantados, manter a espessura e qualidade das chapas, evitando marcas indesejadas.

O rolo guia é de alumínio com revestimento de poliuretano com dureza entre 85 a 90 shore D e diâmetro máximo de 800mm. O cubo possui dois rolamentos e retentores, ele é fixado no rolo guia através de 6 parafusos.

Cada conjunto de rolo guia possui 8 rolos. O conjunto de rolo guia de entrada tem esse nome pois ele é localizado próximo de onde fio entra no bloco. O rolo guia de saída é próximo de onde o fio saí do bloco.

Figura 2.3 – Rolo guia com os canais no revestimento de poliuretano e sem cubo.



Fonte: O autor (2019).

Os conjuntos de rolos guia de entrada e saída possui 8 rolos cada. O eixo é fixado através de duas chapas presas na estrutura da máquina, elas suportam o eixo, os rolos guias somente são encaixados no eixo.

Figura 2.4 – Rolo guia montado na máquina.



Fonte: O autor (2019).

Atualmente a estratégia de manutenção adotada nos rolos guia é a manutenção corretiva, pois eles são substituídos devido a solicitação da equipe de produção, eles inspecionam as chapas desdobradas, se as chapas possuírem marcas de fio e diferença de espessura a máquina fica inoperante até a substituição do rolo guia. Esses defeitos ocorrem devido a vibração do fio causado por desgaste no fundo do canal ou por desgaste na lateral do canal.

O mármore e granito pode ter variação de até 10% de espessura para estar apto a ser comercializado, uma chapa de 30mm pode variar de 27mm a 33mm ao final de todo o processo produtivo. A Multifio é o início do processo produtivo, é aceitável até 5% de diferença de espessura ou uma marca de fio de até 1,5mm de profundidade, porém, a marca de fio causa ineficiências, como por exemplo a redução do ritmo de produção no processo de polimento. O processo de polimento consiste em deixar a chapa plana, lisa e com brilho.

Figura 2.5 – Chapa de granito com marcas de fio funda.



Fonte: O autor (2019).

Para substituir o rolo guia deve-se retirar a tensão dos fios, retirar de um dos lados a chapa que fixa o eixo, deixando-o livre, permitindo a retiradas dos rolos até conseguir alcançar e retirar o rolo danificado. O novo rolo guia é amarrado com

cinta, içado com pórtico rolante e instalado no eixo, para finalizar deve-se montar novamente a chapa que fixa o eixo e tensionar os fios.

Todos os rolos guias substituídos são reutilizados. Os rolos guia tem o revestimento usinado para remover canais antigos e fazer novos canais. Atualmente a empresa possui 26 rolos guias reservas e o processo de revestimento dos rolos guias leva no máximo 30 dias já considerando o tempo logístico.

Todos os rolos guias passam por esse processo e eles são considerados novos (tão bom quanto novo), pois ele pode ter o diâmetro mínimo de 775mm para cumprir normalmente sua função, ou seja, o rolo guia após vulcanizado é utilizado por duas vezes.

A manutenção preventiva que está sendo estudada seria a substituição de todos os rolos guias de entrada e saída a partir de um determinado tempo, especificado em horas de operação.

## 2.1 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi explicado sobre o funcionamento da máquina, processo produtivo, demonstrado qual a função e parâmetros do rolo guia. Foi explanado sobre como é atualmente o processo de manutenção do rolo guia e seus impactos na qualidade do produto.

Esse capítulo é extremamente importante pois propicia um entendimento básico sobre o assunto de forma a dar suporte aos próximos capítulos do trabalho, principalmente na etapa de coleta de dados que é fundamental para o desenvolvimento do trabalho.

No próximo capítulo será apresentado o referencial teórico, o tema e o referencial teórico são os capítulos que dão sustentação para a análise e desenvolvimento do trabalho, conduzindo o trabalho no intuito de alcançar os seus objetivos.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 MANUTENÇÃO

Segundo Branco Filho (2008) a manutenção são todas as ações tanto técnicas como administrativas que visem preservar o estado funcional do equipamento ou recoloca-lo em estado funcional, para que se possa cumprir a função para o qual foi adquirido ou projetado.

A manutenção é dividida basicamente em três tipos: manutenção corretiva, manutenção preventiva e preditiva (Branco Filho, 2008).

##### 3.1.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é realizada em máquinas que estejam em falha ou pane de forma a recolocar o item em condições de executar sua função requerida (NBR 5462, 1994).

A manutenção corretiva é subdivida em manutenção corretiva não planejada e manutenção corretiva planejada, a manutenção corretiva planejada ocorre através de uma demanda determinada pela manutenção preditiva. A manutenção corretiva não planejada ocorre de forma emergencial devido a uma falha ou pane (Pinto e Xavier, 2015).

A manutenção corretiva não planejada é chamada de uma manutenção reativa, devido ela é comandada pelos equipamentos. Nesse tipo de manutenção o reparo tem que ser rápido, pois o equipamento está parado interrompendo o processo produtivo, e a probabilidade de o reparo acontecer de forma inadequada é alta (Vissoci Junior, 2016).

Segundo Pinto e Xavier (2015) pinta manutenção corretiva não planejada é a manutenção mais cara podendo ser de 2 a 6 vezes mais cara que a e a manutenção corretiva planejada oriunda de inspeção preditiva.

### 3.1.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é a manutenção realizada em intervalos pré-determinados (NBR 5462, 1994).

A manutenção preventiva vem da palavra “prevenir”, ou seja, ela tem o objetivo de reduzir o número de falhas (manutenção corretiva não planejada), obedecendo a um planejamento baseado em intervalos pré-definidos. Um dos grandes problemas da manutenção preventiva é encontrar o intervalo ótimo de reparo, pois muitas empresas são conservadoras, causando o aumento do número de paradas de máquinas e dos custos de manutenção (Vissoi Junior, 2016).

Para criar um plano de preventiva é necessário descobrir o tipo de falha se é uma falha prematura, aleatória ou de desgaste. O adequado é aplicar a manutenção preventiva em falha do tipo desgaste (Reliawiki, 2019 a).

Para encontrar o intervalo ótimo de reparo é necessária uma pesquisa estatística com base em intervalos de falha, isso ficou conhecido como teoria da confiabilidade. O tempo ótimo de manutenção preventiva é dada pelo custo na unidade de tempo conforme equação demonstrada na figura 3.1 (Reliawiki, 2019 a).

Figura 3.1 – Função do custo ótimo para manutenção preventiva.

$$= \frac{C_p \cdot R(t) + C_U \cdot (1 - R(t))}{\int_0^t R(s) ds}$$

Fonte: Reliawiki (2019 a).

$C_p$  = custo de manutenção preventiva

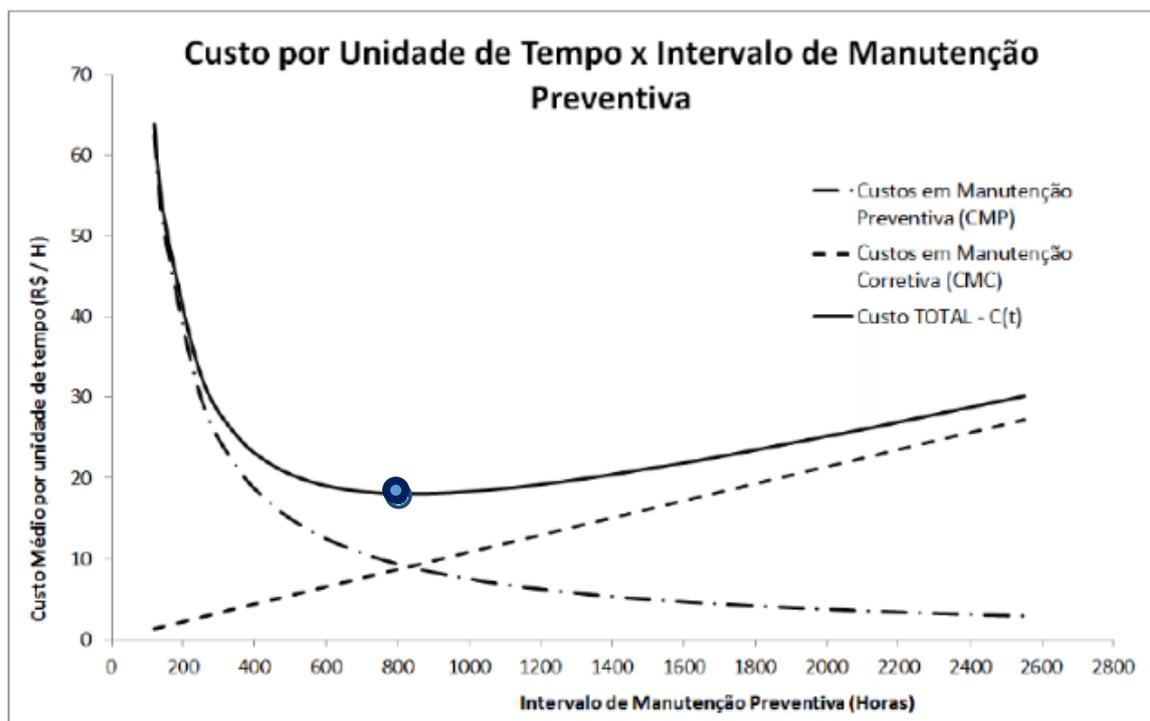
$C_u$  = custo de manutenção corretiva não planejada

$R(t)$  = confiabilidade no tempo  $t$ .

Com essa equação podemos gerar uma curva similar a figura 3.2, que mostra que se o intervalo de manutenção preventiva é reduzido, aumenta a probabilidade de não termos manutenção corretiva não planejada, porém o custo é elevado, se o intervalo de manutenção preventiva é alto, aumenta a probabilidade de ter

manutenção corretiva não planejada é isso também eleva os custos, sendo necessário achar o ponto ótimo (Corrêa, 2015).

Figura 3.2 – Curva do tempo ótimo para manutenção preventiva.



Fonte: Reliawiki (2019 a).

### 3.1.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva ocorre através do acompanhamento dos parâmetros operacionais e de degradação de um componente ou equipamento. Um exemplo de manutenção preditiva é o acompanhamento das frequências e amplitudes de vibração de uma bomba (Branco Filho, 2008).

A manutenção preditiva traz como vantagens o máximo aproveitamento da vida útil dos componentes, o mínimo de intervenção nos sistemas, redução de reparos de emergências e não planejados e a possibilidade de planejar antecipada as ações da manutenção. Contudo as desvantagens desse método de manutenção são as necessidades de um acompanhamento e inspeções periódicas, por meio de instrumentos específicos e profissionais bem treinados e capacitados (Branco Filho, 2008).

### 3.2 CONFIABILIDADE

No período da segunda guerra mundial se desenvolveram grande parte dos conceitos de confiabilidade e sua aplicação em projetos, pois a indústria bélica necessitava de eficiência nos projetos dos equipamentos (Felix, 2006).

Segundo Bergamo Filho (1997) a confiabilidade é a probabilidade de um item executar, sem falhas, uma certa missão, sob determinadas condições, durante um determinado período de tempo.

Na definição entendeu-se que o objeto de interesse seja um item, porém a definição de item depende do propósito de estudo. Em certos casos, considera-se um sistema, constituído de um arranjo de diversos componentes, em outros casos, em que existe interesse de maior detalhe para análise, o termo item refere-se a um componente do arranjo em particular (Fogliatto e Ribeiro, 2009).

Três pontos de extrema relevância descrito na definição de confiabilidade são: probabilidade, tempo e condição (Duek, 2005).

A probabilidade vem dos conceitos de estatística que é a chance de ocorrência de um resultado, para isso devemos quantificar ou mensura-la, isso significa que a confiabilidade é um valor entre zero a um (Duek, 2005).

O tempo tem relevância pois um dispositivo não apresenta as mesmas características e eficiências indefinidamente. Então dependendo do tempo considerado na análise a probabilidade muda. Esse tempo não deve ser interpretado literalmente já que em alguns contextos o tempo pode ser considerado como ciclos, quilômetros e outros (Duek, 2005).

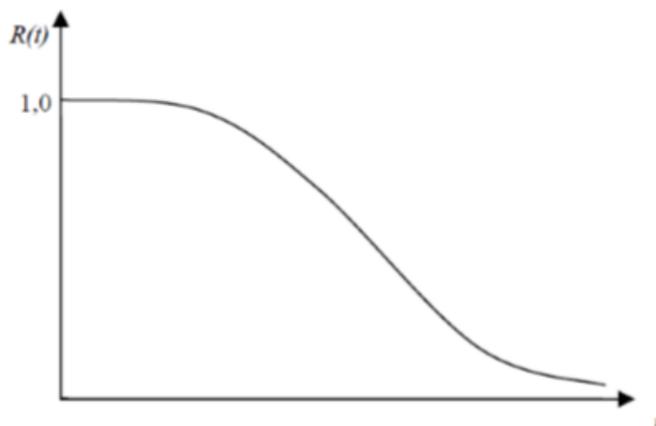
A condição é relevante pois é um fator referente às condições operacionais, serve como delimitador do ambiente no qual o item deverá estar submetido (Duek, 2005).

É extremamente necessário definirmos falha para entendermos o conceito confiabilidade. Segundo a NBR 5462 (1994) falha é definida como o término da capacidade de um item desempenhar suas funções requeridas.

A confiabilidade de um item é definida na etapa de projetos, porém ela é uma ferramenta que permite a elaboração de estratégias de manutenção, pois visa garantir o bom funcionamento do item, em decorrência do seu tempo de uso e dos fatores que podem influenciar seu desempenho (Firmino *et al*, 2004).

Expressando esse conceito em termos da variável  $t$  pode-se obter a função da confiabilidade  $R(t)$  que é um método de demonstrar graficamente a confiabilidade de um componente ao longo do tempo. A função da confiabilidade é decrescente ao longo do tempo (Leitch, 1995).

Figura 3.3 – Função densidade da probabilidade de falha

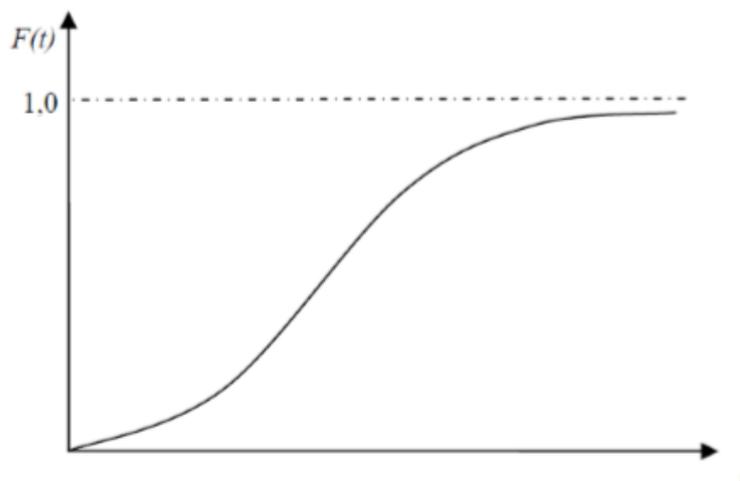


Fonte: Leitch (1995).

A probabilidade de falha  $F(t)$  é a probabilidade de um evento indesejado acontecer em um determinado tempo, ou o inverso da confiabilidade  $F(t) = 1 - R(t)$ .

A função densidade da probabilidade de falha  $f(t)$  é um poderoso instrumento de visualização de como as falhas ocorrem e como elas estão estatisticamente distribuídas. A função densidade da probabilidade de falha é crescente ao longo do tempo quando  $t$  tende a infinito, conforme figura 3.4 (Leitch, 1995).

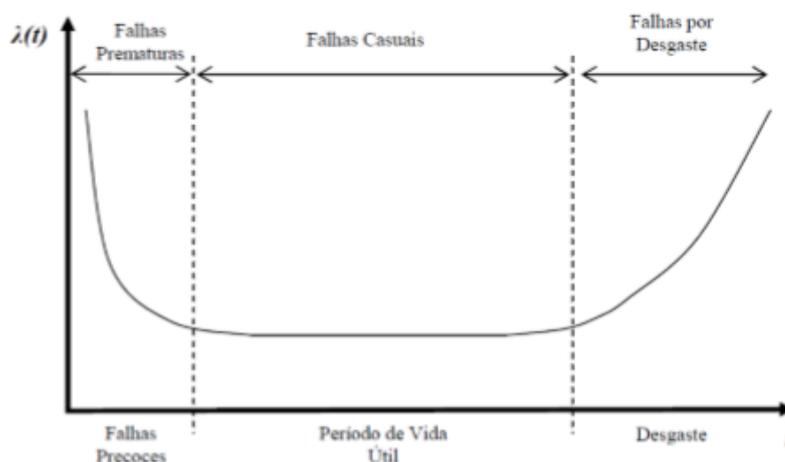
Figura 3.4 – Função densidade da probabilidade de falha



Fonte: Leitch (1995).

A taxa de falha é o número de falhas por unidade de tempo que podem ocorrer no produto. O comportamento da taxa de falha  $\lambda(t)$  em relação ao tempo  $t$  é um indicador de causa de falha expressa na curva da banheira, demonstrada na figura 3.5.

Figura 3.5 – Curva da banheira



Fonte: Lafraia (2001).

O curto intervalo de tempo indicado na primeira região do gráfico indica que as taxas de falhas decrescem, essa região é chamada de falhas precoces, pois nesse período as falhas são causadas por problemas de projeto, fabricação ou montagem (Belizário, 2012).

A região central contém as taxas de falhas constantes, essa região é considerada como vida útil. As falhas que ocorrem durante essa fase são denominadas falhas aleatórias e normalmente causadas por carregamentos inevitáveis e/ou inesperados, tais como erros de operação ou eventos externos (Belizário, 2012).

Na região à direita da curva é a região de falhas por desgaste, por isso a taxa de falha é crescente devido ao final da vida útil. Nesta fase as falhas são devido a fenômenos físicos de natureza cumulativa tais como: corrosão, fadiga e desgaste por atrito (Belizário, 2012).

A curva da banheira é uma curva teórica uma vez que cada componente apresenta uma curva característica (Fogliatto e Ribeiro, 2009).

Existe dois conceitos associados a confiabilidade e manutenção, esses conceitos são disponibilidade e manutenibilidade.

Disponibilidade é a capacidade de um item desempenhar sua função requerida em um determinado período de tempo (Fogliatto e Ribeiro, 2009). Uma outra definição de disponibilidade é a probabilidade de um item estar disponível para uso ou sendo utilizado (Branco Filho, 2016).

Manutenabilidade é a probabilidade de um item ser colocado em suas condições especificadas dentro de um determinado período de tempo, quando a manutenção é efetuada com procedimentos e com recursos prescritos (Branco Filho, 2016).

### 3.2.1 Coleta e tipos de dados

Para realizar um estudo de confiabilidade são necessários dados de vida do componente, esses dados são obtidos através de testes em bancadas ou dados obtidos em campo (Lemes, 2006).

Os testes em bancadas normalmente são realizados na etapa de desenvolvimento do produto e podem não representar a solicitação encontrada em campo principalmente quando o efeito do usuário influencia demasiadamente a magnitude da solicitação (Lemes, 2006).

Os dados obtidos em campo evidenciam o histórico do equipamento, os esforços e as condições operacionais, principalmente quando o efeito do usuário influencia demasiadamente na magnitude da solicitação (Lemes, 2006).

A coleta de dados de campo é de extrema importância para um estudo de confiabilidade. Problemas de coleta, tais como ausências e incoerências nas informações de tempo de máquina parada ou tempo entre falhas poderão ter grande impacto nos resultados das análises de confiabilidade (Lemes, 2006).

Os dados podem ser classificados em dois tipos: dados completos e dados censurados. Os dados censurados também são chamados de suspensão e são subdivididos em dados censurados a direita, dados censurados a esquerda e intervalos (Reliawiki, 2019 a).

Dados completos significa que o dado de vida é conhecido, ou seja, sabe-se o tempo exato até a falha, conforme figura 3.6. Esse dado torna mais precisa a determinação dos parâmetros das funções de confiabilidade (Reliawiki, 2019 a).

Figura 3.6 – Dados completos.

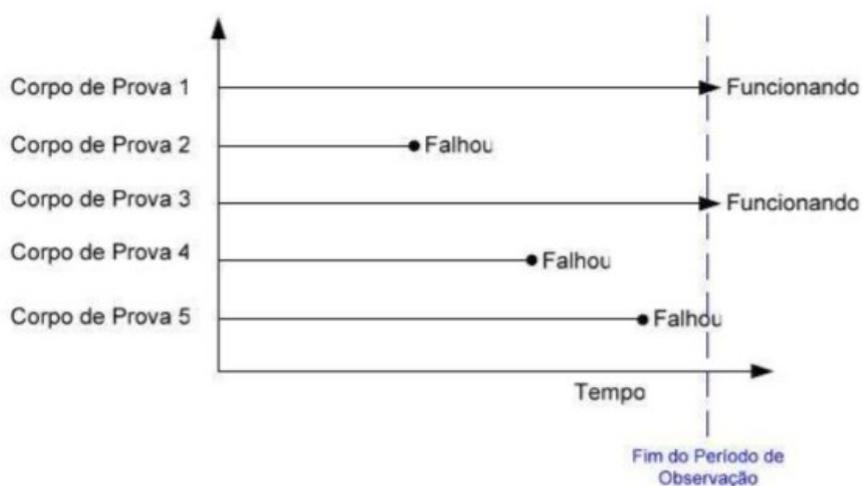


Fonte: Reliawiki (2019 a).

Dados censurados a direita são obtidos quando existem componentes ou equipamentos que não falharam ou quando a falha ocorreu devido a um modo de falha diferente do contemplado no estudo. O termo censurado a direita significa que até aquele momento o componente não falhou é o tempo até a falha está à direita na escala do tempo, conforme figura 3.7 (Lemes, 2006).

Nos dados coletados em campo é comum de termos dados censurados a direita pois o componente foi substituído (dado completo) e o novo está em operação, ou seja, dado censurado a direita (Lemes, 2006).

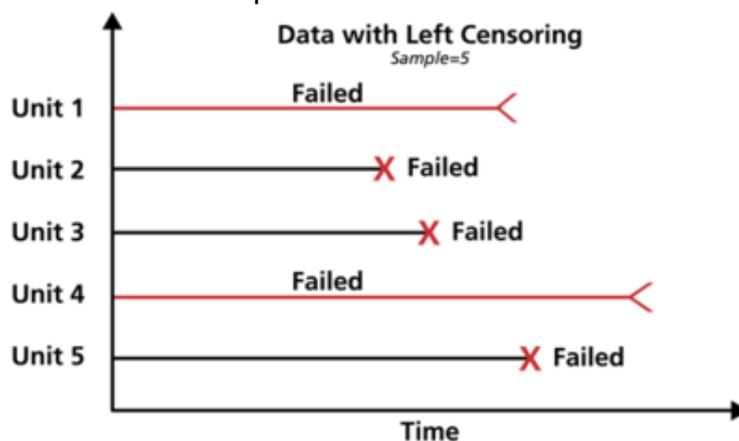
Figura 3.7 – Dados censurados a direita.



Fonte: Lemes (2006).

Dados censurados a esquerda é quando o tempo até a falha ocorre antes de um tempo observado, por exemplo, um componente foi substituído e está operando, após 300 horas foi realizada uma inspeção e foi observado que componente havia falhado, ou seja, o tempo até a falha está  $>0$  e  $<300$  horas (Reliawiki, 2019 a).

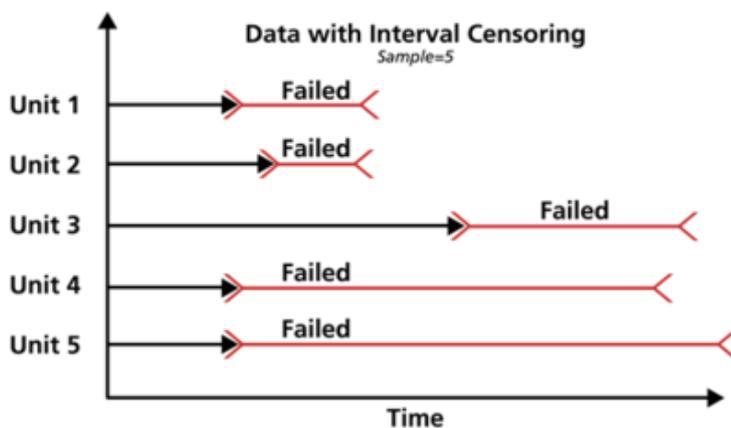
Figura 3.8 – Dados censurados a esquerda.



Fonte: Reliawiki (2019 a).

Dados censurados em intervalo ocorre quando é conhecido o intervalo em que a falha ocorreu, conforme figura 3.9 (Reliawiki, 2019 a).

Figura 3.9 – Dados censurados em intervalo.



Fonte: Reliawiki (2019 a).

Um exemplo é quando um componente iniciou a operação, com 200 horas foi realizada uma inspeção e ele estava em perfeito estado, com 400 horas realizou-se uma nova inspeção e identificado que o componente havia falhado. Nesse caso

sabe se que a falha não ocorreu em um tempo >200 horas e <400horas (Reliawiki, 2019 a).

### 3.3 PRINCIPAIS DISTRIBUIÇÕES UTILIZADAS EM CONFIABILIDADE

Distribuições estatísticas são utilizadas para quantificar os eventos, número de falha e etc.. As distribuições podem ser classificadas em distribuições discretas e contínuas.

As distribuições discretas são do tipo cara ou coroa e passa ou não passa, as distribuições contínuas medem eventos de uma variável aleatória contínua como: tempo, número de ciclos. As distribuições contínuas são as mais utilizadas para modelar o comportamento de falha dos sistemas industriais, segue na tabela 3.1 as distribuições com suas aplicações (Corrêa, 2015).

Tabela 3.1 – Distribuições estatísticas.

Distribuições Estatísticas	Aplicações
1.1 - Distribuição Binomial	Aplicada para número elevado de amostras no controle de qualidade. Modela o número de falhas em relação ao tamanho inicial da amostra. A distribuição Hipergeométrica tem aplicação semelhante com exceções.
1.2 - Distribuição de Poisson	Aplicada no controle de qualidade e modela o número de falhas em relação ao tempo de produção.
2.1 - Distribuição Exponencial	Modela o número de falhas durante o período de vida útil de componentes eletrônicos.
2.2 - Distribuição Retangular	Aplicações restritas, casos em que a densidade de probabilidade é constante num intervalo de tempo.
2.3 - Distribuição de Rayleigh	Modela as regiões da curva da banheira para o caso de falhas iniciais e por desgaste, por uma progressão linear.
2.4 - Distribuição Normal	Analisa produtos durante o início de vida e na fase de degradação natural. Modela falha por fadiga ou desgaste.
2.5 - Distribuição de Weibull	Modela falha aleatória.
2.6 - Distribuição Gamma	Modela tempo de falhas em componentes com reparo ideal.
2.7 - Distribuição Lognormal	Caracteriza o tempo de reparo para uma manutenção normal de falhas de desgaste.
2.8 - Distribuição Beta	Aplicações especiais
2.9 - Distribuição de valores Extremos	Normalmente utilizada em situações em que o número de variáveis, dos quais os dados são obtidos, são muito grandes.

As distribuições mais utilizadas para modelar o comportamento de falhas e representar a função da probabilidade de falha são: Normal, Lognormal, Exponencial e Weibull (Corrêa, 2015).

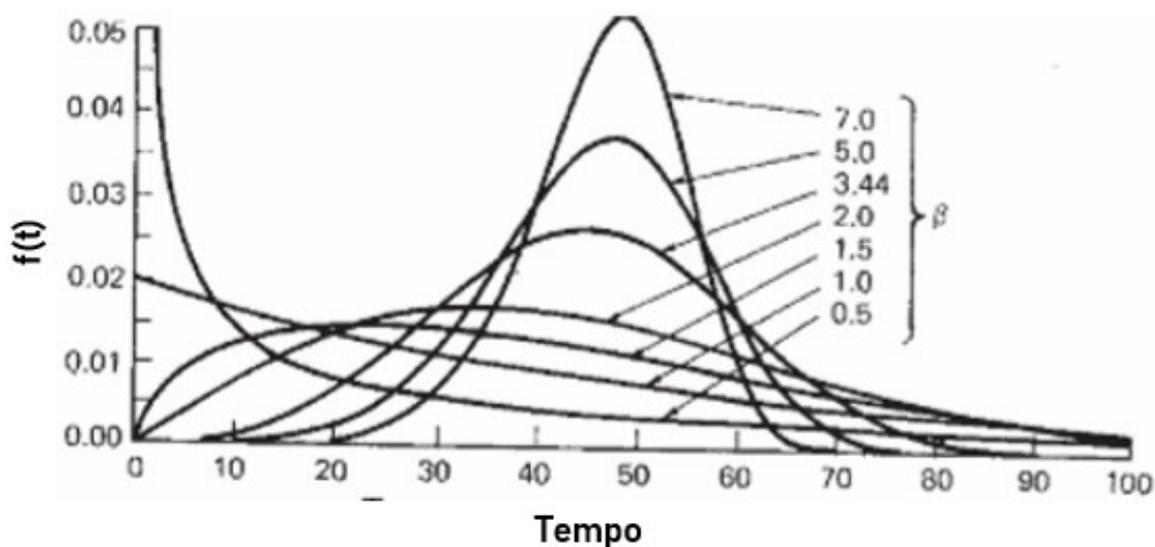
### 3.3.1 Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull foi proposta originalmente por Wallodi Weibull em 1939 em estudos relacionados ao tempo de falha devido a fadiga de metais (Belizário, 2012).

Essa distribuição é uma das mais importantes na modelagem de confiabilidade devido a sua flexibilidade e capacidade de representação de tempos de falha com comportamentos distintos como: falhas prematuras, falhas no período de vida útil e falhas por desgaste, esses comportamentos correspondem aos três períodos da curva da banheira (Fogliatto e Ribeiro, 2009).

Esse comportamento é demonstrado pelo fator Beta ( $\beta$ ) é um parâmetro de forma que define a variação da Confiabilidade ao longo da vida do componente ou sistema. O parâmetro  $\beta$  não possui unidade de medida e quanto maior ele for maior é a inclinação da reta no gráfico (Barros Filho, 2003).

Figura 3.10 – Distribuição de Weibull para os diversos valores de  $\beta$ .

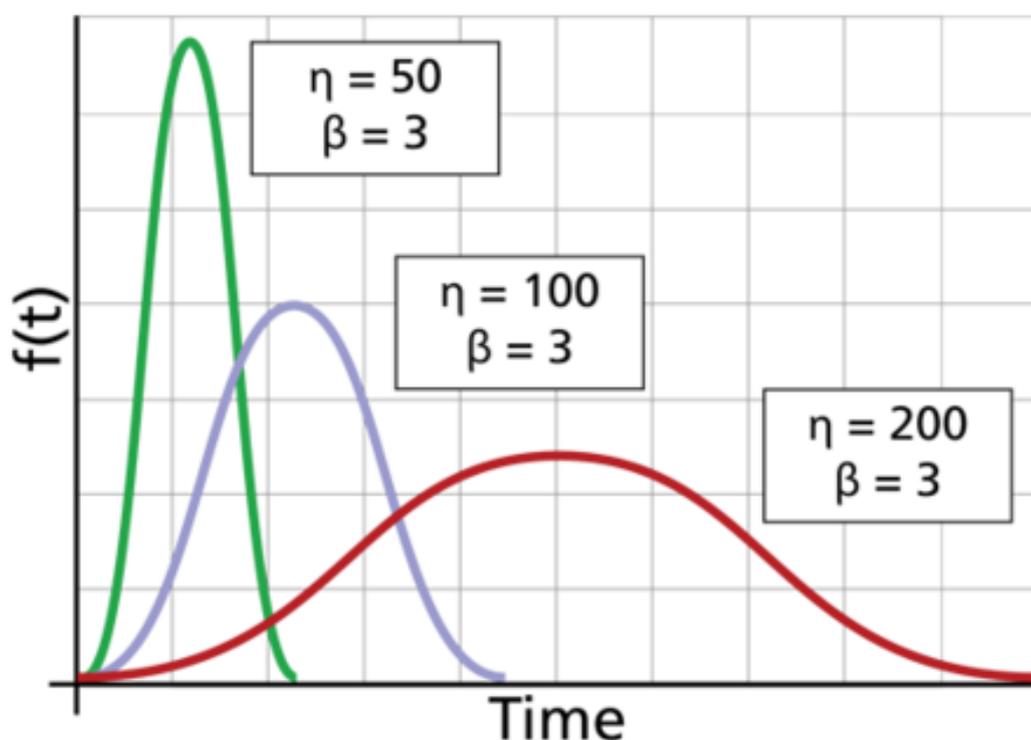


Fonte: Souza (2003).

Quando o  $\beta < 1$  a pdf é decrescente para o aumento da variável  $t$ , isso caracteriza falha precoce ou mortalidade infantil. Quando o  $\beta = 1$  a distribuição de Weibull se torna a distribuição exponencial e caracteriza falhas em vida útil ou falhas aleatórias. Quando o  $\beta > 1$  a pdf é crescente para o aumento da variável  $t$ , isso caracteriza falha por desgaste ou morte senil, sendo que quanto maior for o  $\beta$ , maior é a inclinação da curva significando um desgaste acelerado.

O parâmetro Eta ( $\eta$ ) é a vida característica, ela é igual ao tempo no qual a probabilidade de falha é de 63,2%. O  $\eta$  define o espalhamento da distribuição ao longo do eixo das abscissas (Teixeira, 2008).

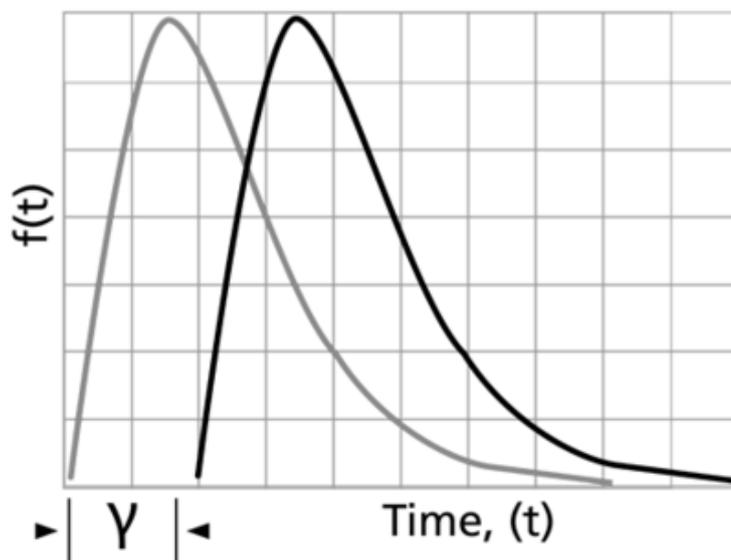
Figura 3.11 – Distribuição de Weibull para os diversos valores de  $\eta$ .



Fonte: Reliawiki (2019 a).

O parâmetro gama ( $\gamma$ ) é o parâmetro de posição ou vida mínima. Ela define a posição em a função densidade da probabilidade tem origem (Teixeira, 2008).

Figura 3.12 – Efeito do parâmetro  $\gamma$  na Weibull.



Fonte: Reliawiki (2019 a).

A distribuição Weibull tem 4 tipos de formas: triparamétrica, biparamétrica e monoparamétrica. Existem uma distribuição Weibull chamada Weibull Mista.

A distribuição Weibull triparamétrica possui os três parâmetros  $\beta$ ,  $\eta$  e  $\gamma$ , a biparamétrica possui dois parâmetros  $\beta$  e  $\eta$ , a monoparamétrica é quando o parâmetro de forma assume o valor  $\beta=1$ , resultando uma distribuição do tipo exponencial, com taxa de falha constante (Barros Filho, 2003).

A distribuição Weibull mista é utilizada para componentes ou sistemas que apresentam múltiplos modos de falha. A distribuição Weibull mista é aplicada para representar populações mistas. A distribuição representa a imagem global da vida do produto, misturando diferentes distribuições de Weibull para diferentes estágios da vida do produto. Através da mesma é possível construir a curva da banheira de um equipamento ou sistema na sua totalidade (Barros Filho, 2003).

### 3.3.2 Distribuição Exponencial

A distribuição exponencial possui taxa de falha constante  $\lambda(t)$  ao longo do ciclo de vida e, por isso, é utilizada para o período de vida útil da curva da banheira, significa que as falhas ocorrem de forma aleatória, não apresentando uma tendência de crescer ou decrescer no período considerado (Corrêa, 2015).

Essa distribuição é típica de componentes eletroeletrônicos, por isso, o acompanhamento da falha deve ser feito a partir da predição, uso de sensores, ou simplesmente deixar falhar (Corrêa, 2015). A distribuição exponencial é representada pela equação:

Densidade de probabilidade:  $f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$

Função da confiabilidade:  $R(t) = e^{-\lambda t}$

A taxa de falha é obtida pelo inverso do MTBF ou MTTF, conforme fórmula:  $\lambda=1/M$ .

### 3.3.3 Distribuição Normal

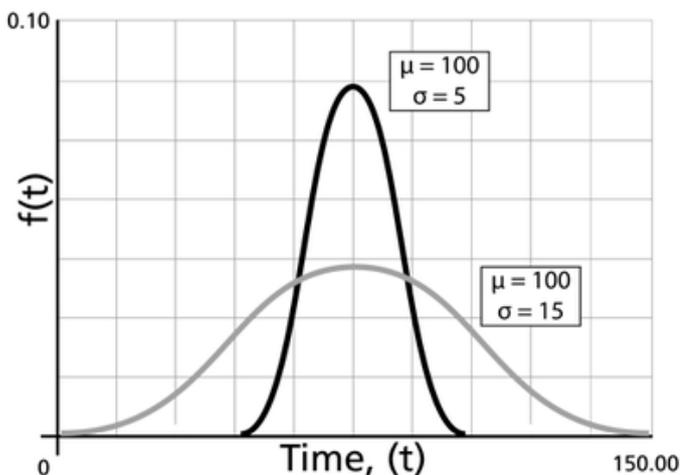
A distribuição normal representa um conjunto de dados cuja taxa de falhas é crescent ao longo do tempo e é usada para representar erros de medição, variabilidade dimensional e algumas propriedades mecânicas. Para essa distribuição a forma e posição da função densidade da probabilidade é especificada em termos de media ( $\mu$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) (Corrêa, 2015).

Densidade de probabilidade:  $f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}}$

Função da confiabilidade:  $R(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_t^{\infty} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$

Função da probabilidade de falha:  $F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^t e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$

Figura 3.13 – Função densidade da probabilidade Normal



### 3.3.4 Lognormal

Distribuição lognormal é quando o logaritmo desta variável tem distribuição normal. A lognormal representa dados cuja taxa de falha é crescente e depois decresce, sendo usada para representar principalmente de estresse por fadiga (Teixeira, 2008).

A distribuição lognormal tem semelhanças com a distribuição normal. Uma variável aleatória é lognormalmente distribuída se o logaritmo da variável aleatória estiver normalmente distribuído. Por causa disso, existem muitas semelhanças matemáticas entre as duas distribuições (Teixeira, 2008).

A confiabilidade  $R(t)$  para distribuição Lognormal é do tipo biparamétrica, segundo Pallerosi (2000) é dada por:

Figura 3.14 – Função da confiabilidade para distribuição lognormal.

$$R(t) = \int_{t^1}^{\infty} f(t^1) dt = \int_{t^1}^{\infty} \frac{1}{\sigma^1 \cdot \sqrt{2\eta}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{(t^1 - \mu^1)}{\sigma^1} \right]^2} dt$$

Fonte: Teixeira (2008).

## 3.4 ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS

### 3.4.1 Mínimos Quadrados (Rank Regressão em Y e X)

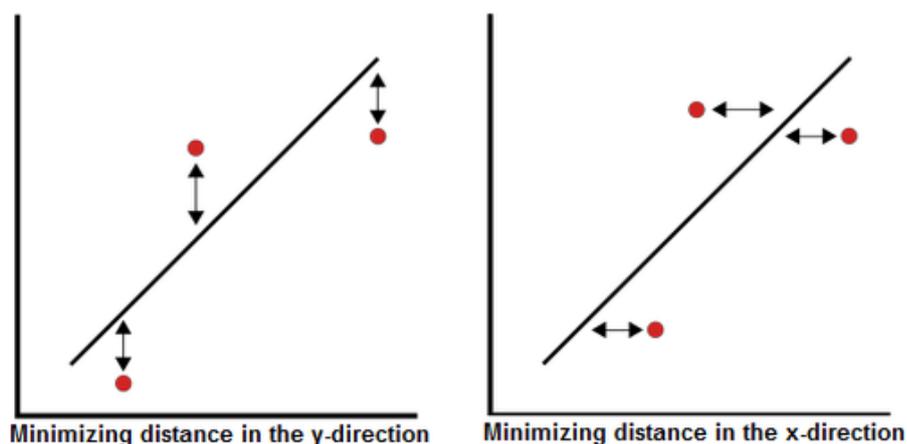
A análise de regressão ajusta matematicamente a melhor linha reta a um conjunto de pontos, na tentativa de estimar os parâmetros. Essencialmente, esta é uma versão matematicamente baseada do método de plotagem de probabilidade (Reliawiki, 2019 a).

O método dos mínimos quadrados lineares é usado para as análises de regressão de todas as distribuições, exceto para os casos das distribuições Weibull com 3 parâmetros e Weibull misto. Em alguns softwares o termo rank regressão é usado em vez de mínimos quadrados ou regressão linear (Reliawiki, 2019 a).

O método dos mínimos quadrados requer que uma linha reta seja ajustada a um conjunto de pontos de dados, de modo que a soma dos quadrados da distância dos pontos à linha ajustada seja minimizada (Reliawiki, 2019 a).

Essa minimização pode ser executada na direção vertical ou horizontal. Se a regressão estiver ativada X (RRX), a linha será ajustada de modo que os desvios horizontais dos pontos para a linha sejam minimizados. Se a regressão estiver em Y (RRY), isso significa que a distância dos desvios verticais dos pontos para a linha é minimizada. A Rank regressão é mais indicada para ser utilizada quando obtemos os dados de falha (dados completos), pode ser usado para uma amostra pequena ou uma amostra grande (Reliawiki, 2019 a). Conforme figura 3.15.

Figura 3.15 – Rank Regressão em Y e em X.



Fonte: Reliawiki (2019 a).

### 3.4.2 Máxima Verossimilhança

O método de estimação por máxima verossimilhança (MLE) é, com algumas exceções, considerado o mais robusto das técnicas de estimação de parâmetros (Reliawiki, 2019 a).

A ideia básica do MLE é obter os valores mais prováveis dos parâmetros, para uma determinada distribuição, que melhor descrevam os dados (Reliawiki, 2019 a).

O MLE é um método estatístico de estimativa, que tem por característica estimar os parâmetros que maximizam a probabilidade de que o dado pertence à esta distribuição e ao conjunto de parâmetros (Reliawiki, 2019 a).

Esse método utiliza o cálculo para determinar os valores que maximizam a função de verossimilhança. Ele é utilizado quando o tamanho da amostra é grande, para dados completos ou quando possui dados misturados (dados censurados em conjunto com dados completos). Sabe-se que para amostras pequenas ele é viesado, ou seja, ele pode superestimar ou subestimar o que está sendo calculado (Reliawiki, 2019).

### 3.5 DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE (RBD)

O RBD é um diagrama de blocos de um sistema onde cada bloco representa um equipamento ou componente (Valk, 2016).

Utiliza-se o RBD para estudar confiabilidade em sistemas compostos de um ou mais equipamentos ou o equipamento decomposto em seus conjuntos e subconjuntos (Valk, 2016).

Entende-se por sistema um conjunto de sub-sistemas e componentes, combinados entre si de modo específico, correspondentes a dados arranjos físicos, para atingir as funções operacionais desejadas, com custos, performances e confiabilidade que satisfaçam as necessidades do usuário final (Darella, 2016).

Uma vez estruturados e analisados os dados individuais de vida dos conjuntos que compõem um equipamento, podemos montar em forma estruturada os diagramas dos equipamentos, subsistemas e sistemas (Darella, 2016).

O diagrama de blocos pode ser utilizado para extrair informações importantes e até mesmo dados de simulações de vida para tempos determinados. No diagrama de blocos é possível se encontrar sistemas simples e complexos (Darella, 2016).

A esses blocos é possível inserir informações tais como, taxa de falha, manutenibilidade, custo de manutenção, custos de compra, operação e manutenção dos equipamentos e das equipes de manutenção, dentre outros. As configurações dos blocos são: serie, paralelo e K de N (Valk, 2016).

### 3.5.1 Sistema em Série.

Um sistema em configuração em série, os blocos estão conectados de uma tal forma que a falha de qualquer componente resulta na falha de todo o sistema. Neste tipo de sistema se há uma falha de qualquer um destes componentes irá causar uma falha do sistema (Fogliatto e Ribeiro, 2009).

Figura 3.16 – Sistema com configuração em série.



Fonte: Reliawiki (2019 b).

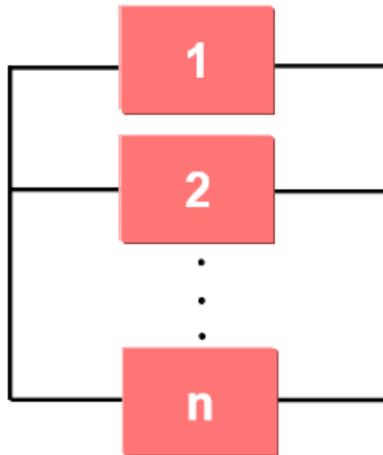
Para que o sistema na estrutura série funcione corretamente, todos os componentes deverão estar funcionando, a partir da confiabilidade individual de cada componente, é possível calcular a confiabilidade do sistema em série, através da fórmula:  $R(t) = R^1(t) \times R^2(t) \times R^3(t)$  (Barros Filho, 2003).

### 3.5.2 Sistema em paralelo

No sistema em paralelo todos os componentes devem falhar para que o sistema falhe, no mínimo um dos itens em paralelo necessita ter sucesso para que a missão tenha sucesso (Fogliatto e Ribeiro, 2009).

A fórmula de cálculo da confiabilidade do sistema é:  $R_s(t) = 1 - [(1 - R^1(t)) \times (1 - R^2(t)) \times (1 - R^3(t))]$  (Fogliatto e Ribeiro, 2009). O sistema é representado conforme figura 3.17.

Figura 3.17 – Sistema com configuração em paralelo.



Fonte: Fogliatto e Ribeiro (2009).

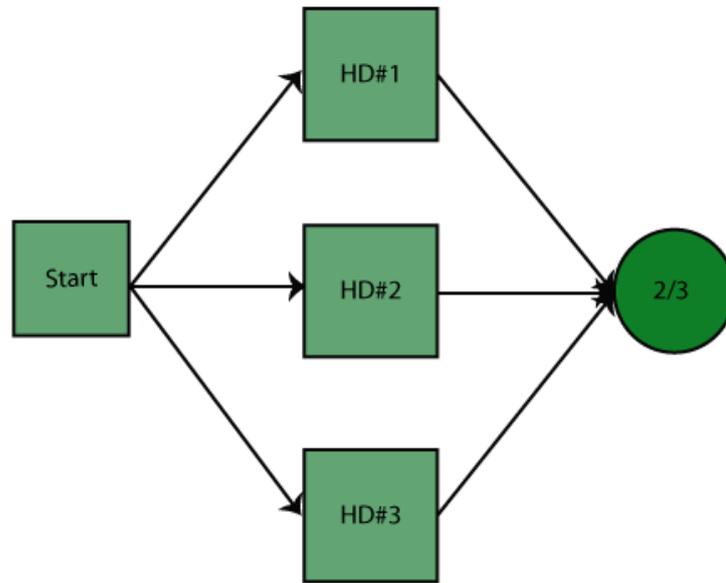
A redundância é um aspecto muito importante para a confiabilidade do projeto em que a adição de redundância é um dos vários métodos de melhorar a confiabilidade do sistema. É amplamente utilizado na indústria aeroespacial e geralmente utilizado nos sistemas de missão crítica (Fogliatto e Ribeiro, 2009).

### 3.5.3 Sistema K em N

Em um sistema K-em-N basta um grupo de componentes k independentes idênticos serem bons, de um total de componentes n, para que o sistema satisfaça a função esperada com sucesso. Esta configuração é um dos mais importantes aspectos do aumento da confiabilidade e da segurança dos sistemas, largamente aplicado na indústria em geral, segundo Pallerosi (2001).

A fórmula de cálculo da confiabilidade do sistema é:  $R_s(t) = R^1(t) \times R^2(t) + R^2(t) \times R^3(t) + R^1(t) \times R^3(t) - (2 \times R^1(t) \times R^2(t) \times R^3(t))$ . O sistema representado na figura 3.18 é um sistema 2 em 3, ou seja, 2 dos 3 componentes têm que estar funcionando para o sistema funcionar. (Reliawiki, 2019 b).

Figura 3.18 – Sistema com configuração K em N.



Fonte: Reliawiki (2019 b).

### 3.6 DISPONIBILIDADE E PROCESSOS ESTOCÁSTICOS

Disponibilidade é a probabilidade de um componente estar disponível para uso. Disponibilidade = tempo total – tempo de manutenção/tempo total.

Os 4 tipos de disponibilidade mais empregado é: disponibilidade alcançada, disponibilidade operacional, disponibilidade inerente e disponibilidade média (Branco Filho, 2008).

A disponibilidade alcançada, considera o tempo de manutenção como sendo os reparos corretivos e preventivos (Branco Filho, 2008).

Disponibilidade operacional inclui todas as paradas, como paradas operacionais, de manutenção e atrasos logísticos (Branco Filho, 2008).

Disponibilidade inerente é obtida quando é considerado somente o tempo de manutenção corretiva (Branco Filho, 2008).

A disponibilidade média de um sistema será calculada sobre o intervalo de tempo zero a t, ou seja, é o tempo disponível do sistema dividido pelo total de simulações (Branco Filho, 2008).

A disponibilidade pode ser obtida através de processos estocásticos, nesse processo é feito uma modelagem realista através de processos probabilísticos caracterizados por uma sequência de variáveis aleatórias (Reliawiki, 2019 b).

### 3.7 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Nesse capítulo foi apresentado os conceitos de manutenção e confiabilidade, dentre os principais conceitos de confiabilidade foram demonstradas as principais distribuições estatísticas, os principais parâmetros de estimação, os sistemas utilizados em blocos de confiabilidade e disponibilidade.

Os conceitos apresentados nesse capítulo são fundamentais para o desenvolvimento do trabalho, pois através dele se obtém a base teórica científica que auxilia na resolução do problema e alcance dos objetivos.

No próximo capítulo será desenvolvido o trabalho, para desenvolver o trabalho será utilizado os conceitos e estrutura retirado dos autores de livros e pesquisas demonstrados no referencial teórico. No desenvolvimento do trabalho será abordado a parte pratica de análise para resolução dos problemas baseado na teoria demonstrado nesse capítulo.

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados através de inspeção em campo e conversa com a equipe de manutenção, produção, segurança do trabalho e do histórico de manutenção existentes nas planilhas de excel da equipe de planejamento, programação e controle de manutenção e de outros setores da empresa.

Na inspeção em campo e em conversa com os setores envolvidos foi descartado a possibilidade de executar manutenção preditiva, pois seria necessário a máquina ficar inoperante para realizar medição do tamanho do desgaste dos canais. E o número de canais é elevado, e não é permitido a interação homem máquina a não ser que a máquina estivesse bloqueada eletricamente.

Os dados obtidos foram: custo de mão de obra (HH), custo do rolo guia, lucro cessante, dados de vida do rolo guia, dados de manutenibilidade do rolo guia (manutenção corretiva) e de todos os rolos guias (manutenção preventiva). Na tabela 4.1 podemos verificar os dados de vida dos rolos.

O custo para injeção de poliuretano no rolo guia é R\$ 1.800,00 mais R\$ 300,00 de usinagem dos canais, porém, ele é reutilizado, removendo os canais antigos e usinando os canais, isso possui um custo de R\$ 300,00. O custo total do rolo guia é de R\$ 2.400,00 para ser utilizado duas vezes, cada vez que o rolo guia é utilizado na máquina foi considerado o custo de R\$ 1.200,00.

Tabela 4.1 – Dados de vida dos rolos.

Dados de falha em horas				
846	945	1075	1178	1198
920	948	1075	1184	1260
923	950	1075	1187	1263
925	953	1075	1191	1267
926	965	1075	1191	1294
929	989	1075	1191	1295
937	1027	1083	1191	1326
937	1033	1085	1191	1395
937	1066	1079	1191	1606
937	1067	1122	1191	1636
937	1069	1176	1191	1638
937	1070	1176	1193	1679
937	1075	1080	1194	
937	1075	1082	1195	

Fonte: O autor (2019).

Os tempos de substituição (manutenabilidade) do rolo guia foram obtidos através da diminuição entre o horário em que a máquina voltou a operar e o horário em que a máquina parou de operar. Os dados existentes não separaram o tempo de atraso logístico do tempo de execução da atividade de substituição do rolo guia. A tabela 4.2 demonstra os tempos de substituição do rolo guia.

Tabela 4.2 – Tempos de substituição do rolo guia.

Tempo de substituição do rolo guia em horas				
2,00	3,13	3,50	4,15	5,66
2,33	3,13	3,50	4,21	5,66
2,53	3,16	3,56	4,21	5,80
2,66	3,20	3,60	4,25	5,33
2,83	3,23	3,63	4,33	5,50
3,00	3,26	3,66	4,66	5,88
3,05	3,41	3,76	5,00	6,33
3,08	3,41	3,96	5,50	6,38
3,08	3,41	4,08	5,58	

Fonte: O autor (2019).

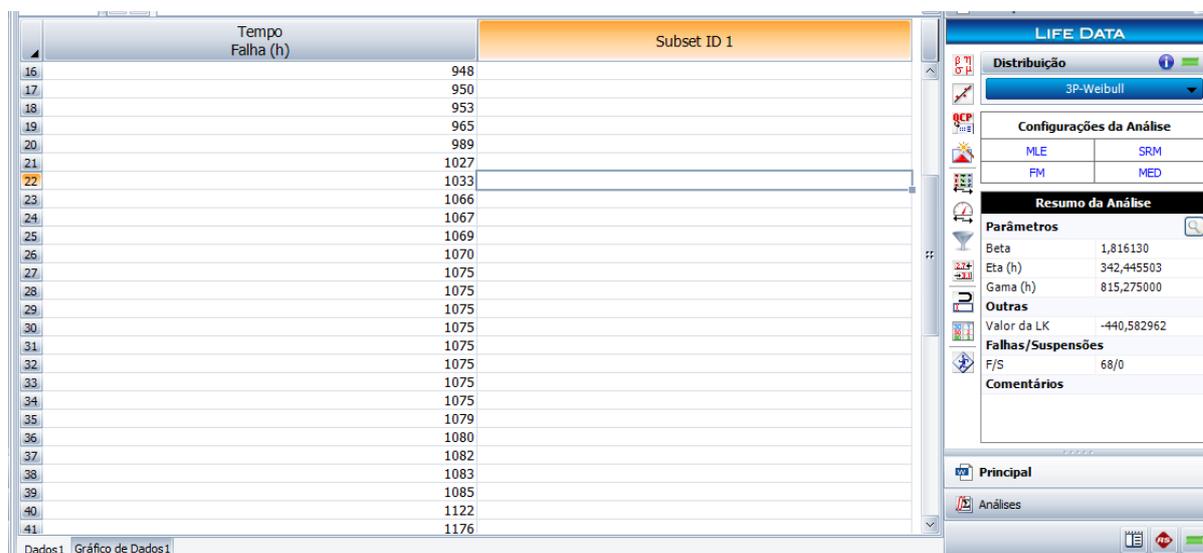
Os tempos que a equipe de execução mecânica levou para substituição (manutenibilidade) de todos os rolos guias são: 13,33 horas, 14 horas, 14,05 horas, 14,5 horas e 14,83 horas.

#### 4.2 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

Os dados de vida dos rolos foram inseridos no programa Weibull++, realizado o teste de aderência e constatado que a Weibull 3 parâmetros é adequado para representar o modelo, com Beta 1,81, Eta de 342,44 e Gama 815,27 conforme figura 4.1.

Com os dados obtidos é possível afirmar que o rolo guia falha por desgaste devido o Beta ser maior que 1 e ele tem confiabilidade de 100% até 815,27 horas, ou seja, é possível implementar um plano substituição preventiva dos rolos guias.

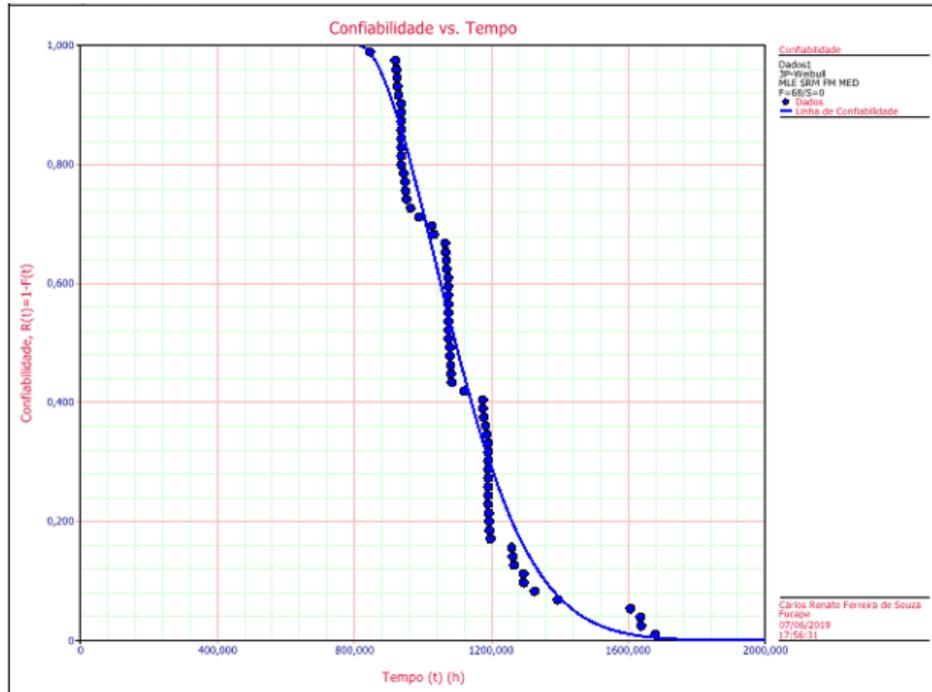
Figura 4.1 – Dados de vida dos rolos



Fonte: O autor (2019).

Na figura 4.2 podemos observar que o equipamento falha por desgaste, pois a confiabilidade reduz com o aumento do tempo, porém a redução da confiabilidade inicia a partir de 815,27 horas.

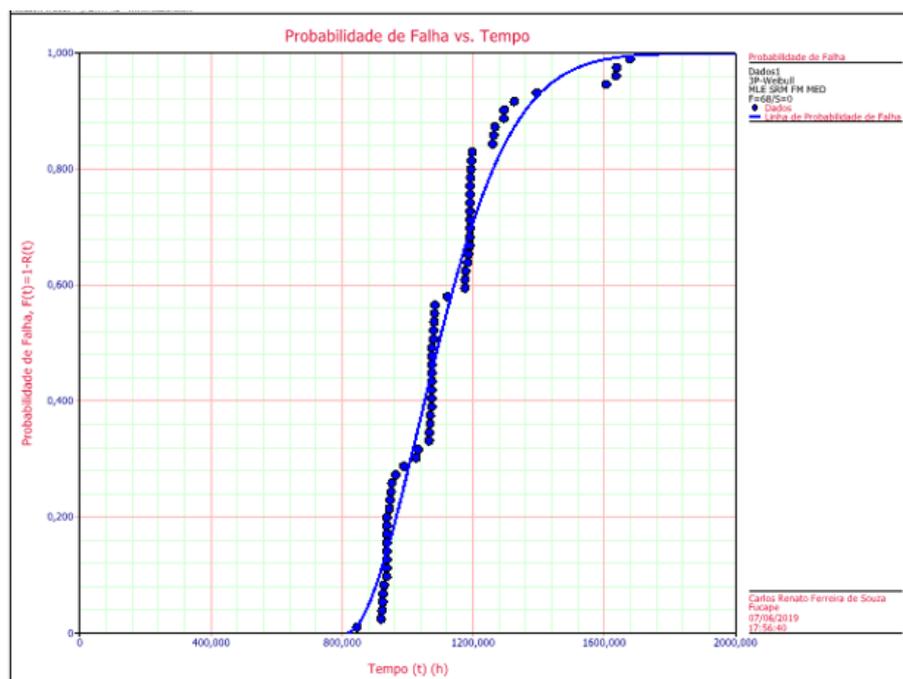
Figura 4.2 – Curva de confiabilidade dos dados de vida



Fonte: O autor (2019).

Na figura 4.3 podemos observar que a probabilidade de falha aumenta com o aumento do tempo, porém esse acréscimo ocorre com tempo superior a 815,27 horas.

Figura 4.3 – Curva de probabilidade de falha dos dados de vida

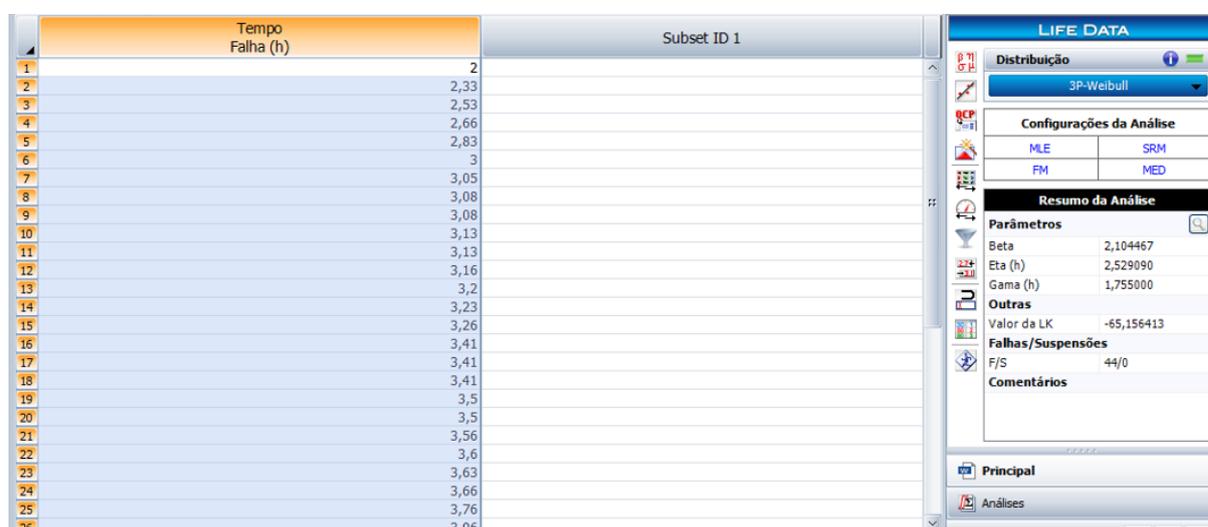


Fonte: O autor (2019).

Os tempos de substituição (manutenabilidade) do rolo guia foram inseridos no programa, realizado o teste de aderência e constatado que a Weibull 3 parâmetros é adequado para representar o modelo de manutenibilidade do rolo guia, com Beta 2,10, Eta de 2,52 e Gama 1,75 conforme figura 4.4

Quando o Beta é maior que um na manutenibilidade significa que a equipe está em fase de aprendizado, isto expressa a realidade, pois houve uma reformulação do efetivo de execução da manutenção, não houve um treinamento adequado da equipe e não existe padronização do trabalho.

Figura 4.4 – Dados de manutenibilidade do rolo guia

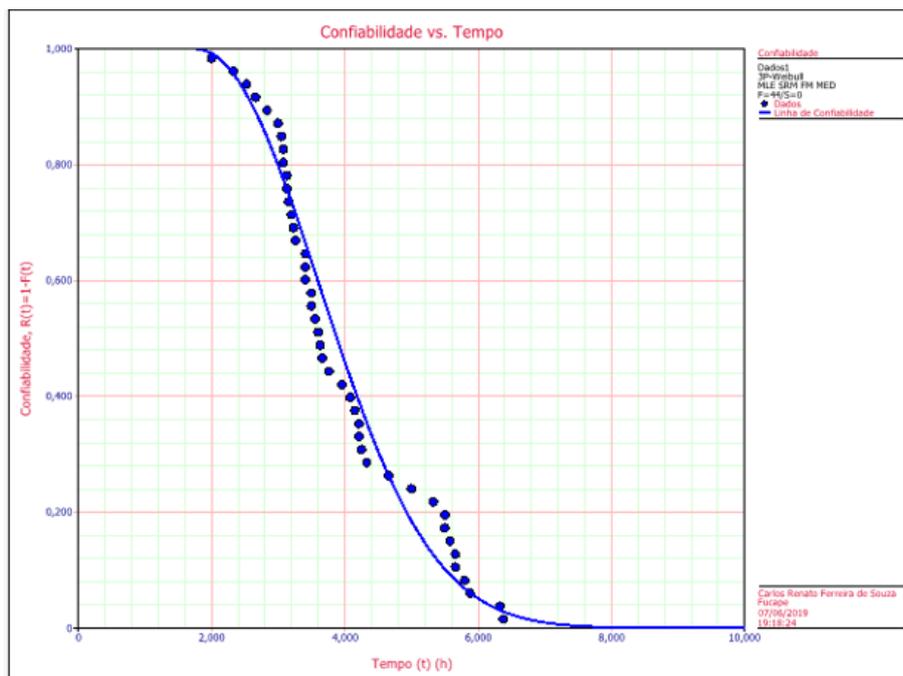


Fonte: O autor (2019).

No programa da Reliasoft os resultados de confiabilidade e probabilidade de falha da manutenibilidade é o contrário dos dados de vida, ou seja, a confiabilidade significa que é a probabilidade de não ocorrer o reparo até um determinado tempo. A probabilidade de falha é a probabilidade do reparo acontecer até um determinado tempo.

Na figura 4.5 demonstra que com o aumento do tempo a probabilidade do reparo não acontecer é reduzido.

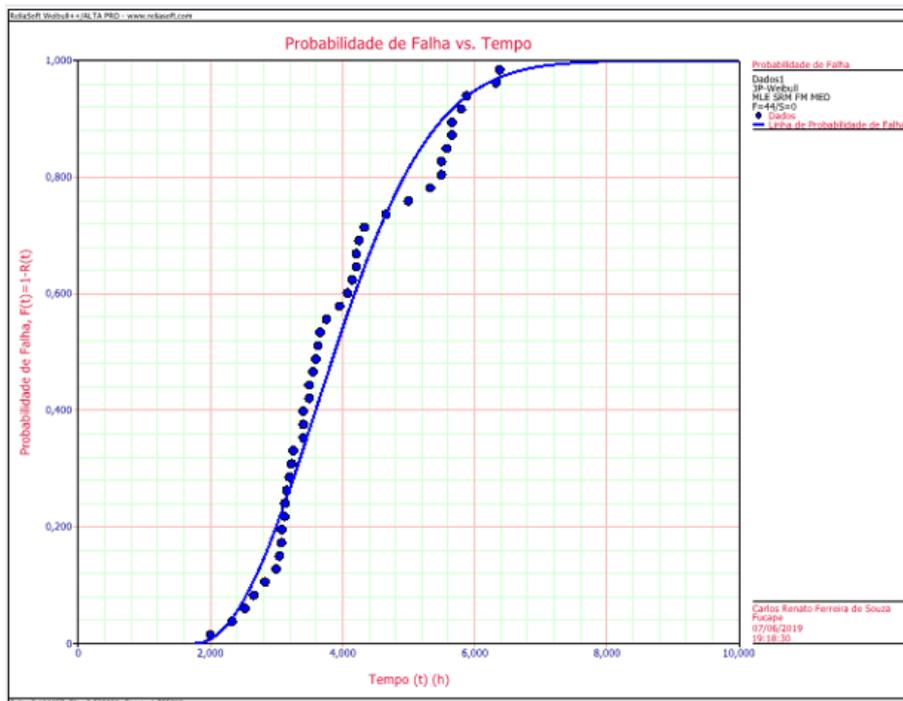
Figura 4.5 – Curva de confiabilidade de manutenibilidade da substituição de um rolo



Fonte: O autor (2019).

Na figura 4.6 ocorre o inverso da figura 4.5, ou seja, a probabilidade do reparo ocorrer a um determinado tempo aumenta com o passar do tempo.

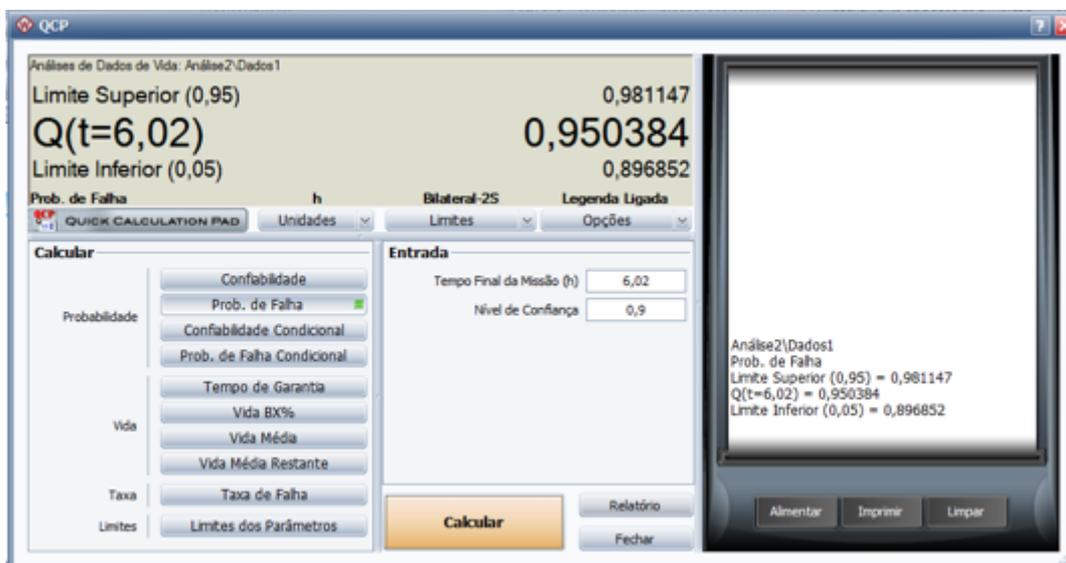
Figura 4.6 – Curva de probabilidade de falha de manutenibilidade da substituição de um rolo



Fonte: O autor (2019).

Existe a probabilidade de 95% da equipe de manutenção executar a substituição corretiva do rolo guia com 6,02 horas conforme figura 4.7.

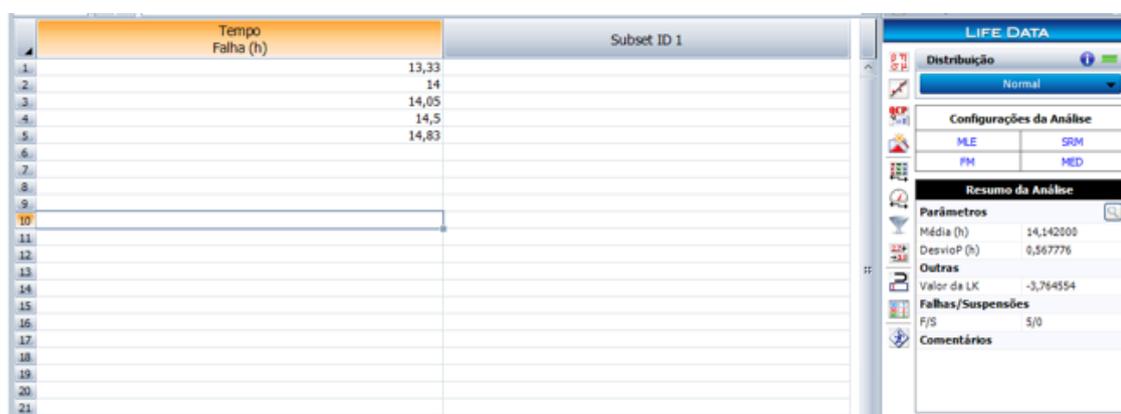
Figura 4.7 – Cálculo da probabilidade em 6,02 horas.



Fonte: O autor (2019).

Os tempos de substituição de todos os rolos guias foram inseridos no programa, realizado teste de aderência e verificado que os dados seguem uma distribuição normal com média de 14,14 horas e desvio padrão de 0,56 horas, conforme figura 4.8.

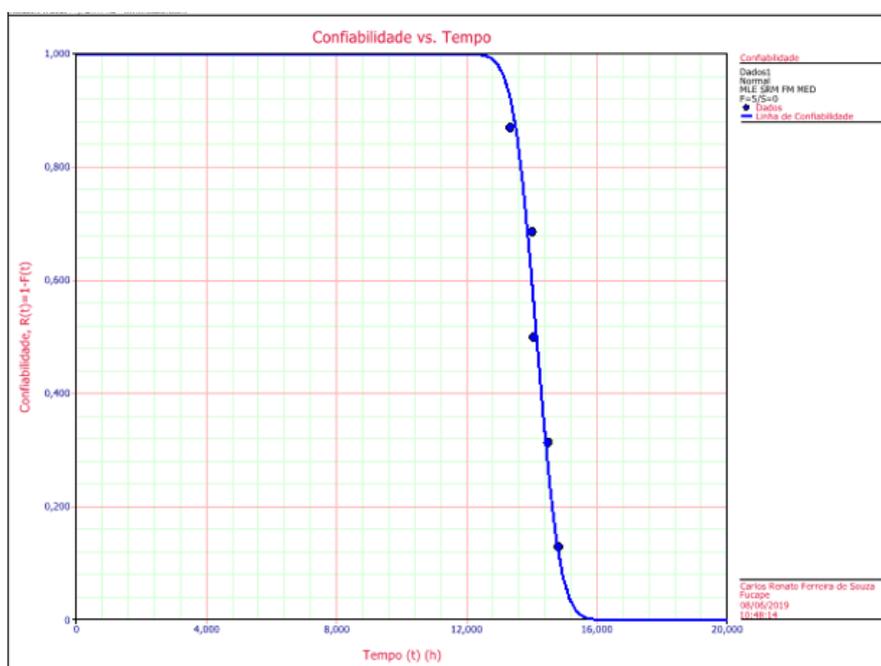
Figura 4.8 – Dados de manutenibilidade de todos os rolos guia



Fonte: O autor (2019).

Na figura 4.9 demonstra que com o aumento do tempo a probabilidade do reparo não acontecer é reduzido.

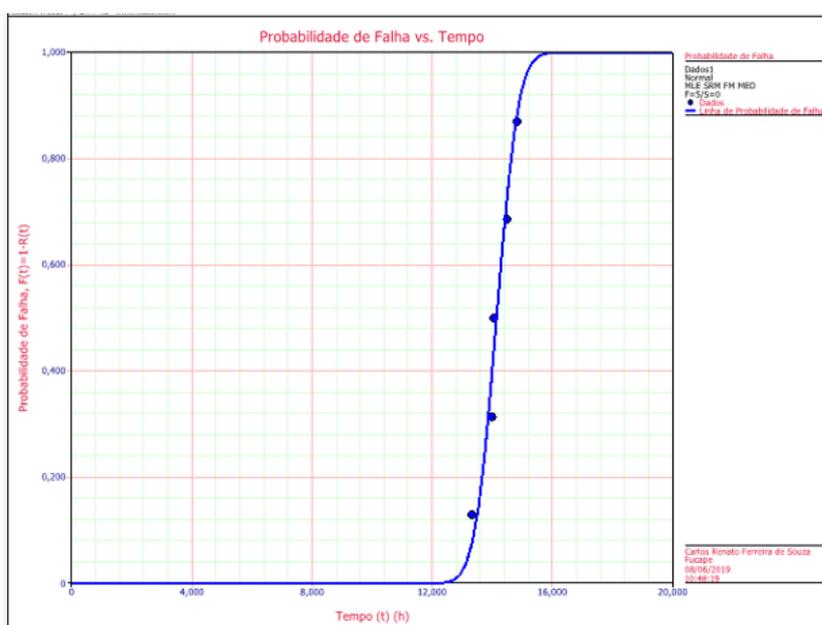
Figura 4.9 – Curva de confiabilidade de manutenibilidade de substituição de todos os rolos guia.



Fonte: O autor (2019).

Na figura 4.10 ocorre o inverso da figura 4.9, ou seja, a probabilidade do reparo ocorrer a um determinado tempo aumenta com o passar do tempo.

Figura 4.10 – Curva de probabilidade de falha de manutenibilidade de substituição de todos os rolos guias.



Fonte: O autor (2019).

A probabilidade da equipe de manutenção executar a substituição preventiva de todos os rolos é de 99,5% com 15,61 horas, conforme figura 4.11.

Figura 4.11 – Cálculo da probabilidade em 15,61 horas.

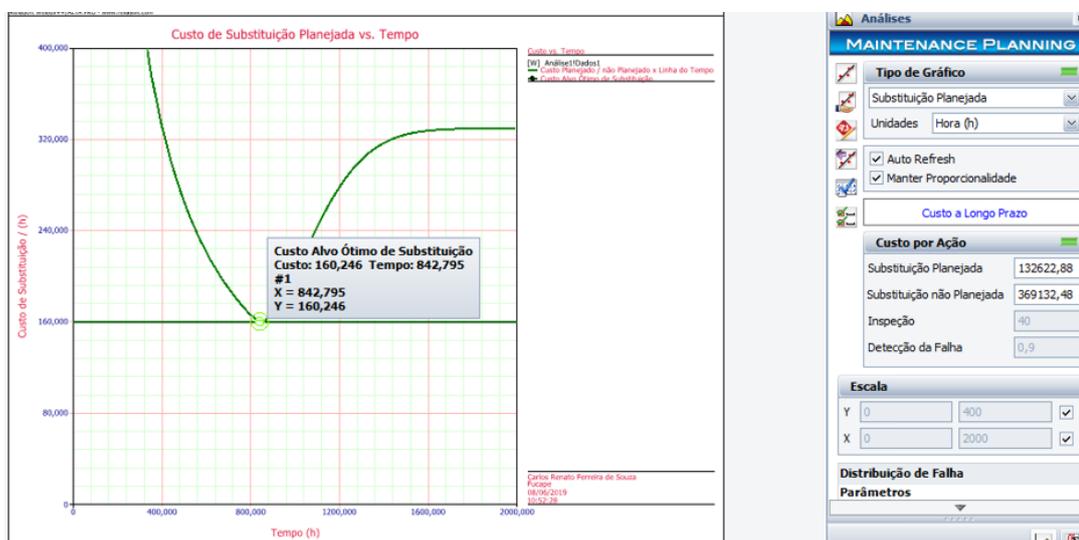


Fonte: O autor (2019).

Através da distribuição Weibull obtida pelos dados de vida do rolo guia, custo de mão de obra, lucro cessante e material foi calculado o custo ótimo de substituição.

Considerou-se que a manutenção corretiva levará 6,02 horas de indisponibilidade por rolo e que a manutenção preventiva levará a 15,61 horas de indisponibilidade para substituir todos os rolos. Em 842,79 horas é o tempo que se deve substituir o rolo guia para alcançar o custo ótimo de substituição, conforme demonstrado na figura 4.12.

Figura 4.12 – Custo ótimo de substituição.



Fonte: O autor (2019).

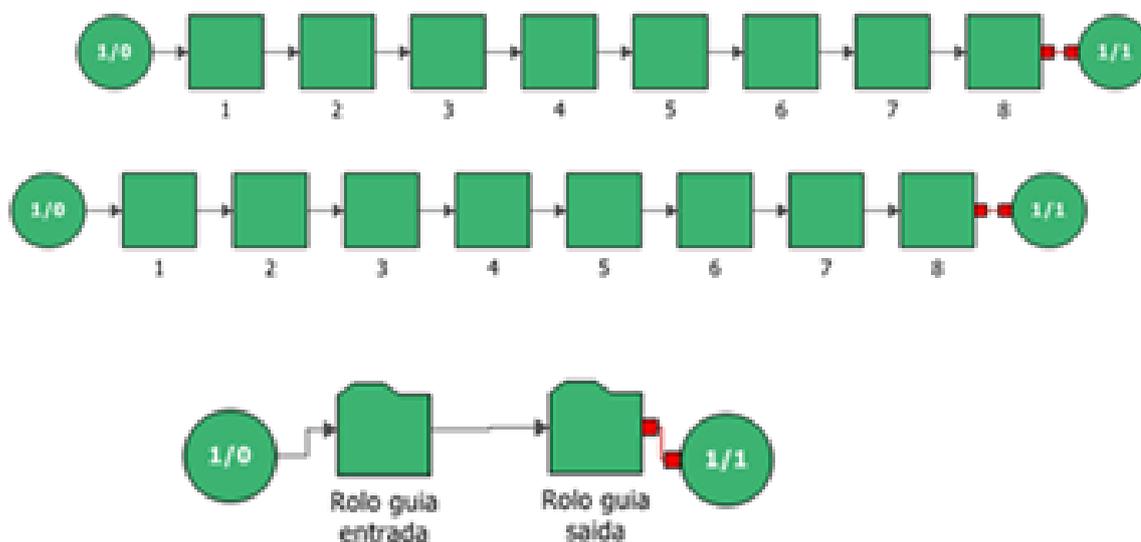
### 4.3 ANÁLISE RAM MANUTENÇÃO CORRETIVA

O diagrama de blocos de confiabilidade foi criado para mensurar a disponibilidade média, custo com material, mão de obra, lucro cessante e custo total para um ano de operação. A média de operação das máquinas nos últimos anos foi de 5000 horas por ano, então considerou-se esse tempo para a análise RAM.

Cada conjunto de rolos guia de entrada e saída, foi representado por um arquivo RBD e os blocos foram dispostos em série, pois se um bloco falhar o sistema falha. Foram inseridos nos blocos a distribuição Weibull 3 parâmetros correspondente ao dado de vida do rolo guia, a distribuição Weibull 3 parâmetros correspondente a manutenibilidade do rolo guia (manutenção corretiva), o custo de mão de obra (HH), lucro cessante e custo com material.

Um novo arquivo foi criado para interligar os dois conjuntos, eles foram dispostos em série, pois se um conjunto falhar a máquina falha. Segue figura 4.13 representando a disposição dos conjuntos de rolos guias através do RBD's.

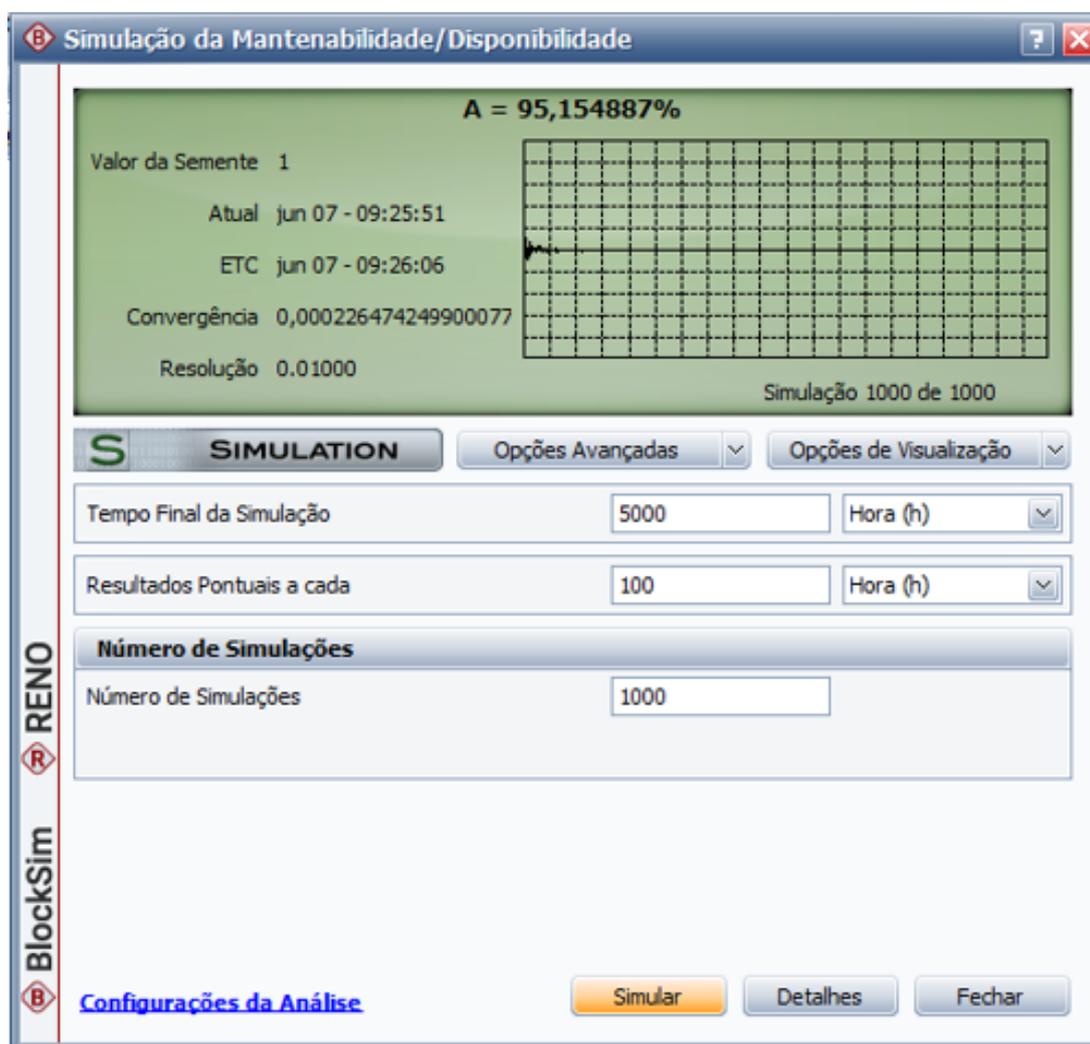
Figura 4.13 – RBD do conjunto de rolo guia de entrada e saída, e a máquina com os dois conjuntos.



Fonte: O autor (2019).

Foi executado a simulação e obtido uma disponibilidade média de 95,15%, ou seja, a máquina estará funcionando em 95,15% do tempo e estará indisponível por falha no rolo guia por 4,85% do tempo, conforme figura 4.14.

Figura 4.14 – Simulação substituição de um rolo por vez (manutenção corretiva).



Fonte: O autor (2019).

Através da simulação é gerado um relatório (tabela 4.3) com informações importantes como: disponibilidade, MTBF, quantidade de manutenções e custo.

Na simulação aponta que irá ocorrer 60 manutenções corretivas gerando um custo total de R\$ 1.833.248,44, tempo de indisponibilidade de 242,25 horas e MTBF de 82,18 horas.

Tabela 4.3 – Relatório da simulação manutenção corretiva

<b>Visão Geral do Sistema</b>	
<b>Geral</b>	
Disponibilidade Média (Todos Eventos):	0,951549
Desvio Padrão (Disponibilidade Média):	0,002057
Disponibilidade Média (sem MP, OC e Inspeção):	0,951549
Disponibilidade Pontual (Todos Eventos) em 5000 h:	0,958
Confiabilidade em 5000 h:	0
Tempo Disponível (h):	4757,74435
Tempo Indisponível Total (h):	242,25565
<b>Unidades</b>	
<b>Resumo das Métricas</b>	
TMAPF (h):	880,64828
MTBF (Tempo Total) (h):	82,181424
MTBF (Tempo de Funcionamento) (h):	78,199641
MTBE (Tempo Total) (h):	82,181424
MTBE (Tempo de Funcionamento) (h):	78,199641
MTTM (h):	3,981783
MTTR (h):	3,981783
<b>Resumo do Tempo de Inatividade</b>	
Espera o Tempo de Inatividade (h):	0
Tempo Indisponível Crítico (h):	-
<b>Resumo da Contagem do Evento</b>	
<b>Falhas do Sistema</b>	
Quantidade Esperada de Falhas:	60,841
Desvio Padrão (Quantidade de Falhas):	1,595702
<b>Ações de MC</b>	
Quantidade de MCs:	60,841
Tempo Indisponível da MC (h):	242,25565
<b>Inspeções</b>	
Quantidade de Inspeções:	0
Tempo Indisponível da Inspeção (h):	0
<b>Ações de MP</b>	
Quantidade de MPs:	0
Tempo Indisponível MP (h):	0
<b>Ações de OC</b>	
Quantidade de OCs:	0
Tempo Indisponível da OC (h):	0
<b>Gatilhos de Mudança de Estado</b>	
Quantidade de Eventos OFF por Gatilho:	0
<b>Total</b>	
Total de Eventos:	60,841
<b>Resumo de Custo</b>	
<b>Custos de Oportunidade</b>	
Custos da OnCondition (Total):	R\$ 0,00
<b>Custo Total</b>	
Custo Total do Sistema:	R\$ 1.833.248,44
<b>Receita</b>	
Receita Total:	R\$ 0,00

Fonte: O autor (2019).

Na tabela 4.4 podemos observar que 95,63% do custo está relacionado ao lucro cessante e o custo de material representa 0,039%.

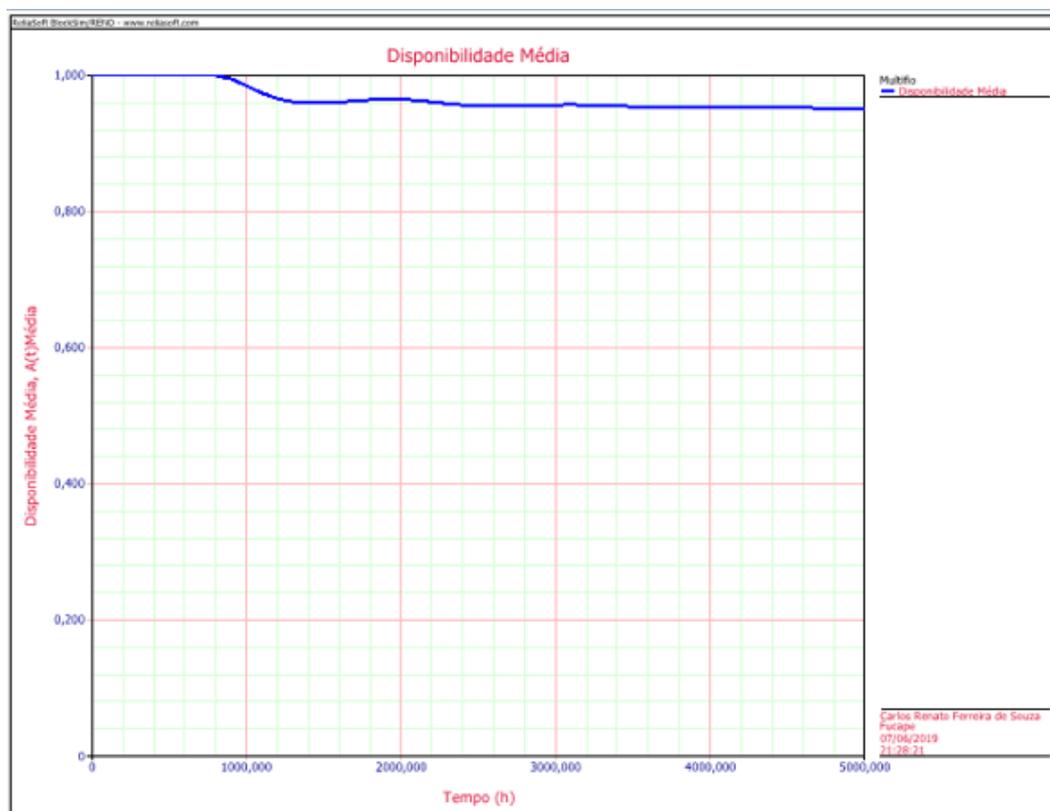
Tabela 4.4 – Relatório financeiro da simulação manutenção corretiva.

Resumo dos Custos do Sistema	
<b>Corretiva</b>	
Custos Diversos de Corretivas:	R\$ 1.753.303,46
Custo das Peças (MC):	R\$ 73.009,20
Custo das Equipes (MC):	R\$ 6.935,78
Custo Total da MC:	R\$ 1.833.248,44
<b>Preventiva</b>	
Custos Diversos de Preventivas:	R\$ 0,00
Custo das Peças (MP):	R\$ 0,00
Custo das Equipes (MP):	R\$ 0,00
Custo Total MP:	R\$ 0,00

Fonte: O autor (2019).

Podemos verificar que na figura 4.15, a disponibilidade média é 100% até a primeira falha que na simulação acontece com 880,64 horas. A disponibilidade média total é 95,15%.

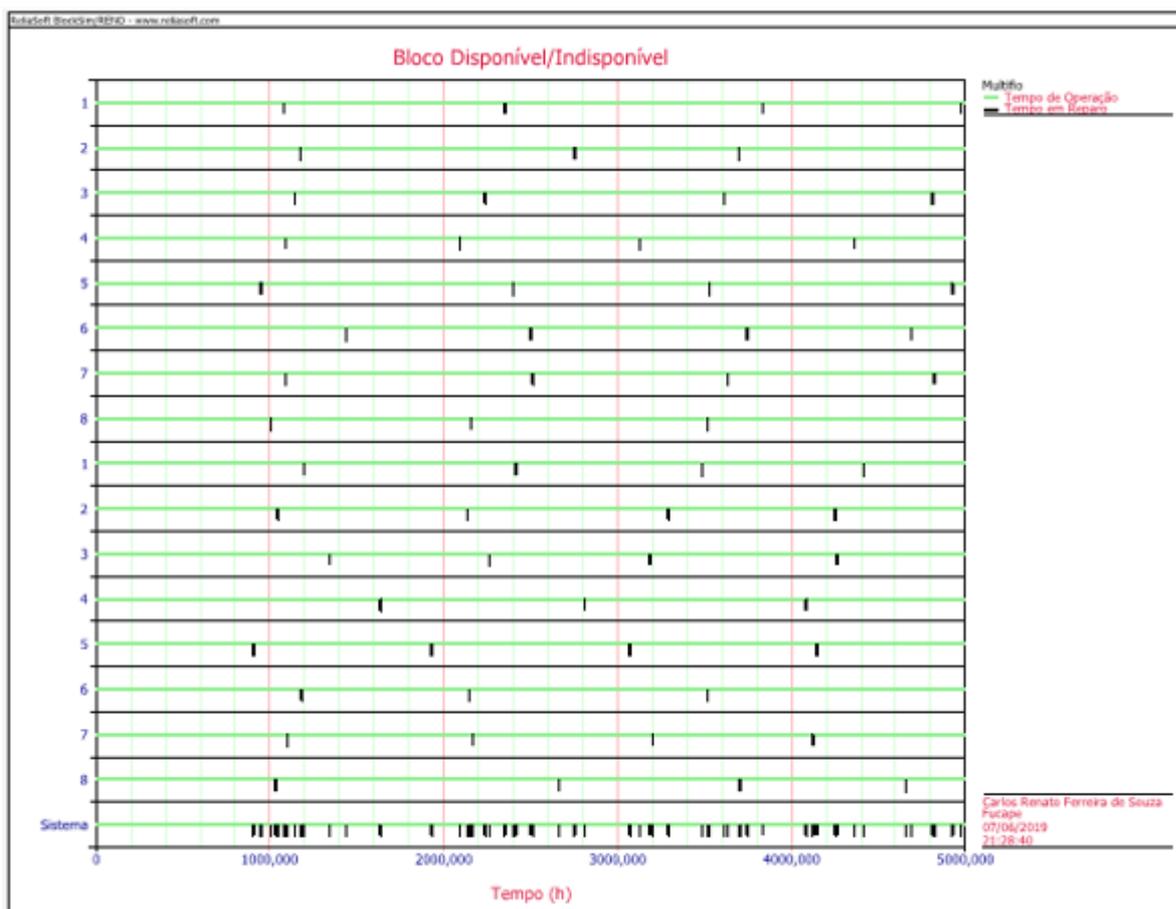
Figura 4.15 – Disponibilidade média manutenção corretiva



Fonte: O autor (2019).

Na figura 4.16 demonstra as 60 falhas que irão ocasionar manutenção corretiva no sistema e especifica o momento da falha para cada rolo.

Figura 4.16 – Bloco disponível/Indisponível manutenção corretiva.



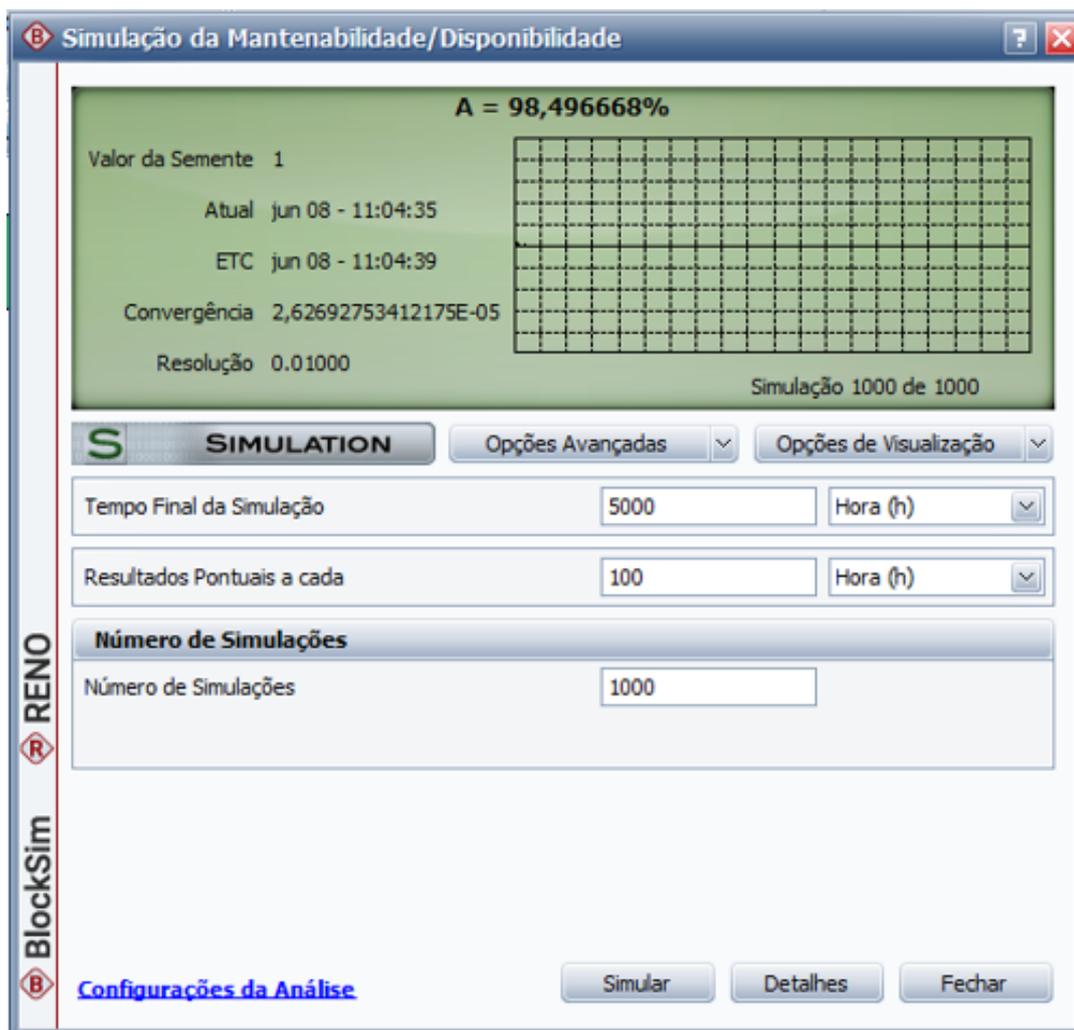
Fonte: O autor (2019).

#### 4.4 ANÁLISE RAM MANUTENÇÃO PREVENTIVA

O procedimento realizado na análise RAM manutenção corretiva foi repetido na análise RAM manutenção preventiva, porém foi inserido uma manutenção planejada a 842,79 horas, o tempo de reparo considerado de acordo com a distribuição normal de manutenabilidade de substituição de todos os rolos guias.

A simulação executada apontou uma disponibilidade média de 98,49%, ou seja, a máquina estará funcionando em 98,49% do tempo e estará indisponível por manutenção ou falha no rolo guia por 1,51% do tempo, conforme figura 4.17.

Figura 4.17 – Simulação substituição de todos os rolos (manutenção preventiva).



Fonte: O autor (2019).

Na simulação aponta que irão ocorrer 5 manutenções preventiva gerando um custo total de R\$ 642.104,71 e tempo de indisponibilidade de 75,16 horas, conforme tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Relatório da simulação manutenção preventiva

<b>Visão Geral do Sistema</b>	
<b>Geral</b>	
Disponibilidade Média (Todos Eventos):	0,984967
Desvio Padrão (Disponibilidade Média):	0,000315
Disponibilidade Média (sem MP, OC e Inspeção):	0,999873
Disponibilidade Pontual (Todos Eventos) em 5000 h:	1
Confiabilidade em 5000 h:	0,844
Tempo Disponível (h):	4924,833388
Tempo Indisponível Total (h):	75,166612
<b>Unidades</b>	
<b>Resumo das Métricas</b>	
TMAPF (h):	28810,35266
MTBF (Tempo Total) (h):	29761,90476
MTBF (Tempo de Funcionamento) (h):	29314,48445
MTBE (Tempo Total) (h):	967,49226
MTBE (Tempo de Funcionamento) (h):	952,947637
MTTM (h):	14,544623
MTTR (h):	3,774187
<b>Resumo do Tempo de Inatividade</b>	
Espera o Tempo de Inatividade (h):	0
Tempo Indisponível Crítico (h):	-
<b>Resumo da Contagem do Evento</b>	
<b>Falhas do Sistema</b>	
Quantidade Esperada de Falhas:	0,168
Desvio Padrão (Quantidade de Falhas):	0,404895
<b>Ações de MC</b>	
Quantidade de MCs:	0,168
Tempo Indisponível da MC (h):	0,634063
<b>Inspeções</b>	
Quantidade de Inspeções:	0
Tempo Indisponível da Inspeção (h):	0
<b>Ações de MP</b>	
Quantidade de MPs:	5
Tempo Indisponível MP (h):	74,532549
<b>Ações de OC</b>	
Quantidade de OCs:	0
Tempo Indisponível da OC (h):	0
<b>Gatilhos de Mudança de Estado</b>	
Quantidade de Eventos OFF por Gatilho:	0
<b>Total</b>	
Total de Eventos:	5,168
<b>Resumo de Custo</b>	
<b>Custos de Oportunidade</b>	
Custos da OnCondition (Total):	R\$ 0,00
<b>Custo Total</b>	
Custo Total do Sistema:	R\$ 642.104,71
<b>Receita</b>	
Receita Total:	R\$ 0,00

Fonte: O autor (2019).

Na tabela 4.6 podemos observar que 84,72% do custo está relacionado ao lucro cessante e o custo de material representa 14,96%.

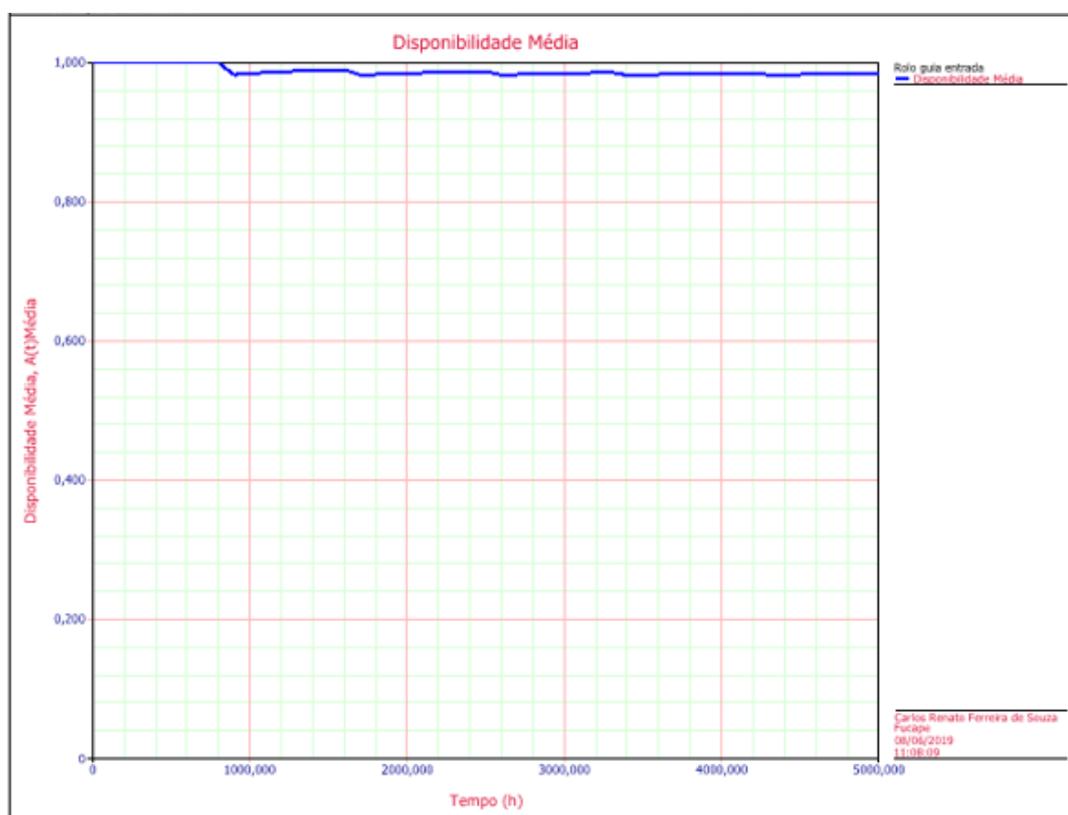
Tabela 4.6 – Relatório financeiro da simulação manutenção preventiva.

<b>Resumo dos Custos do Sistema</b>	
<b>Corretiva</b>	
Custos Diversos de Corretivas:	R\$ 4.588,98
Custo das Peças (MC):	R\$ 201,60
Custo das Equipes (MC):	R\$ 18,15
Custo Total da MC:	R\$ 4.808,73
<b>Preventiva</b>	
Custos Diversos de Preventivas:	R\$ 539.422,62
Custo das Peças (MP):	R\$ 95.851,20
Custo das Equipes (MP):	R\$ 2.022,16
Custo Total MP:	R\$ 637.295,98

Fonte: O autor (2019).

Pode-se verificar que na figura 4.18, a disponibilidade média é 100% até a primeira manutenção preventiva. A disponibilidade média total é 98,49%.

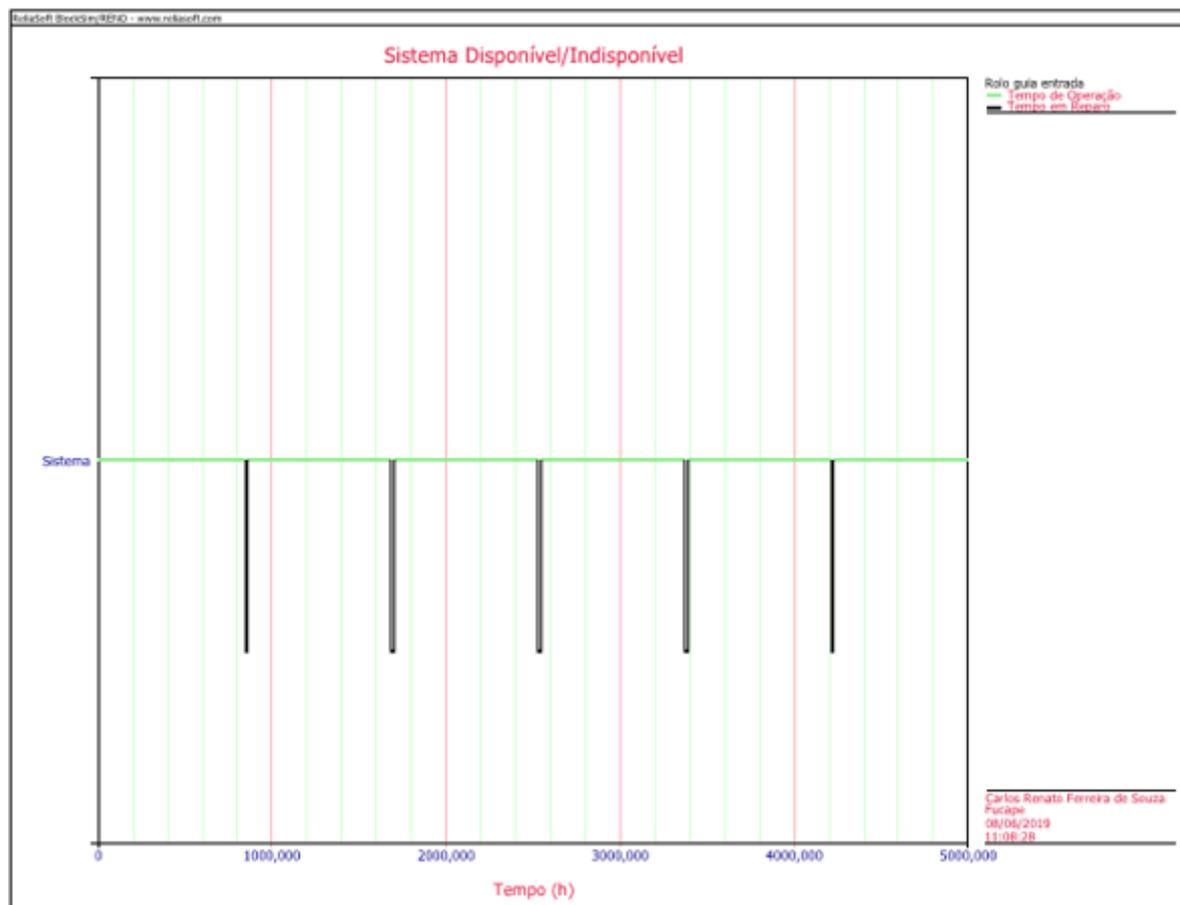
Figura 4.18 – Disponibilidade média manutenção preventiva



Fonte: O autor (2019).

Na figura 4.19 demonstra as 5 paradas do sistema, todas elas referente as execuções de manutenções preventivas.

Figura 4.19 – Bloco disponível/Indisponível manutenção preventiva.



Fonte: O autor (2019).

Como era esperado o custo com material na manutenção preventiva é superior ao da manutenção corretiva em torno de 22 mil reais, porém o custo de mão de obra na manutenção preventiva é aproximadamente 1/3 da manutenção corretiva, ou seja, é possível alocar a mão de obra em mais atividades aumentando assim a eficiência da manutenção.

#### 4.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentado o desenvolvimento do trabalho com análise dos dados de vida e manutenibilidade, custo ótimo de substituição e simulação através de análise RAM.

Com as análises realizadas foi possível identificar que o modo de falha de desgaste no rolo guia está na fase senil da curva da banheira, ou seja, é possível criar uma estratégia de manutenção preventiva nesse tipo de modo de falha. As análises de manutenibilidade forneceu informações importantes que podem ser usadas para melhorar a manutenção.

As simulações forneceram informações importantes de qual é a estratégia de manutenção mais adequada para o modo de desgaste no rolo guia.

Com base nas informações desse capítulo é possível concluir qual a melhor estratégia de manutenção, qual a disponibilidade média, identificar pontos de melhorias em relação a manutenibilidade, mensurar os custos e criar orçamentos com base nele.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo geral do trabalho foi definir qual a melhor estratégia de manutenção foi atingida. Nos estudos de confiabilidade e custos comprovou que a melhor estratégia de manutenção para o modo de falha de desgaste nos rolos guias é a substituição preventiva de todos os conjuntos de rolos. Essa substituição deve ser feita com 842,79 horas, pois nesse tempo foi alcançado o custo ótimo de substituição.

Com a substituição preventiva de todos os conjuntos de rolos a disponibilidade é 3,35% maior do que a manutenção corretiva. Com a adesão da manutenção preventiva é possível reduzir os custos em R\$1.195.952,51 em comparação com a manutenção corretiva, essa redução se deve principalmente a redução do lucro cessante em caso de manutenção preventiva, pois o custo com material é um pouco superior na manutenção preventiva.

Os resultados demonstram claramente as percepções dos profissionais envolvidos na manutenção, pois a equipe de execução acreditava que com a manutenção preventiva o custo com material sofreria um aumento e a equipe gerencial acreditava que com a manutenção preventiva traria ganhos relativos a aumento da disponibilidade e diminuição do lucro cessante. Os estudos demonstraram que ambos estavam corretos, porém, os benefícios da manutenção preventiva são maiores do que a corretiva.

Esses resultados vão de encontro ao objetivo da empresa que é aumentar a disponibilidade e reduzir os custos, aumentando assim sua eficiência e se tornando cada vez mais competitiva no mercado.

### 5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

A maior dificuldade encontrada foi a coleta de dados, pois se encontravam em uma planilha de EXCEL, porém, nela não estava demonstrando os horímetros das manutenções, então foi necessário olhar manualmente folha por folha afim de obter os horímetros das manutenções. Para eliminarmos esse problema foi inserido na planilha uma coluna para lançamento do horímetro.

Outro problema é a falta de apontamento ou apontamentos incorretos, devido alguns rolos ter uma vida útil acima de cinco mil horas. Alguns dados como esse foram descartados, pois o conhecimento da máquina e a experiência dos fornecedores em outras empresas concluíram que isso é impossível.

Para tentar solucionar esse problema foi realizado um treinamento com a equipe de execução da manutenção demonstrando a importância do apontamento para melhoria contínua do processo de manutenção.

## 5.2 PROPOSIÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Esse trabalho proporcionou a análise de confiabilidade de um modo de falha do rolo guia. Os resultados atingidos podem ser utilizados como fonte para estudos futuros, como sugestões segue os seguintes temas:

- Análise de confiabilidade do rolo guia como um todo, porém, é necessário melhorar os apontamentos dos dados relacionados a falha dos rolamentos.
- Análise de confiabilidade de toda a máquina afim de identificar se a meta de disponibilidade pode ser atingida e se as estratégias de manutenção adotadas são ou não as melhores para cada componente.
- Existe rolos que estão durando quase o dobro do tempo então é necessário aumentar o controle de qualidade do poliuretano injetado no rolo guia. Realizar medição de dureza no recebimento do rolo guia do fornecedor. Essa medição identificaria se rolos fornecidos estão com dureza abaixo do especificado causando a redução de vida útil. Realizar um estudo para verificar se com esse controle a vida útil do rolo vai ser maior.
- Pelo estudo foi identificado que a maior parte do desgaste do rolo está relacionado a parte lateral do canal. Uma alternativa é reduzir a largura do canal em 10% a 15%, proporcionando aumento da espessura da parede do rolo e se com essa ação proporcionaria aumento da vida útil.
- Treinar a equipe diminuindo o MTTR e gerar uma instrução técnica de trabalho, colher novos dados e verificar se com essas medidas irão aumentar a disponibilidade da máquina.

## 6 REFERÊNCIAS

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

BARROS, A. J. S. e LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia: Um Guia para a Iniciação Científica**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

BARROS FILHO, A. **Utilização de Ferramentas de Confiabilidade em um Ambiente de Manufatura de Classe Mundial**. 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. São Luis, 2003.

BELIZÁRIO, A. C. **Avaliação da Confiabilidade do Motor Diesel com a Adição de Sistemas de Injeção de Gás na Câmara de Combustão**. 2012. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

BERGAMO FILHO, V. **Confiabilidade Básica e Prática**. São Paulo: Edgard Blucher, 1997.

BRANCO FILHO, G. **Indicadores e Índices de Manutenção**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ciência moderna, 2016.

BRANCO FILHO, G. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência moderna, 2008.

CORRÊA, R. F. **Otimização de Periodicidade nos Planos de Manutenção Preventiva: Uma Modelagem Matemática**. 2015. 203 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

DARELLA, G. G. **Estratégia Baseada em Engenharia de Confiabilidade para Gestão da Manutenção de Linhas de Produção de Eletrodomésticos**. 2016. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

DAVIS, M. M, AQUILANO, N. J., CHASE, R. B.ml. **Fundamentos da Administração da Produção**. 3. ed. Bookman, reip. 2008.

DUEK, C. **Análise de Confiabilidade na Manutenção de Componente Mecânico de Aviação**. 2005. 119 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

FELIX, É. P. **Análise de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos Complexos baseada em Ensaio Acelerados de Vida**. 2006. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

FIRMINO, P.R.A.; *et al.* Diagramas espirais, método auxiliar para a resolução ótima de árvores de falhas. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXIV, Florianópolis, 2004. Anais. Porto Alegre: ABEPRO, 2004, 1 CD-ROM.

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

LAFRAIA, J. R. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LEITCH, R. **Reliability Analysis for Engineering**. New York: Oxford Press, 1995.

LEMES, D. V. **Proposta de Método de Análise de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos Empregando Dados de Retorno em Garantia**. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

MARTINS, J. C. **O Papel da Engenharia na Gestão de Ativos de uma Unidade Industrial**. 2015. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Manutenção, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2015.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Julio de Aquino Nascif, **Manutenção Função Estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2015.

RELIASOFT. Reliawiki, 2019 (a). ReliaSoft's Life Data Analysis Reference. Disponível em: [http://www.reliawiki.com/index.php/Life\\_Data\\_Analysis\\_Reference\\_Book](http://www.reliawiki.com/index.php/Life_Data_Analysis_Reference_Book), Acesso em: 15 de jun. de 2019.

RELIASOFT. Reliawiki, 2019 (b). ReliaSoft's System Analysis Reference. Disponível em: [http://www.reliawiki.com/index.php/System\\_Analysis\\_Reference](http://www.reliawiki.com/index.php/System_Analysis_Reference), Acesso em: 17 de jun. de 2019.

SOUZA, G. F. Análise de Confiabilidade em Projetos Mecânicos. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Apostila. São Paulo, 2012.

TEIXEIRA, B. S. **Análise de Disponibilidade em Máquinas Operatrizes: Uma Aplicação a Máquinas Têxteis**. 2008. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

VALK, R. G. **Proposta para Implementação de Manutenção Centrada na Confiabilidade em Sistemas Operacionais Elétricos de Instalação Predial Petrolífera**. 2016. 103 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

VISSOCI JUNIOR, R. L. **Confiabilidade em Equipamentos Rotativos Baseado em Monitoramento de Condição: Aumento da Confiabilidade de Equipamentos Rotativos em Empresas de Papel e Celulose**. 2016. 91 f. Trabalho de Conclusão de

Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.