

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

**GUSTAVO FERREIRA VIANA**

**DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DA DISPONIBILIDADE PARA UM  
SISTEMA DE AUTOMAÇÃO**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2019**

**GUSTAVO FERREIRA VIANA**

**DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DA DISPONIBILIDADE PARA UM SISTEMA  
DE AUTOMAÇÃO**

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. Wanderson Stael Paris, MSc.

**CURITIBA**

**2019**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Curitiba  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica  
Especialização em Engenharia da Confiabilidade



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DA DISPONIBILIDADE PARA UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO**

por

**GUSTAVO FERREIRA VIANA**

Esta monografia foi apresentada em 04 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. Wanderson Stael Paris, Msc.  
Professor Orientador - UTFPR

---

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

---

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

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedico este trabalho à minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que me auxiliaram durante toda a execução deste trabalho. Em especial agradeço à minha família, aos colegas da Gerência de Automação de Processos da ArcelorMittal Tubarão, ao Prof. Orientador e aos colegas de sala.

## RESUMO

VIANA, Gustavo F. Determinação quantitativa da disponibilidade para um sistema de automação, 2019. 64 páginas. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O efetivo controle e fomento de melhorias na confiabilidade, disponibilidade e utilização dos sistemas de automação representa um diferencial vantajoso para as empresas, pois está intrinsecamente ligado à redução custos e/ou qualidade final do produto e/ou volume de produção. Este trabalho verifica quantitativamente, baseada em análise de dados históricos, a disponibilidade de sistemas de automação de nível 2 da ArcelorMittal Tubarão. A metodologia utilizada é baseada nos elementos de Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade - *Reliability, Availability, Maintainability* (RAM).

**Palavras-chave:** Disponibilidade. Manutenibilidade. Automação. Falha.

## **ABSTRACT**

VIANA, Gustavo F. Quantitative determination of availability for an automation system. 2019. 64 pages. Monography (Reliability Engineering Specialization) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2019

The effective control and promotion of improvements in the reliability, availability and use of automation systems represents an advantage for companies, since it is intrinsically linked to the reduction of costs and / or final quality of the product and / or volume of production. This work quantitatively checks, based on historical data analysis, the availability of ArcelorMittal Tubarão Level 2 automation systems. The methodology used is based on the elements of Reliability, Availability and Maintainability (RAM).

**Key-words:** Availability. Maintainability. Automation. Fail.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1– Produção total de Aço Bruto em 2017.....                                   | 14 |
| Figura 2– Produção total de Aço Bruto no Brasil (milhares de toneladas) por ano. ... | 15 |
| Figura 3– Produção total de aço Bruto (milhares de toneladas) por ano.....           | 15 |
| Figura 4– Evolução da Indústria.....   | 17 |
| Figura 5– Pirâmide hierárquica de Automação .....                                    | 22 |
| Figura 6– Processo Produtivo ArcelorMittal Tubarão .....                             | 24 |
| Figura 7– Pirâmide da Automação e foco de atuação na ArcelorMittal Tubarão.....      | 24 |
| Figura 8– Sistema de Ocorrência da Automação Nível 2 na ArcelorMittal Tubarão..      | 26 |
| Figura 9– Exemplos de distribuições contínuas .....                                  | 32 |
| Figura 10– Distribuição Weibull.....   | 32 |
| Figura 11 – Curva da banheira e ciclo de vida de equipamentos.....                   | 33 |
| Figura 12– Distribuição Exponencial .....  | 33 |
| Figura 13– Distribuição Lognormal.....   | 34 |
| Figura 14– Distribuição Lognormal.....   | 34 |
| Figura 15– Arranjo Simples .....   | 37 |
| Figura 16– Arranjo Paralelo.....   | 38 |
| Figura 17 – Pareto - Ocorrências dos sistemas de Automação .....                     | 39 |
| Figura 18 – Teste de Aderência dados de vida .....                                   | 43 |
| Figura 19 – Dados de Vida - Modo de falha 01 .....                                   | 43 |
| Figura 20 – Distribuição de Reparo - Modo de falha 01 .....                          | 44 |
| Figura 21 – Distribuição de Reparo - Modo de falha 01 .....                          | 44 |
| Figura 22 – Distribuição de Reparo - Modo de falha 01 .....                          | 45 |
| Figura 23 – Disponibilidade média e pontual da simulação do sistema .....            | 47 |
| Figura 24 – Resultado da simulação por bloco (modo de falha) .....                   | 47 |



## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Modos de Falha dos Sistemas de Automação de Nível 2 .....                 | 40 |
| Tabela 2 – Agrupamento dos Modos de Falha dos Sistemas de Automação de Nível 2 ..... | 41 |
| Tabela 3 – Resultado da simulação do RDB.....  | 46 |

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

### LISTA DE ABREVIATURAS

ES Espírito Santo

### LISTA DE SIGLAS

3D Três Dimensões  
CLP Controlador Lógico Programável  
CPS Sistemas Cibernético-físico  
IoT Internet das Coisas  
RAM Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade - *Reliability Availability, Maintainability*  
KPI *Key Performance Indicator* - Indicador-Chave de Desempenho  
SDCD Sistema Digital de Controle Distribuído  
SISOCORR Sistema de controle de ocorrências  
TI Tecnologia da Informação

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>14</b> |
| 1.1      | ASPECTOS GERAIS .....   | 14        |
| 1.2      | ASPECTOS ESPECÍFICOS.....   | 16        |
| 1.3      | OBJETIVOS .....   | 18        |
| 1.3.1    | OBJETIVO GERAL.....   | 18        |
| 1.3.2    | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 18        |
| 1.4      | JUSTIFICATIVA .....   | 19        |
| 1.5      | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....  | 19        |
| 1.6      | ESTRUTURA DO TRABALHO .....   | 20        |
| <b>2</b> | <b>AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS NA ARCELORMITTAL TUBARÃO</b>                      | <b>21</b> |
| 2.1      | INTRODUÇÃO .....  | 21        |
| 2.2      | UNIDADE DE TUBARÃO DA ARCELORMITTAL .....                                   | 22        |
| 2.3      | OCORRÊNCIAS NOS SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO .....                                 | 25        |
| 2.4      | SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....                                       | 27        |
| <b>3</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>   | <b>28</b> |
| 3.1      | INTRODUÇÃO .....  | 28        |
| 3.2      | CONCEITOS GERAIS.....   | 28        |
| 3.2.1    | CONCEITO DE DEFEITO, FALHA PANE E ERRO .....                                | 28        |
| 3.2.2    | CONCEITO DE CONFIABILIDADE, DISPONIBILIDADE E<br>MANTENABILIDADE.....       | 29        |
| 3.3      | PARÂMETROS DA CONFIABILIDADE .....  | 30        |
| 3.3.1    | Tipos de Amostras.....  | 30        |
| 3.3.2    | Tipos de Dados .....  | 31        |
| 3.3.3    | Distribuição Estatística e seus Parâmetros .....                            | 31        |
| 3.3.4    | Métodos para estimativa dos parâmetros das Distribuições Estatísticas<br>34 |           |
| 3.3.4.1  | Método Regressão Linear .....   | 35        |
| 3.3.4.2  | Método da Máxima Verossimilhança.....                                       | 35        |
| 3.3.5    | Precisão .....  | 36        |
| 3.3.6    | Comparação e a Seleção da Distribuição Estatística Final .....              | 36        |
| 3.4      | DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE .....                                  | 36        |
| 3.5      | SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....                                       | 38        |
| <b>4</b> | <b>DESENVOLVIMENTO .....</b>  | <b>39</b> |
| 4.1      | DEFINIÇÃO DO ESCOPO .....   | 39        |
| 4.2      | MODELAGEM DO SISTEMA .....  | 40        |
| 4.3      | COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS.....  | 41        |
| 4.4      | MODELAGEM DOS DADOS.....  | 42        |
| 4.5      | DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE .....                                  | 44        |
| 4.6      | ANÁLISE DOS RESULTADOS .....  | 45        |
| 4.7      | SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....                                       | 48        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>  | <b>49</b> |
| 5.1      | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....                                       | 50        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>51</b> |
| <b>APÊNDICE A - Perguntas de gravidade das ocorrências no SISOCORR.....</b>                      | <b>54</b> |
| <b>APÊNDICE B – Distribuição do LDA dos modos de falha e dados de<br/>Manutenabilidade .....</b> | <b>56</b> |

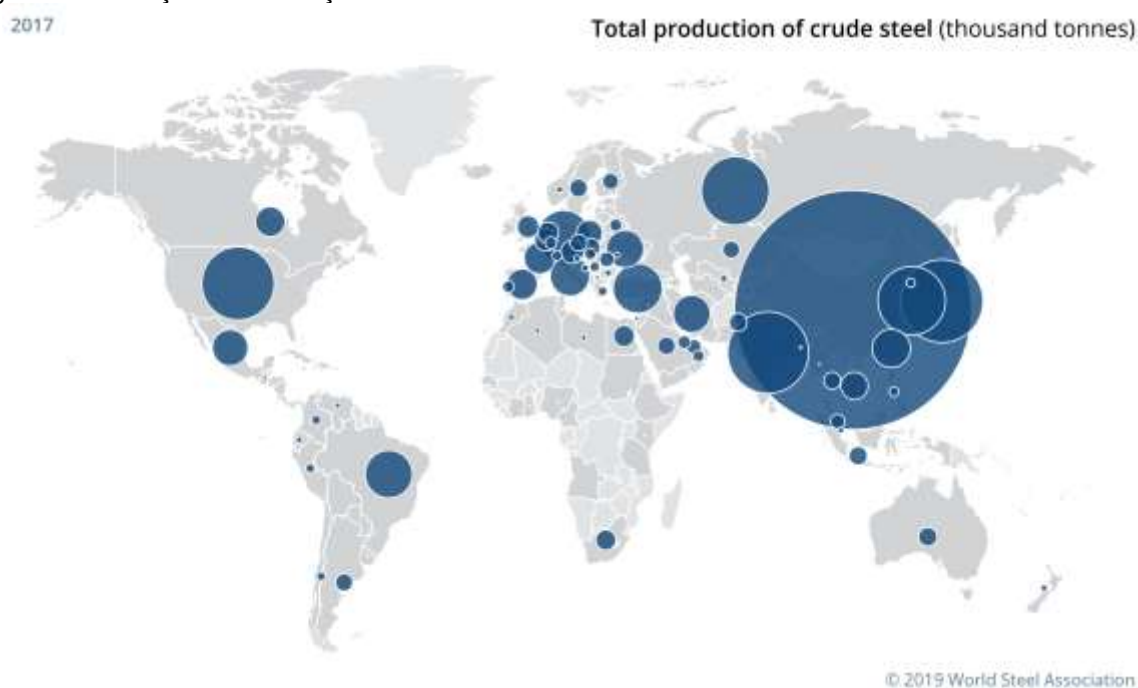
## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 ASPECTOS GERAIS

O mercado siderúrgico mundial é extremamente competitivo, e após a crise internacional de 2008 vem recuperando sua taxa de crescimento. Porém, as melhorias no processo e aumento de produção, principalmente na Ásia, fez com que ocorresse um desequilíbrio da relação oferta/demanda, implicando em preços e margens cada vez mais desafiadores.

Os principais países produtores de aço encontram-se na Ásia, Europa e Américas, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1– Produção total de Aço Bruto em 2017.

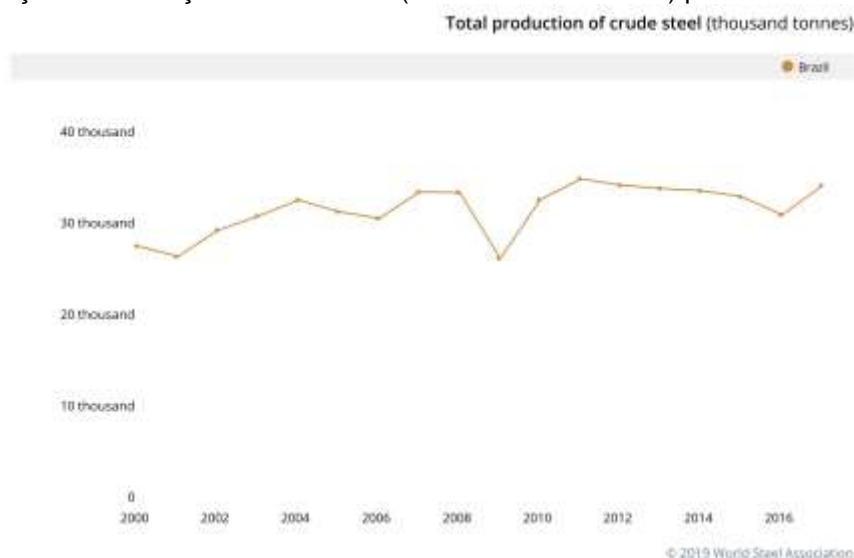


Fonte: World Steel Association (2019)

Nota: Tamanho do círculo proporcional ao volume de produção do país

Segundo World Steel Association (2019), em 2017 o Brasil era o nono país em volume de produção de aço no mundo, com um volume anual de aproximadamente 34 milhões de toneladas de aço bruto no ano, conforme mostra a Figura 2.

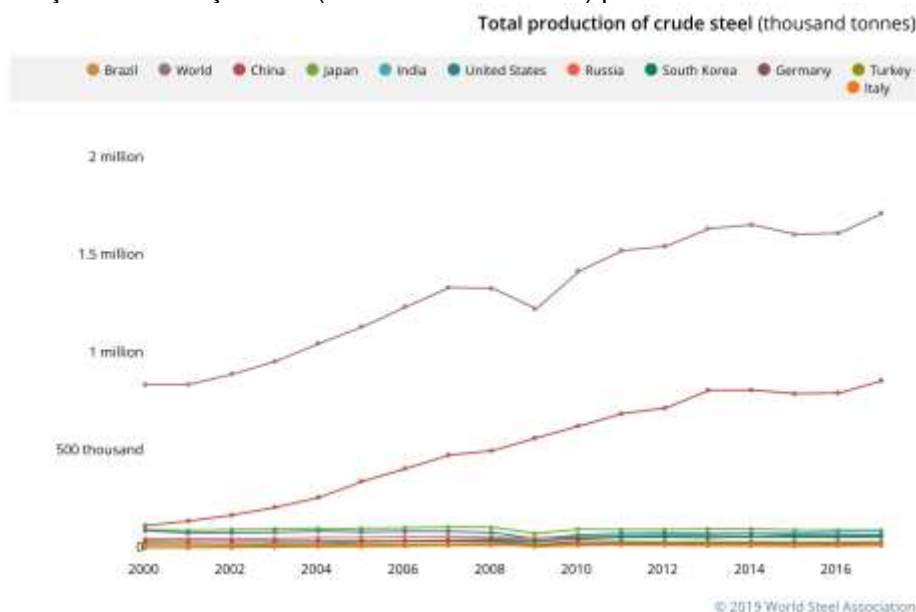
Figura 2– Produção total de Aço Bruto no Brasil (milhares de toneladas) por ano.



Fonte: World Steel Association (2019)

A produção de aço Brasileira tem oscilado pouco desde o ano 2000, sendo que em 18 anos, o volume total de aço produzido no país cresceu apenas 24%, contra 104% de crescimento do cenário mundial, no mesmo período. Esse crescimento tem sido impulsionado principalmente pela China, conforme pode ser observado na Figura 3.

Figura 3– Produção total de aço Bruto (milhares de toneladas) por ano.



Fonte: World Steel Association (2019)

Nota: Apresentada a produção anual dos 10 maiores países em produção de aço e a evolução da produção mundial

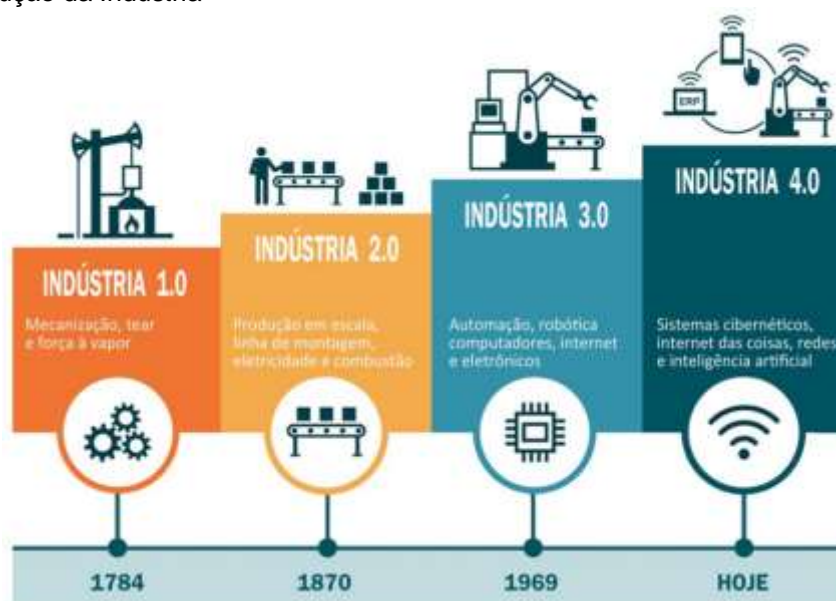
Neste cenário de intensa competição, são fundamentais a inovação e a melhoria contínua no processo produtivo. A utilização dos conceitos, metodologias e ferramentas da Engenharia de Confiabilidade permite que decisões sejam tomadas em um cenário de viabilidade financeira, tempo, desempenho dos processos e riscos aceitáveis. Um exemplo é a aplicação da análise de Confiabilidade, que proporciona a medição e identificação dos principais fatores que afetam a disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade de sistemas, permitindo a definição e implantação de ações para otimizá-las.

## 1.2 ASPECTOS ESPECÍFICOS

As formas de produção têm sido aprimoradas ao longo dos anos, no que é conhecido como revolução industrial. Segundo Drucker (2000), a primeira revolução industrial teve origem na Inglaterra entre os anos de 1760 a 1840, substituindo gradualmente os métodos artesanais de fabricação por máquinas movidas a vapor. Desde então já houve três revoluções industriais moldaram nossa sociedade moderna, conforme pode ser observado na Figura 4:

- 1ª Revolução Industrial: a máquina a vapor - entre os anos de 1760 a 1840, segundo Drucker (2000);
- 2ª Revolução Industrial: a produção em escala (linha de montagem, eletricidade e combustão) - entre os anos de 1870 a 1914, segundo Coelho (2016);
- 3ª Revolução Industrial: disseminação do uso de semicondutores, computadores, automação e robotização de linhas de produção – entre a década de 1970 e os anos 2000; segundo Coelho (2016);
- 4ª Revolução Industrial: baseada nos sistemas cibernético-físico (CPS) e Internet das Coisas (IoT) – atual, segundo Cheng et al. (2016);

Figura 4– Evolução da Indústria



Fonte: Perin, Claudio. (2019)

Atualmente estamos vivendo a 4ª Revolução Industrial, também conhecida por Indústria 4.0. O termo indústria 4.0 é derivado de *industrie 4.0*; que foi criado na Alemanha no ano de 2011 como uma estratégia de alta tecnologia para o ano de 2020 (ZHOU; LIU; ZHOU, 2015).

A quarta geração industrial tem como principais características a interconexão de dados, integração e inovação. Além disso, segundo Rüßmann et al. (2015), a quarta geração industrial é baseada em nove pilares que no futuro (também conhecido como tendências disruptivas), gerarão oportunidades de desenvolvimento tecnológico no campo industrial:

1. Big data;
2. Computação em nuvem;
3. Integração de sistemas vertical e horizontal;
4. Inteligência artificial;
5. Internet industrial das coisas;
6. Realidade virtual;
7. Robôs autônomos;
8. Segurança cibernética.
9. Simulação e impressão 3D;



Por ser muito recente no Brasil, grande parte das indústrias ainda estão iniciando o processo da quarta revolução, principalmente em suas operações. Notadamente as indústrias de grande porte, cujo alto nível necessário de investimento e baixa flexibilidade e velocidade para alterações em seus processos, ainda vivem em grande parte de suas operações a 3ª revolução industrial.

Para que seja facilitada a evolução para a Indústria 4.0, os processos da 3ª revolução industrial devem estar bem consolidados, controlados e apresentando bom desempenho. Por ser a principal vertente desta revolução industrial, a automação é item de extrema importância nesse contexto.

Os sistemas de automação disponibilizados para o processo possuem papel primordial no controle e otimização da produção e conseqüentemente do seu custo, volume e qualidade, sendo que a sua indisponibilidade normalmente acarreta parada do processo produtivo. Então, para que seja maximizada a produção, os sistemas e automação precisam ter uma alta disponibilidade para a operação.

Nesse contexto surge a questão principal, norteadora deste trabalho:

**- Como determinar quantitativamente a disponibilidade dos sistemas de automação?**

Decorrente desta questão principal surge a questão subjacente, que garante o cumprimento do objetivo geral:

- Quais os principais “bad actors” para a disponibilidade do sistema de automação?

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar uma metodologia baseada em análise de dados históricos para determinação quantitativa da disponibilidade dos sistemas de automação.

#### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilização de metodologia para determinação quantitativa da disponibilidade, baseada na literatura existente;

- Identificação dos principais modos de falha do sistema identificado para o piloto;

#### 1.4 JUSTIFICATIVA

No cenário atual de intensa concorrência econômica, as organizações enfrentam grandes dificuldades para continuarem ativas no mercado. Diante de tantos desafios buscam aplicar a automação em seus processos produtivos, principalmente pela sua comprovada contribuição para redução de despesas de produção, eficácia e respostas rápidas às solicitações do mercado. A economia globalizada traz consigo acesso a diferentes produtos, advindos dos mais diversos locais do mundo, neste sentido, o consumidor está cada vez mais exigente no que diz respeito à qualidade e agilidade do processo (VASCONCELLOS; GARCIA, 2012).

Em Reis (2004), a inovação tecnológica é destacada como a principal agente de mudanças no mundo atual. A automação de processos tem sido ponto chave em que diversos países e organizações obtêm vantagens competitivas.

Com isso, o efetivo controle e fomento de possíveis melhorias na confiabilidade, disponibilidade e utilização dos sistemas de automação representa um diferencial vantajoso para as empresas, pois está intrinsecamente ligado à redução custos e/ou qualidade final do produto e/ou volume de produção.

#### 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Uma pesquisa pode ser classificada de quatro maneiras, segundo Silva e Menezes (2005): pelos procedimentos adotados, natureza, forma de abordagem e seus objetivos.

A pesquisa deste trabalho utilizará amostras casuais simples e observação individual, segundo classificação proposta por Silva e Menezes (2005).

Ao longo do trabalho será realizado:

- pesquisa bibliográfica;
- levantamento de informações nos sistemas de controle (SISOCORR);
- análise e validação dos dados;

- utilização de metodologia para determinação quantitativa da disponibilidade;
- seleção de sistema para execução de piloto;
- análise Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade (RAM) do piloto;

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente documento divide-se em cinco capítulos. Inicialmente, neste primeiro capítulo, apresentou-se a contextualização do tema abordado, a limitação geográfica, os objetivos do projeto e a sua justificativa.

No segundo capítulo é aprofundado o tema principal deste trabalho.

No terceiro capítulo é apresentado o referencial teórico no qual este trabalho foi embasado.

O capítulo quatro demonstra o desenvolvimento e os resultados obtidos, bem como as discussões pertinentes.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

## 2 AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS NA ARCELORMITTAL TUBARÃO

### 2.1 INTRODUÇÃO

O conceito de automação inclui a ideia de usar a potência elétrica ou mecânica para acionar algum tipo de máquina. Deve acrescentar à máquina algum tipo de inteligência para que ela execute sua tarefa de modo mais eficiente e com vantagens econômicas e de segurança (RIBEIRO, 2003).

Com esse contexto, a automação apresenta uma gama de possibilidades com diferentes tipos e níveis de atuação. que vão desde Sensores e Atuadores automáticos, passando por Controladores Lógico Programáveis (CLP's), e Sistemas Supervisórios; Modelos de Otimização de Processo até sistemas corporativos e sistema integrado de gestão empresarial.

Segundo Moraes e Castrucci (2007), a automação pode ser dividida em cinco níveis de hierarquia, apresentados na Figura 5, os quais são:

Nível 1 – Aquisição de Dados e Controle Manual: O primeiro nível é majoritariamente composto por dispositivos de campo. Atuadores, sensores, transmissores e outros componentes presentes na planta compõem este nível, que é conhecido como o chão de fábrica.

Nível 2 – Controle: O segundo nível compreende equipamentos que realizam o controle automatizado das atividades da planta. Aqui se encontram os CLP's, Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD's) e relés.

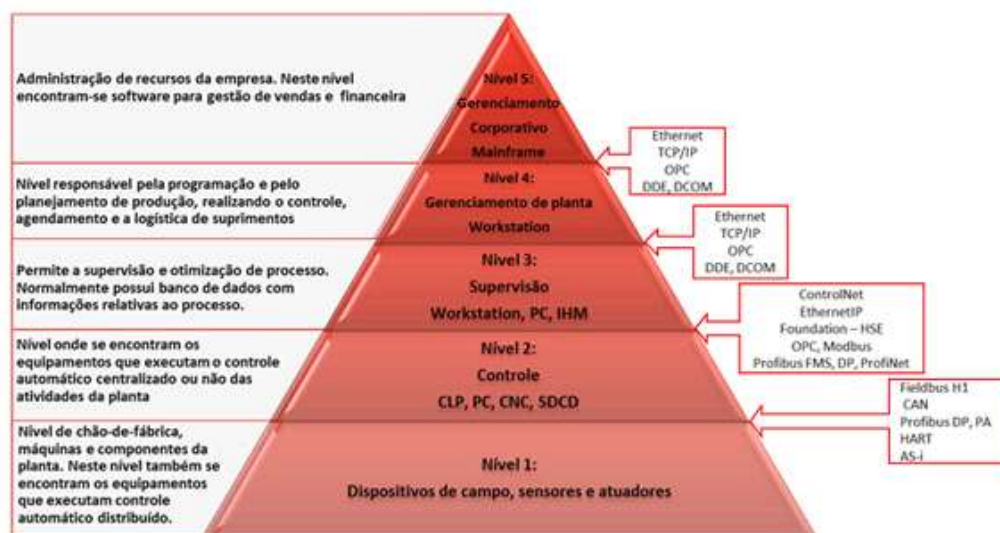
Nível 3 – Controle de Célula, Supervisão e Otimização do Processo: O terceiro nível destina-se a supervisão dos processos executados por uma determinada célula de trabalho em uma planta. Na maioria dos casos, também obtém suporte de um banco de dados com todas as informações relativas ao processo.

Nível 4 – Controle Fabril Total, Produção e Programação: O quarto nível é responsável pela parte de programação e também do planejamento da produção. Este auxilia tanto no controle de processos industriais, quanto também na logística de suprimentos pode-se encontrar o termo gerenciamento da planta para este nível.

Nível 5 – Planejamento Estratégico e Gerenciamento Corporativo: O quinto e último nível da pirâmide da automação industrial se encarrega da administração dos

recursos da empresa. Neste nível encontram-se softwares para gestão de venda, gestão.

Figura 5– Pirâmide hierárquica de Automação



Fonte: Pereira, Danilo Arruda R. (2015)

Para Groover (2011), os níveis de automação também são divididos em 5, sendo em ordem crescente: 1) Nível de dispositivo; 2) Nível de controle regulatório; 3) Nível de controle supervisiório; 4) Nível de fábrica; 5) Nível corporativo.

Essa hierarquia é utilizada na indústria como “limite de bateria”, para a definição clara de papéis e responsabilidades de atuação de cada área, como por exemplo, a engenharia elétrica, tem como responsabilidade os nível 1 e 2, a automação e a infraestrutura o nível 3 e a TI (tecnologia da informação) os níveis 4 e 5.

## 2.2 UNIDADE DE TUBARÃO DA ARCELORMITTAL

A ArcelorMittal Tubarão é uma unidade de produção integrada de aços planos, localizada na Região Metropolitana da Grande Vitória (ES), na região Sudeste do Brasil. Com capacidade de produção anual de 7,5 milhões de toneladas de aço em placas e bobinas a quente, emprega diretamente cerca de 5,4 mil pessoas e outras 5,1 mil indiretamente. Sua localização, junto a um complexo logístico que inclui infraestrutura portuária, ferroviária e rodoviária, favorece a

disponibilidade de insumos e matérias-primas, assim como o transporte de produtos para os mercados interno e externo (ArcelorMittal Tubarão).

O processo produtivo engloba:

- Recebimento, preparação e estocagem das matérias-primas;
- Fabricação de sinter, coque e gusa;
- Produção de aço líquido;
- Transformação do aço líquido em placas e destas em bobinas a quente;
- Embarque dos produtos acabados em sistema multimodal.

A unidade realiza também:

- Geração e distribuição de energia e gases do ar;
- Tratamento e distribuição de água;
- Beneficiamento de resíduos industriais transformados em coprodutos;
- Serviços de manutenção industrial, incluindo fabricação de peças;
- Desenvolvimento de novos produtos;
- Projetos de investimento de melhorias e ampliações

Para atendimento às necessidades tecnológicas, a empresa possui um Departamento de Tecnologia da Informação e Automação de Processos, tendo como uma de suas Divisões, a Gerência de Automação de Processos.

A Figura 6 apresenta ilustrativamente os principais processos produtivos da siderúrgica atendidos pela Gerência de Automação de Processos.

Figura 6– Processo Produtivo ArcelorMittal Tubarão

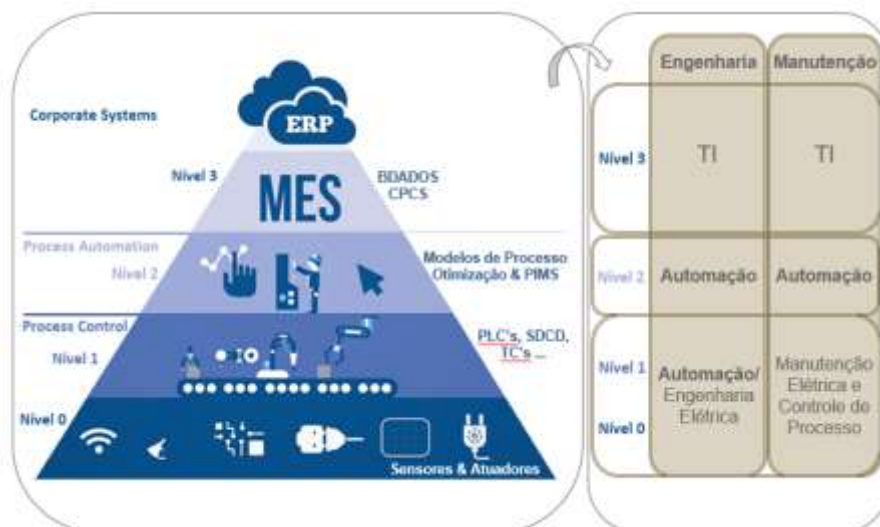


Fonte: ArcelorMittal Tubarão (2017) – adaptado pelo autor

Na ArcelorMittal Tubarão, foi feita uma adaptação da pirâmide da automação, agrupando os níveis de modo a adequar às áreas de atuação. O nível hierárquico de “Aquisição de Dados e Controle Manual” é chamada de Nível 0; o de “Controle” é chamado de Nível 1 – ambos utilizados no controle do Processo e sob responsabilidade principal da área de engenharia elétrica. O “Controle de Célula, Supervisão e Otimização do Processo” é chamado de Nível 2 – sob responsabilidade da área de Automação. O “Controle Fabril Total, Produção e Programação” e o “Planejamento Estratégico e Gerenciamento Corporativo” são chamados de Nível 3 – sob responsabilidade da área de Tecnologia da Informação (TI).

A Figura 7 apresenta a Pirâmide da Automação e foco de atuação na ArcelorMittal Tubarão.

Figura 7– Pirâmide da Automação e foco de atuação na ArcelorMittal Tubarão



Fonte: Reditech. (2019), adaptado pelo autor.

O trabalho apresentado neste documento se referencia ao projeto executado na gerência de automação de processos na ArcelorMittal Tubarão, também conhecido por automação nível 2.

### 2.3 OCORRÊNCIAS NOS SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO

No departamento de tecnologia da informação e automação de processos há um comitê de qualidade, que define, acompanha e controla os indicadores-chave de desempenho (KPI's) de cada gerência. Para a gerência de automação de processos um dos principais indicadores é a disponibilidade de seus sistemas para o cliente (notadamente a operação da indústria).

Os sistemas da automação são 24/7, ou seja, operam ininterruptamente (exceto em casos de paradas programadas) e seu indicador de disponibilidade é calculado através de dados de paradas operacionais chamados de ocorrências, de cada sistema.

Qualquer interferência em um sistema da automação é chamada de ocorrência; que é uma definição interna que abrange todos os conceitos de defeito, falha pane e erro.

As ocorrências são registradas no sistema de controle de ocorrências (SISOCORR), onde é também realizada a sua identificação e detalhamento. Os principais campos que são preenchidos que podemos destacar são os de categoria e perguntas de gravidade da ocorrência, pois através deles será possível realizar a



identificação e categorização da ocorrência (em defeito, falha pane ou erro) e dos modos de falha dos sistemas. No Apêndice A são apresentadas as perguntas de gravidade que são respondidas para cada ocorrência.

A Figura 8 apresenta o sistema de controle de ocorrências (SISOCORR), onde são inseridos os dados de cada ocorrência, dentre eles destaca-se o sistema, a data, o período, o responsável pelo atendimento e a causa da ocorrência.

Figura 8– Sistema de Ocorrência da Automação Nível 2 na ArcelorMittal Tubarão

The image shows the SISOCORR (Sistema de Ocorrência da Automação Nível 2) interface. At the top, there's a header with the logo 'SISOCORR' and the subtitle 'Registro de Ocorrências na Automação'. Below this, a hand is shown typing on a laptop keyboard, with a semi-transparent login window for ArcelorMittal overlaid. The main interface is a form for recording incidents, with fields for 'Sistema', 'Data Início', 'Data Fim', 'Responsável', and 'Causa'. It also includes a 'Status' section with colored indicators (red, yellow, green) and a 'Buscar' button.

Fonte: ArcelorMittal (2019)

O sistema (em sua versão atual) está em operação desde 2017, e possui controle de acesso e restrição de administrador (impedindo modificações indesejadas), o que garante uma rica e segura base dados para o trabalho.

Há atualmente um indicador de disponibilidade geral dos sistemas, que leva em consideração o suporte logístico real, podendo ser considerado então como Disponibilidade Operacional, porém neste caso, não são levados em consideração os diferentes modos de falha dos sistemas e os indicadores de Confiabilidade e Manutenibilidade dos sistemas não são apurados nem controlados.

Apesar da base de dados disponível, a meta de disponibilidade (indicador que apresenta % tempo que o sistema ficou disponível para a operação, que depende do tempo em Operação e do tempo Parado, devido à falhas) para todos os sistemas é o mesmo desde 2001: 99,96%, por definição intuitiva.

Sabemos que uma determinação correta da Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade de um sistema, auxilia na identificação de pontos de melhoria, levando à uma melhor performance.

#### 2.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os principais aspectos da automação de processos (nível 2) da ArcelorMittal Tubarão, incluindo seu foco de atuação, importância e forma de registro em caso de ocorrências (dados de vida). Esses conceitos serão utilizados para o desenvolvimento do trabalho juntamente com os dados de vida dos sistemas disponíveis no sistema de registro de ocorrências.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta os conceitos de RAM (sigla inglesa para o trinômio: *Reliability, Availability & Maintainability*, ou seja, Confiabilidade, Disponibilidade e Manutenibilidade, respectivamente) de sistemas aplicados ao âmbito da engenharia de confiabilidade relacionados ao objetivo do trabalho e sua aplicação na área de automação da ArcelorMittal Tubarão.

#### 3.2 CONCEITOS GERAIS

##### 3.2.1 CONCEITO DE DEFEITO, FALHA PANE E ERRO

Segundo a norma NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994), defeito, falha pane e erro possuem diferentes definições e significados.

- Defeito: qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos.
- Falha: término da capacidade de um item de desempenhar a função requerida.
- Pane: estado de um item caracterizado pela incapacidade de desempenhar uma função requerida, excluindo a incapacidade durante a manutenção preventiva ou outras ações planejadas, ou pela falta de recursos externos.
- Erro: diferença entre um valor ou uma condição observada ou medida e a correspondente condição ou valor verdadeiro especificado ou teórico.

### 3.2.2 CONCEITO DE CONFIABILIDADE, DISPONIBILIDADE E MANTENABILIDADE

A norma NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994), define os termos relacionados com a confiabilidade e manutenibilidade. O trinômio de RAM é definido nela como:

- Confiabilidade: capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo;
- Manutenibilidade: capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos;
- Disponibilidade: 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;

Segundo Berquó (2014), Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade são características probabilísticas, e são conceituadas como:

- Confiabilidade é a probabilidade de um sistema ter um desempenho satisfatório, durante certo intervalo de tempo, em determinadas condições;
- Manutenibilidade é uma característica de projeto e instalação, que é expressa como a probabilidade de um item ser restaurado a uma condição definida, dentro de um determinado intervalo de tempo, quando a manutenção é feita de acordo com os procedimentos e recursos técnicos logísticos especificados;
- Disponibilidade é a probabilidade de que o sistema estará operacionalmente disponível, quando acionado de uma forma aleatória num ponto do tempo. A Disponibilidade é uma função da Confiabilidade e da Manutenibilidade;

Para Kardec e Nascif (2009), podemos considerar a Disponibilidade em três ocasiões do ciclo de vida:

- Disponibilidade Inerente (*Inherent*) – reflete o percentual do tempo que seria disponível se não ocorressem perdas de tempo ou atrasos no reparo, levando em consideração apenas as manutenções corretivas;
- Disponibilidade Técnica ou Obtida (*Achieved*) - reflete o percentual do tempo que seria disponível se não ocorressem perdas de tempo ou atrasos no reparo, levando em consideração as manutenções corretivas e preventivas.
- Disponibilidade Operacional (*Operational*) – representa a avaliação mais real das disponibilidades, levando em consideração todo o tempo dispendido para a manutenção (tanto corretiva como preventiva, incluindo os atrasos);

Esses três conceitos são aplicados e mensurados através dos dados de vida dos itens/sistemas, que são baseados em seus dados de falha.

### 3.3 PARÂMETROS DA CONFIABILIDADE

De acordo com Pallerosi (2007), a metodologia para estimar os parâmetros da Confiabilidade e Mantenabilidade se divide em 8 etapas: Tipos de Amostras, Tipos de Dados, Distribuição Estatística e seus Parâmetros, Método para estimativa dos parâmetros, Precisão, Comparação e Seleção.

#### 3.3.1 Tipos de Amostras

Em relação as amostras a serem coletadas existem três tipos:

- a) Não agrupados - dados individuais.
- b) Agrupados - os tempos de falhas serão agrupados pelo tempo até a falha e a quantidade de ocorrência.
- c) Forma Livre - dados admitidos.

### 3.3.2 Tipos de Dados

Na coleta de dados deste trabalho, serão utilizados dois tipos de dados: Dados Completos e Dados Censurados.

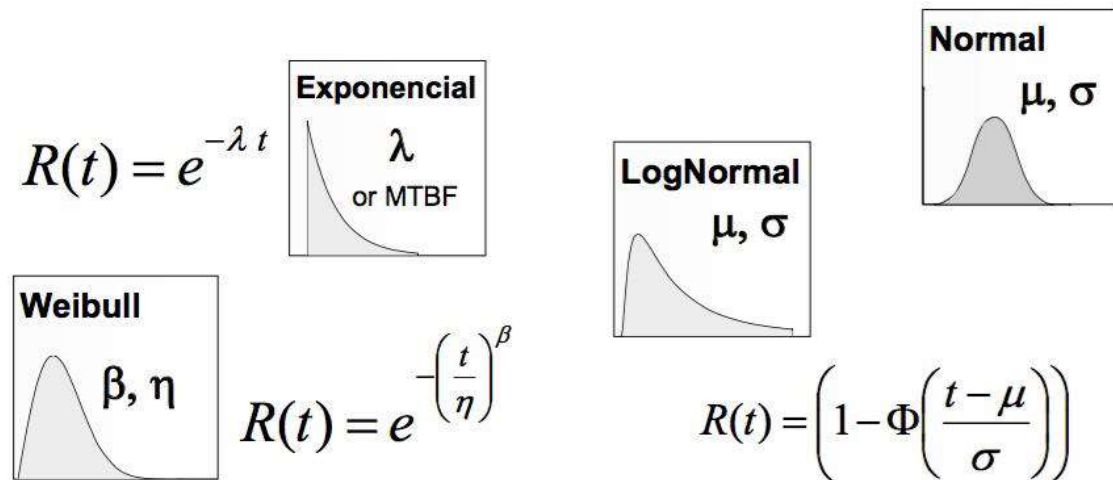
- a) Dados Censurados à direita ou suspensos: o componente ainda não falhou, mas foi retirado de operação, ou finalizada a observação - conhecido o tempo inicial e o tempo final é determinado pela interrupção de sua utilização ou observação.
- b) Dados censurados por intervalos: é conhecido o momento inicial de utilização e o tempo final é determinado por um intervalo conhecido, sendo bem comum entre as duas últimas inspeções.
- c) Dados Censurados à esquerda: a observação iniciou com item já em utilização - conhecido o tempo final, mas não é conhecido o momento inicial exato.
- d) Dados completos: conhecido o tempo exato até a falha - o momento inicial e o final da vida do componente.

### 3.3.3 Distribuição Estatística e seus Parâmetros

Segundo Colosimo e Giolo (2006), para definir a representação da confiabilidade de um determinado componente, com base nos seus dados de falhas, é atribuída uma distribuição estatística que melhor descreva seu comportamento. Destaca-se entre as principais distribuições utilizadas na análise de sobrevivência a exponencial, de Weibull, Exponencial, Normal, Lognormal etc.

A Figura 9 apresenta essas distribuições estatísticas.

Figura 9– Exemplos de distribuições contínuas



Fonte: COLOSIMO; GIOLO (2006)

Abaixo são apresentadas essas distribuições.

- a) Weibull: Os eventos de falha não constantes para taxas de risco em função do tempo são mais bem representados pela distribuição de Weibull (KRISHNASAMY et al, 2005). Por isso, é uma das distribuições mais versáteis e utilizadas nos estudos de confiabilidade devido ao seu parâmetro de forma ( $\beta$ ). A sua taxa de falha pode ser crescente, decrescente e ou constante – apresentado na Figura 10.

Figura 10– Distribuição Weibull

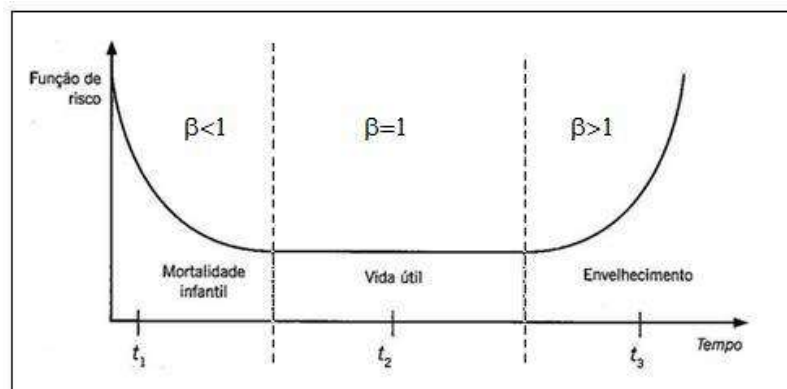
$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{T - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left( \frac{T - \gamma}{\eta} \right)^\beta}$$

Fonte: Pallerosi (2007)

- $\beta$  (Beta) é o parâmetro de forma ou inclinação da curva
- $\eta$  (Eta) é o parâmetro de escala ou vida característica
- $\gamma$  (Gama) é o parâmetro de localização, também chamado de vida mínima.

Na Figura11 é apresentado o ciclo de vida de equipamentos (curva da banheira), baseado nesta distribuição.

Figura 11 – Curva da banheira e ciclo de vida de equipamentos



Fonte: LAFRAIA (2008)

Uma importante ressalva há que ser feita a este ponto. Em muitos casos, como no de componentes elétricos e eletrônicos, não há uma fase de velhice bem definida, uma vez que a taxa de falha tende a aumentar de forma lenta e linear (RIBEIRO, 1995).

- b) Exponencial: Trata-se da distribuição contínua mais utilizada na caracterização da duração de um equipamento (LEWIS, 1994). Sua taxa de falha é constante - aplicação típica para equipamentos eletrônicos, ou seja, vários componentes em série – apresentado na Figura 12.

Figura 12– Distribuição Exponencial

$$f(T) = \lambda e^{-\lambda(T-\gamma)}$$

Fonte: Pallerosi (2007)

- $T$  é a variável aleatória
  - $\lambda$  é taxa de falha da variável aleatória.
  - $\gamma$  (parâmetro de localização) representa o deslocamento da distribuição, porém é pouco utilizado.
- c) Normal: Usos comuns do Modelo Normal de Probabilidades são a descrição de componentes mecânicos submetidos a cargas cíclicas, tais como em testes de fadiga (ELSAYED, 1996). Principalmente aplicado em situações em que há poucas falhas no início e no fim da vida, elas estão concentradas num



valor médio. E a sua taxa de falha é sempre crescente – apresentado na Figura 13.

Figura 13– Distribuição Lognormal

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Fonte: Pallerosi (2007)

- $\mu$  é a média dos tempos até a falha
- $\sigma$  é o desvio padrão dos tempos até a falha.

d) Lognormal: segundo Elsayed (1996), é aplicado e principalmente em situações em que há uma significativa quantidade de falhas no início da vida e poucas falhas no fim de vida. A taxa de falha é inicialmente crescente e então decresce assintoticamente para zero – apresentado na Figura 14.

Figura 14– Distribuição Lognormal

$$f(t') = \frac{1}{t'\sigma'\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t'-\mu'}{\sigma'}\right)^2}$$

Fonte: Pallerosi (2007)

- $t' = \ln(t)$  e  $t$  é a variável aleatória ou os tempos até a falha
- $\mu'$  é a média do logaritmo natural dos tempos até a falha
- $\sigma'$  é o desvio padrão dos logaritmos naturais dos tempos até a falha.

### 3.3.4 Métodos para estimativa dos parâmetros das Distribuições Estatísticas

A partir de um conjunto de dados é necessário estimar os parâmetros que irão caracterizar uma determinada distribuição.

Segundo Kazmier (1982), o objetivo principal da análise de regressão é prever o valor de uma variável (a variável dependente), dado que seja conhecido o valor de uma variável associada (a variável independente).

Há vários métodos para estimar esses parâmetros das distribuições citadas anteriormente, sendo os mais utilizados: o Método de Regressão Linear (RRX ou RRY) e o Método da Máxima Verossimilhança – MLE (*Maximum Likelihood Estimation*).

No estudo em questão, haja vista que foi adotada a distribuição Weibull no tratamento de dados de falhas, para a obtenção dos seus parâmetros pode-se utilizar os métodos de verossimilhança ou de regressão linear (JUNIOR, 2010).

#### 3.3.4.1 Método Regressão Linear

Segundo Montgomery e Runger (2003), a regressão linear, ou métodos dos mínimos quadrados, é a forma de estimação gráfica mais utilizada; sendo usualmente utilizada para amostras pequenas e com dados completos. Ela permite o alinhamento da reta sobre os pontos, tal que a soma das diferenças ao quadrado dos pontos à reta seja minimizada. Na regressão em Y, alinhamento minimizará a soma dos quadrados dos desvios verticais entre os pontos e a reta (RRY). Na regressão em X, o alinhamento minimizará a soma dos quadrados dos desvios horizontais (RRX).

#### 3.3.4.2 Método da Máxima Verossimilhança

Máxima Verossimilhança é uma técnica muito popular de estimação por apresentar, em geral, muitas das propriedades associadas a grandes amostras (tais como eficiência e consistência). Este método ocupa posição fundamental na Inferência Estatística devido a sua grande aplicação em problemas práticos, e consiste em encontrar o valor hipotético do parâmetro populacional que seja o mais provável para gerar a amostra observada (WONNACOTT; WONNACOTT, 1977).

De acordo com Montgomery e Runger (2003), o método da máxima verossimilhança é um dos melhores recursos para se obter estimadores de um

parâmetro; neste caso, o estimador será o valor do parâmetro que maximize a função verossimilhança

### 3.3.5 Precisão

Este item está relacionado com a dispersão dos dados coletados e assim sua representatividade para descrever uma população ou o comportamento característico do componente em estudo ou observação.

Para descrever o quanto os resultados obtidos são confiáveis é necessário estabelecer um nível de confiança, sendo o mais utilizado entre 90 a 95%; um tipo de intervalo poderá ser representado e a verificação do Coeficiente de Correlação.

Nos intervalos de Confiança, há três tipos de representação:

- a) Unilateral Inferior
- b) Unilateral Superior
- c) Bilateral

No caso da análise do coeficiente de correlação, é a aderência da dispersão dos dados em relação a representação da regressão linear, que gera um resultado numérico.

### 3.3.6 Comparação e a Seleção da Distribuição Estatística Final

Na etapa final do processo deve-se realizar uma comparação dos diversos modelos (realizando as etapas anteriores), analisando se há limitações e distorções ao tentar estimar alguns pontos característicos com base nos parâmetros definidos. Então deve-se selecionar a distribuição que melhor representa o comportamento da amostra de dados.

## 3.4 DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE

Um sistema é o conjunto de componentes interligados segundo um projeto predeterminado, de forma a realizar um conjunto de funções de forma fiável e com bom desempenho (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009)

Segundo Pallerosi (2007), os sistemas são constituídos por vários subsistemas e componentes arranjados fisicamente com o objetivo de cumprir uma função requerida. O Diagrama de Bloco de Confiabilidade (DBC), do inglês *Reliability Block Diagram* (RBD) é criado para ilustrar a disposição física de como os componentes são probabilisticamente arranjados para demonstrar a operação do sistema.

Os arranjos de confiabilidade podem ser classificados como:

- Série;
- Paralelo;
- Composto;
- Complexo.

O arranjo de blocos influencia diretamente os cálculos probabilísticos de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade, sendo então sua correta construção essencial.

São apresentados como exemplos a forma de cálculo da confiabilidade de um sistema com um arranjo simples e outro em paralelo:

- Arranjo Simples

A sua distribuição é demonstrada na Figura 15 e a confiabilidade de um sistema com este arranjo é dada por:

$$R(t) = R_1(t) * R_2(t) * R_3(t) * \dots * R_n(t) \quad (1)$$

Figura 15– Arranjo Simples



Fonte: autor (2019)

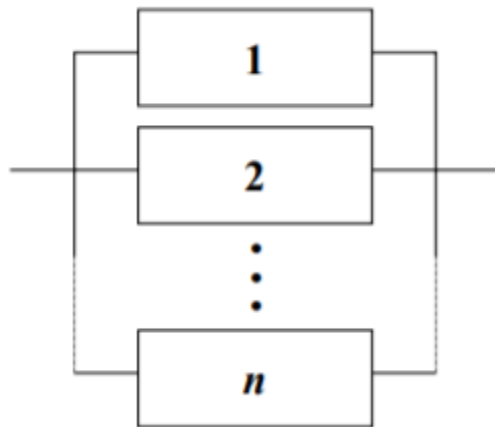
Segundo, Frutuoso (2016), nessa configuração a confiabilidade do sistema nunca é maior do que a menor confiabilidade individual de um bloco, pois num sistema em série, todos os componentes devem funcionar para que o sistema funcione.

- Arranjo Paralelo

A sua distribuição é demonstrada na Figura 16 e a confiabilidade de um sistema com este arranjo é dada por:

$$R(t) = 1 - [(1 - R_1(t)) * (1 - R_2(t)) * (1 - R_3(t)) * \dots * (1 - R_n)] \quad (2)$$

Figura 16– Arranjo Paralelo



Fonte: autor (2019)

Segundo, Frutuoso (2016), na configuração paralela a confiabilidade do sistema sempre será maior que a maior confiabilidade individual de um bloco, pois nesta configuração todos os componentes devem falhar para que o sistema falhe.

### 3.5 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os conceitos que embasam e metodologias utilizadas para a execução de uma análise RAM.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo demonstra as etapas desenvolvidas, seguindo uma sequência cronológica, visando garantir o correto desenvolvimento do trabalho e obtenção dos resultados desejados com o estudo de análise RAM.

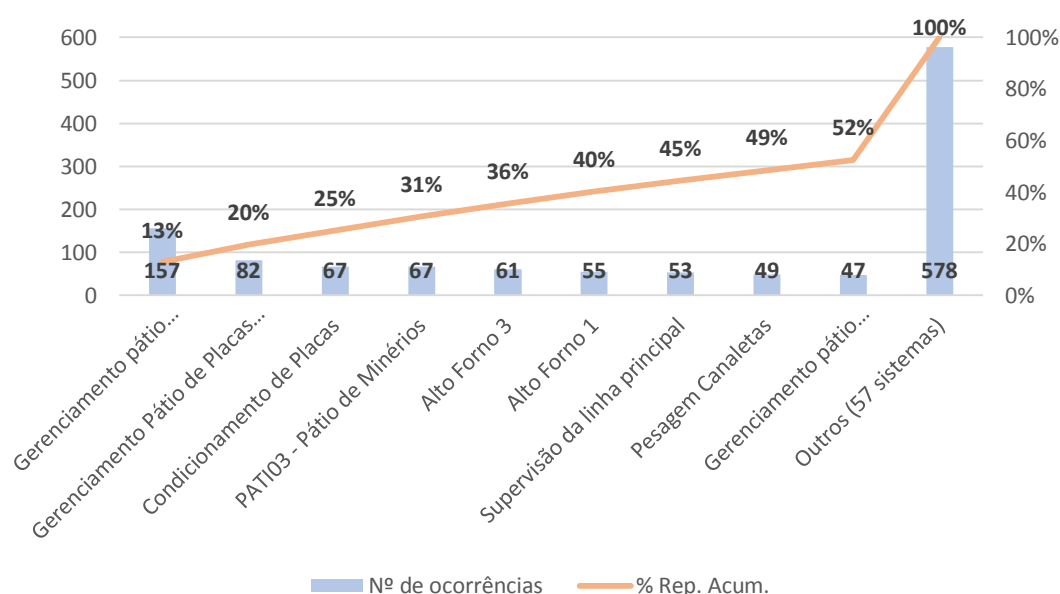
### 4.1 DEFINIÇÃO DO ESCOPO

Primeiramente foi realizada a modelagem do sistema, identificando os modos de falha dos sistemas de automação de nível 2. A partir desta modelagem foram extraídos os dados do sistema e definido o método de obtenção da disponibilidade e manutenibilidade dos sistemas, utilizando os conceitos de RAM.

O modelo e metodologia servem para todos os dados, porém para comprovação de sua eficácia e aderência, foi feita a definição do sistema piloto, avaliando os dados do sistema de registro de ocorrências (Sisocorr).

Foi constatado, através dos dados extraídos, que há 66 sistemas com registro de ocorrência, de 01/01/2017 à 30/06/2019. Para a definição do sistema piloto, utilizou-se um Pareto, conforme observado na Figura 17.

Figura 17 – Pareto - Ocorrências dos sistemas de Automação



Fonte: autor (2019)

A partir do gráfico de Pareto, definiu-se que o sistema piloto seria o sistema gerenciamento pátio despacho de bobina, por ser o sistema que mais apresentou ocorrências no período. Esse fato, o torna o sistema mais interessante para que seja realizada a análise pois é o sistema com mais dados de vida e reparo.

## 4.2 MODELAGEM DO SISTEMA

A partir de entrevistas com especialistas da automação, foram identificados 10 modos de falha para um sistema de automação de nível 2, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Modos de Falha dos Sistemas de Automação de Nível 2

| #  | Modo de Falha                |
|----|------------------------------|
| 1  | Falha na CPU - Servidor      |
| 2  | Falha no Micro - Cliente     |
| 3  | Falha no Equipamento de Rede |
| 4  | Falha Operacional            |
| 5  | Falha na Aplicação           |
| 6  | Falha no Sistema Operacional |
| 7  | Falha no Banco de Dados      |
| 8  | Falha Comunicação do nível 1 |
| 9  | Falha Comunicação do nível 2 |
| 10 | Falha Comunicação do nível 3 |

Fonte: autor (2019)

Esses modos de falha podem ser agrupados em 3 Grupos: Hardware, Operação e Software. Dentro do Grupo Software, as falhas de comunicação foram agrupadas em um Subgrupo denominado “Comunicação”. Esse agrupamento dos modos de falha pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Agrupamento dos Modos de Falha dos Sistemas de Automação de Nível 2

| #  | Grupo       | Subgrupo             | Modo de Falha                |
|----|-------------|----------------------|------------------------------|
| 1  | HARDWARE    | Servidor             | Falha na CPU - Servidor      |
| 2  |             | Cliente              | Falha no Micro - Cliente     |
| 3  |             | Equipamento de Rede  | Falha no Equipamento de Rede |
| 4  | OPERACIONAL | Operacional          | Falha Operacional            |
| 5  | SOFTWARE    | Aplicação            | Falha na Aplicação           |
| 6  |             | Sistema Operacional  | Falha no Sistema Operacional |
| 7  |             | Banco de Dados       | Falha no Banco de Dados      |
| 8  |             | Comunicação de dados | Falha Comunicação do nível 1 |
| 9  |             |                      | Falha Comunicação do nível 2 |
| 10 |             |                      | Falha Comunicação do nível 3 |

Fonte: autor (2019)

Outro ponto identificado foi que, todos os modos de falha, fazem com que o sistema falhe. Portanto definiu-se a configuração arranjo Simples (Série) para o Sistema. A partir da falha do modo, é feita uma troca ou *reset* do equipamento e no caso do software de nível 2, um download de nova aplicação ou *reset* de serviços, podendo então considerar o sistema como “tão bom quanto novo”, após a atuação. Além disso, todos os sistemas possuem prontidão para a intervenção em caso de falha, portanto, foi considerado que o reparo se dá na falha do item (sem atraso logístico).

#### 4.3 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Foram extraídos dados do sistema de registro de ocorrências (Sisocorr), no período de 01/01/2017 à 30/06/2019.

Os dados de ocorrência trazem diversas informações, entre elas foram destacadas as seguintes como relevantes para o trabalho:

- Sistema em que o ocorreu a falha
- Data e Hora do início da falha
- Data e Hora do término da falha
- Grupo e Subgrupo de definição da falha



A indicação de Grupo e Subgrupo foi utilizada para identificação dos modos falhas, definidos na modelagem do sistema, de cada uma das ocorrências.

As informações de data e hora do início e término da falha serviram para o cálculo do Tempo Entre Falhas (TEF) e Tempo de Reparo (TR).

O Tempo Entre Falhas (TEF), utilizado na análise de dados de vida - LDA (*life data analyses*), é a quantidade de tempo, em horas, que o sistema opera entre uma falha e outra falha. Conforme a formulação abaixo:

$$\text{TEF} = \text{Dt}(\text{Fx}) - \text{Dt}(\text{Fx}-1)$$

Sendo:

TEF = Tempo entre falhas

Dt(Fx) = Data e hora da falha atual

Dt(Fx-1) = Data e hora do último reparo

O Tempo de Reparo (TR) é a quantidade de tempo, em horas, para que o sistema seja restabelecido em caso de falha, conforme a formulação abaixo:

$$\text{TR} = \text{Dt}(\text{R}) - \text{Dt}(\text{F})$$

Sendo:

TR = Tempo de reparo

Dt(R) = Data e hora da restauração do sistema

Dt(F) = Data e hora da falha

A última linha dos dados de vida é uma Suspeição (S) da data e hora da última falha até a data final do relatório.

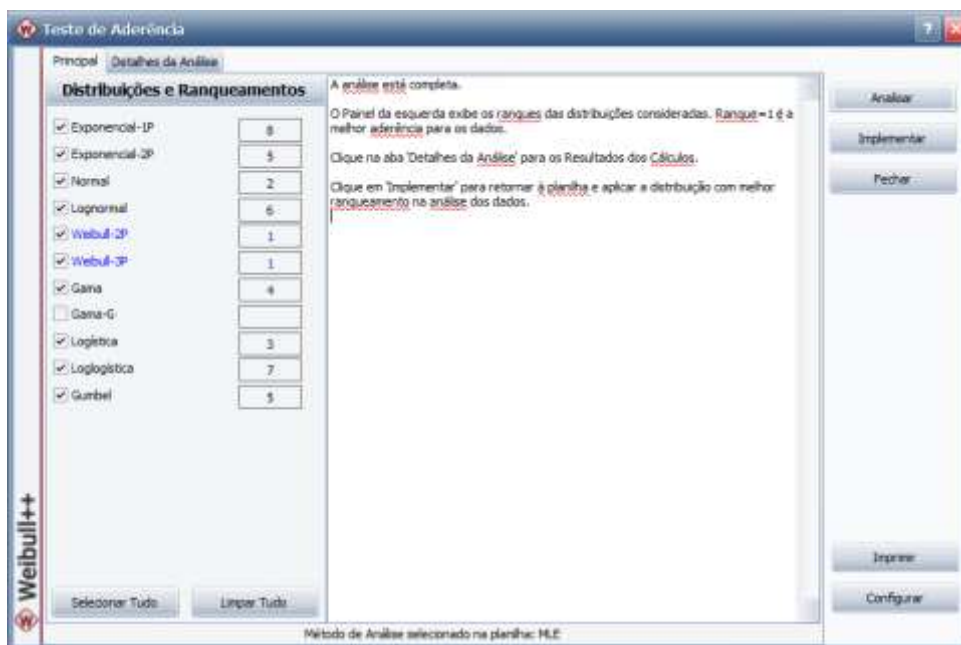
Essas informações relevantes foram organizadas de forma a permitir a sua inserção no sistema para análise dos dados.

#### 4.4 MODELAGEM DOS DADOS

Após o tratamento dos dados, foi utilizado o software Weibull++ 18 para a definição do modelo mais adequado à distribuição dos dados de vida e de

manutenção de cada modo de falha, através do teste de aderência. Pelo teste, neste caso, foi definida a distribuição Weibull-2P, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 – Teste de Aderência dados de vida



Fonte: ReliaSoft (2019) - adaptado

Então foi aplicada a distribuição para os dados de vida de cada um dos 10 modos de falha, conforme exemplo que pode ser observado na Figura 19.

Figura 19 – Dados de Vida - Modo de falha 01



Fonte: ReliaSoft (2019) - adaptado

O mesmo processo foi feito para os dados de reparo de cada modo de falha, evidenciado exemplo na Figura 20.

Figura 20 – Distribuição de Reparo - Modo de falha 01



Fonte: ReliaSoft (2019) - adaptado

As distribuições de todos dos dados de vida e de Reparo de todos os modos de falha são aprendizados no Apêndice B.

#### 4.5 DIAGRAMA DE BLOCOS DE CONFIABILIDADE

Com as distribuições dos dados de vida e de reparo para cada modo de falha aplicadas no Weibull++, foi feito no BlockSim-18 a construção do diagrama de blocos de confiabilidade. A Figura 21 ilustra o diagrama de um sistema de automação de nível 2 (utilizando os 10 modos de falha identificados).

Figura 21 – Distribuição de Reparo - Modo de falha 01



Fonte: ReliaSoft (2019) - adaptado

Após a configuração do diagrama de blocos foi feita uma simulação para análise do Gerenciamento Pátio Despacho de Bobina. A Figura 22 apresenta a simulação.

Figura 22 – Distribuição de Reparo - Modo de falha 01



Fonte: ReliaSoft (2019) - adaptado

O tempo de simulação utilizado foi de 8640 horas, tendo sido realizadas 1000 simulações.

#### 4.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com a simulação foi possível obter os resultados esperados de disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade para um ano (comercial) de operação do sistema. Os resultados dessa simulação podem ser observados na Tabela 3.

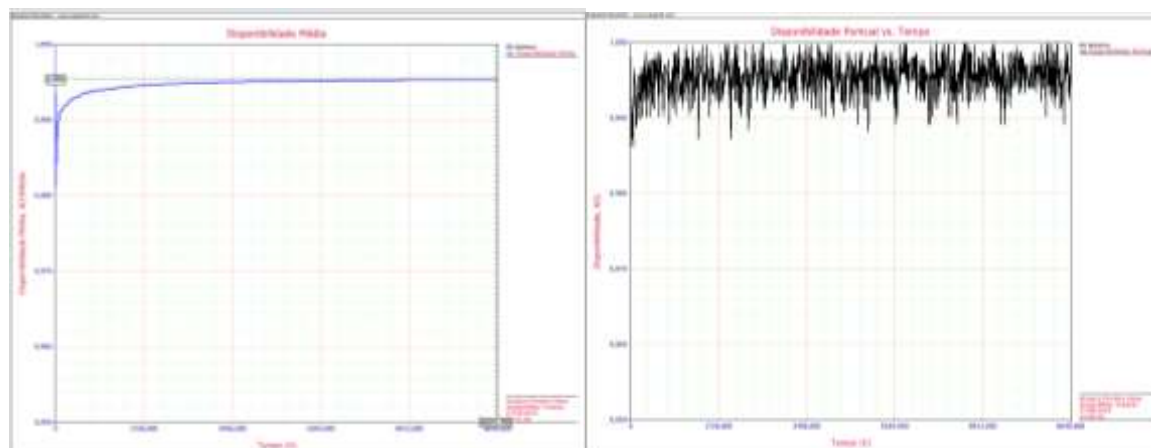
Tabela 3 – Resultado da simulação do RDB

| <b>Visão Geral do Sistema</b>                      |          |
|--|----------|
| <b>Geral</b>                                       |          |
| Disponibilidade Média (Todos Eventos):             | 0,995368 |
| Desvio Padrão (Disponibilidade Média):             | 0,001135 |
| Disponibilidade Média (sem MP, OC e Inspeção):     | 0,995368 |
| Disponibilidade Pontual (Todos Eventos) em 8640 h: | 1        |
| Confiabilidade em 8640 h:                          | 0        |
| Tempo Disponível (h):                              | 8599,976 |
| Tempo Indisponível Total (h):                      | 40,0244  |
| <b>Unidades</b>                                    |          |
| <b>Resumo das Métricas</b>                         |          |
| TMAPF (h):   | 130,1071 |
| MTBF (Tempo Total) (h):                            | 215,973  |
| MTBF (Tempo de Funcionamento) (h):                 | 214,9725 |
| MTBE (Tempo Total) (h):                            | 215,973  |
| MTBE (Tempo de Funcionamento) (h):                 | 214,9725 |
| MTTM (h):  | 1,000485 |
| MTTR (h):  | 1,000485 |
| <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:                     | 40,005   |
| Desvio Padrão (Quantidade de Falhas):              | 6,912797 |
| <b>Ações de MC</b>                                 |          |
| Quantidade de MCs:                                 | 40,005   |
| Tempo Indisponível da MC (h):                      | 40,0244  |

Fonte: ReliaSoft (2019) - adaptado

Pode ser observado que, para este sistema, com base nos dados históricos de ocorrência, a quantidade de falhas esperadas um ano é de aproximadamente 40 falhas, e a disponibilidade média esperada é de 0,995368. A Figura 23 apresenta a disponibilidade média e pontual da simulação do sistema, ao longo do tempo.

Figura 23 – Disponibilidade média e pontual da simulação do sistema



Fonte: ReliaSoft (2019) - adaptado

A disponibilidade esperada para esse sistema, é bem inferior à meta estabelecida para todos os sistemas da automação (99,96%), com um tempo esperado de indisponibilidade de 40,0244h no ano. Para melhorar a disponibilidade deste sistema, faz-se necessário entender quais os modos de falha que mais a impactam. A Figura 24 mostra o resultado da simulação por bloco (modo de falha).

Figura 24 – Resultado da simulação por bloco (modo de falha)

| Resumo Individual do Bloco |                                 |        |         |          |                             |                   |                                 |                               |
|----------------------------|---------------------------------|--------|---------|----------|-----------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| #                          | Nome do Bloco                   | RS FCI | RS DECI | RS DTICI | Disp. Média (Todos Eventos) | # Esperado Falhas | Tempo Indisponível do Bloco (h) | Tempo Disponível do Bloco (h) |
| 1                          | 04.Falha Operacional            | 37,15% | 37,15%  | 31,81%   | 0,99853                     | 14,9              | 12,73                           | 8627,27                       |
| 2                          | 02.Falha no Micro - Cliente     | 19,98% | 19,98%  | 19,05%   | 0,99912                     | 8,0               | 7,62                            | 8632,38                       |
| 3                          | 10.Falha Comunicação do nível 3 | 10,44% | 10,44%  | 16,31%   | 0,99924                     | 4,2               | 6,53                            | 8633,47                       |
| 4                          | 03.Falha no Equipamento de Rede | 14,82% | 14,82%  | 14,24%   | 0,99934                     | 5,9               | 5,70                            | 8634,30                       |
| 5                          | 09.Falha Comunicação do nível 2 | 3,59%  | 3,59%   | 9,14%    | 0,99958                     | 1,4               | 3,66                            | 8636,34                       |
| 6                          | 08.Falha Comunicação do nível 1 | 4,48%  | 4,48%   | 4,08%    | 0,99981                     | 1,8               | 1,63                            | 8638,37                       |
| 7                          | 05.Falha na Aplicação           | 4,71%  | 4,71%   | 3,08%    | 0,99986                     | 1,9               | 1,23                            | 8638,77                       |
| 8                          | 06.Falha no Sistema Operacional | 4,12%  | 4,12%   | 1,19%    | 0,99995                     | 1,7               | 0,48                            | 8639,52                       |
| 9                          | 01.Falha na CPU - Servidor      | 0,53%  | 0,53%   | 1,00%    | 0,99995                     | 0,2               | 0,40                            | 8639,60                       |
| 10                         | 07.Falha no Banco de Dados      | 0,17%  | 0,17%   | 0,11%    | 1,00000                     | 0,1               | 0,04                            | 8639,96                       |

Fonte: ReliaSoft (2019) - adaptado

Portanto com base nestes resultados, pode-se concluir que os modos de falha mais críticos são, em ordem: falha operacional, falha no micro – cliente e falha comunicação do nível 3. Esta criticidade se deve ao impacto principalmente no tempo disponível do bloco e número de falhas esperados para o sistema gerenciamento pátio despacho de bobinas. Cabe ressaltar que falha operacional se deve à execução incorreta de procedimento de operação.

#### 4.7 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Nesse capítulo foi aplicada a metodologia definida no capítulo três para o sistema gerenciamento de pátio de despacho de bobina. Foram apresentadas as etapas desde a definição do sistema, passando pela coleta e tratamento dos dados para que pudessem ser utilizados durante a análise.

Também foi feita a modelagem do sistema de automação de nível 2 e então, foram utilizados os dados para definição das funções densidade probabilidade para os dados de falha e de reparo.

Então foi elaborado o RDB do sistema e realizada a simulação. Após isso, foram apresentados e analisados os resultados obtidos no desenvolvimento de todo trabalho. O próximo capítulo abordará os resultados obtidos dessa análise e as sugestões para trabalhos futuros.

## 5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foram propostas etapas para aplicação da análise RAM em sistema de automação de nível 2, obtendo excelentes resultados no entendimento dos principais fatores que afetam os sistemas de automação de nível 2, quantificando e assim, evidenciando itens que antes eram apenas intuitivos.

Os resultados alcançados nessa análise RAM permitem direcionar ações e facilitar tomadas de decisão para obtenção de resultados melhores para os sistemas de automação. Como por exemplo, o item que mais interfere na disponibilidade são falhas operacionais por procedimento incorreto, sugerindo a necessidade de melhoria na capacitação ou nova realização de treinamento para os operadores.

Além disso, fica evidente que os principais fatores que afetam a disponibilidade do sistema são os equipamentos (terminal micro -cliente e de rede) e a comunicação com as outras redes, principalmente as de nível 2. Ou seja, demonstra a robustez das aplicações desenvolvidas, no quesito de software e indica como ponto de atenção, melhoria da parte de comunicação de dados.

Um ponto a ressaltar foi a qualidade dos registros analisados, sendo necessário pouquíssima intervenção para correção de registros incompletos.

Dentre as dificuldades enfrentadas ao longo desse trabalho, é a dificuldade de obtenção de dados “crus” (originais) dos sistemas. O sistema de registro e controle de falhas não foi pensado para permitir acesso a esses dados, tendo apenas consultas à relatórios de dados consolidados. Para acesso aos dados de vida, foi necessário acesso direto à base de dados, o que demandou muito tempo para que isso fosse viabilizado. Infelizmente isso não é incomum em diversos outros sistemas de registro de falhas, que não estão preparados fornecer os dados necessários para a realização de análises de engenharia de confiabilidade, sendo normalmente idealizado apenas para relatórios gerenciais, com dados consolidados.

Um item que chama também a atenção é que o registro de falhas é puramente manual, fazendo com que fique sujeito à ocorrência de falhas em seu lançamento. Algo que todas as empresas que pretendem utilizar a engenharia de confiabilidade deveriam perseguir é a abertura automática dos incidentes em caso de falha, principalmente quando se trata de softwares/aplicações, onde isso é facilitado através de integração entre os sistemas.



## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Trabalhos futuros poderão explorar os resultados obtidos com a implantação das ações nos modos de falha destacados pela análise realizada. Além disso, esta análise deverá ser expandida para os outros 65 sistemas da automação de nível 2. Também poderão ser identificadas a diferença entre a atuação das diferentes equipes, através dos dados de reparo, para que sejam propostas ações para melhorar a atuação em caso de falha.

## REFERÊNCIAS

- ArcelorMittal Tubarão – Página institucional disponível em <<http://tubarao.arcelormittal.com/quem-somos/arcelor-mittal-tubarao/perfil-empresa/index.asp>>. Acesso em: 14 fev. 2019.
- ARCELORMITTAL TUBARÃO. Banco de imagens, Vitória, 2019
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade – Terminologia. Rio de Janeiro, 1994. Baseada na IEC 50 (191).
- BERQUÓ, Jolan Eduardo - Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade: O trinômio da Operacionalidade - Melhore Seus Conhecimentos MSC 49 – 13 OUT 2014. Disponível em: < [http://www.dcabr.org.br/download/artigos/msc\\_49.pdf](http://www.dcabr.org.br/download/artigos/msc_49.pdf)>. Acesso em 19 mar. 2019
- CHENG, Guo-jian et al. Industry 4.0 Development and Application of Intelligent Manufacturing. 2016 International Conference on Information System and Artificial Intelligence (isai), Hong Kong, p.407-410, jun. 2016. IEEE. Disponível em: < <http://ieeexplore.ieee.org/document/7816745>>. Acesso em: 27 fev. 2019
- COELHO, Pedro Miguel Nogueira. Rumo a Indústria 4.0. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/36992/1/Tese%20Pedro%20Coelho%20Rumo%20%C3%A0%20Industria%204.0.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2019.
- COLOSIMO, E. A.; GIOLO S. R. Análise de Sobrevivência Aplicada, 1a edição, Edgard Blucher. 2006
- DRUCKER, P. O futuro já chegou. Revista Exame, [s.l.], v. 8, n. 710, p.12-19, 22 mar. 2000.
- ELSAYED, A. Reliability Engineering. Massachusetts: Addison Wesley Longman, 1996
- FOGLIATTO, F. S. RIBEIRO, J. L. D. Confiabilidade e manutenção industrial. Rio de janeiro. Elsevier. 2009.
- FRUTUOSO, P. Engenharia de Confiabilidade - Atributos de Confiabilidade. Apostila do Curso de Pós Graduação em Engenharia de Segurança de Processos, Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.
- GROOVER, Mikell. Automação industrial e sistemas de manufatura. 3ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- JUNIOR, J. Desenvolvimento de Ferramenta Computacional para Análise de Confiabilidade baseada na Distribuição Weibull. Graduação em Engenharia de Produção - FAESA, Vitória, 2010

KARDEC, A., NASCIF, J.. Manutenção - Função estratégica. 3ª edição. Rio de Janeiro: QualityMark, 2009.

KAZMIER, L. Estatística aplicada a economia e administração. São Paulo: Editora McGraw-Hill Ltda, 1982

KRISHNASAMY, L.; KHAN, F.; HADDARA M. Development of risk-based maintenance (RBM) strategy for a power-generating plant. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 18, 69-81, 2005.

LAFRAIA, J. R. B.. Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. 5ª Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2008

LEWIS, E. E.. Introduction to Reliability Engineering. 2a ed. Canada: John Wiley & Sons, 1994.

MONTGOMERY, D.; RUNGER, G. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros. 2ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MORAES, Cícero Couto; CASTRUCCI, Plínio de Ladro. Engenharia de automação industrial. [S.l.]: Editora LTC 2007. 2ª Edição - Citado 3 vezes nas páginas 21, 32 e 35.

PALLEROSI, C. A, Confiabilidade de Sistemas vol.4, Confiabilidade, a Quarta Dimensão da Qualidade, 2007.

PEREIRA, Danilo Arruda R. Projeto de um sistema de automação industrial para uma indústria de produtos saneantes. 2015. Disponível em [http://bdm.unb.br/bitstream/10483/15124/1/2015\\_DanilloArrudaRPereira\\_tcc.pdf](http://bdm.unb.br/bitstream/10483/15124/1/2015_DanilloArrudaRPereira_tcc.pdf) Acesso em 15 fev. 2019.

PERIN, Claudio. Indústria 4.0: Qual o grau de maturidade digital da sua empresa. 2019. Disponível em <https://claudioperin.com.br/industria-4-0-qual-o-grau-de-maturidade-digital-da-sua-empresa>. Acesso em 15 fev. 2019.

Reditech Automation – Página institucional disponível em <http://www.reditechautomation.com/>>. Acesso em: 14 fev. 2019.

RELIASOFT Corporation. Plataforma Synthesis, versão 18, 2019.

REIS, D. R. dos. Gestão da Inovação Tecnológica. São Paulo: Manole. 2004. Disponível em: <http://portal.utfpr.edu.br/inovacao/propriedade-intelectual/downloads/01-gestao-da-inovacao.pdf/@@download/file/01-Gestao%20da%20Inovacao.pdf>. Acesso em 15 fev. 2019.

RIBEIRO, J. L. D. Confiabilidade de sistemas. Notas de Aula. PPGE, UFRGS. Porto Alegre, RS, 1995.

RIBEIRO, Marco Antônio. Fundamentos da Automação. Salvador: Tek Treinamento e Consultoria LTDA, 1a edição, 2003.

RÜßMANN, Michael; Gerbert, P., Lorenz, M., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., Harmisch. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing

Industries. 2015. Disponível em: < [https://www.bcg.com/pt-br/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries.aspx](https://www.bcg.com/pt-br/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx)>. Acesso em: 20 fev. 2019.

SILVA, E. L, MENEZES, E. M, Metodologia de Pesquisa e Elaboração de Dissertação. 4ªed. Florianópolis: LED/PPGEP/UFSC, 2005. Disponível em < [https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia\\_de\\_pesquisa\\_e\\_elaboracao\\_de\\_teses\\_e\\_dissertacoes\\_4ed.pdf](https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes_4ed.pdf)>. Acesso em 27 fev. 2019.

VASCONCELLOS, Marcos A. S.; GARCIA, M. E. Fundamentos de Economia. São Paulo: Saraiva, 5º edição, 2012.

WONNACOTT, T. H.; WONNACOTT, R. J. Introductory statistics for business and economics. 2. Ed., John Willey & Sons, Inc., New York, NY, 1977.

World Steel Association. Steel Statistical Yearbook. Disponível em: <[https://www.worldsteel.org/internet-2017/steel-by-topic/statistics/steel-data-viewer/p1\\_crude\\_steel\\_total/bra/world\\_all](https://www.worldsteel.org/internet-2017/steel-by-topic/statistics/steel-data-viewer/p1_crude_steel_total/bra/world_all)> Acesso em: 28 de junho 2019.

ZHOU, Keliang; LIU, Taigang; ZHOU, Lifeng. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. 2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (fskd), Zhangjiajie, p.2147-2152, ago. 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/fskd.2015.7382284>. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7382284>>. Acesso em: 5 fev. 2019.

## **APÊNDICE A - Perguntas de gravidade das ocorrências no SISOCORR**

| Código | PERGUNTAS GRAVIDADE   |
|--------|---|
| 2      | Causou parada da planta ?   |
| 3      | Causou perda de produção ?  |
| 4      | Causou impacto ambiental ?  |
| 5      | Causou perda da qualidade do produto SEM recuperação ?                            |
| 6      | Causou perda da qualidade do produto COM recuperação ?                            |
| 7      | Causou perda de dados SEM recuperação COM impacto operacional ?                   |
| 8      | Causou perda de dados SEM recuperação SEM impacto operacional ?                   |
| 9      | Causou perda de dados COM recuperação COM impacto operacional?                    |
| 10     | Causou perda de dados COM recuperação SEM impacto operacional?                    |
| 11     | Afetou performance do sistema ou função ?   |
| 12     | Causou indisponibilidade ou mau funcionamento de função COM impacto operacional ? |
| 13     | Causou indisponibilidade ou mau funcionamento de função SEM impacto operacional ? |
| 14     | Causou retrabalho para operação ?   |
| 15     | Afetou a condição de trabalho da operação ?                                       |
| 16     | Outras chamadas ?   |
| 102    | Causou parada planta/perda de produção?   |
| 103    | Causou perda de qualidade do produto?   |
| 104    | Causou perda de dados não recuperáveis?   |
| 105    | Sem funções que podem causar perdas?  |
| 106    | Perda de dados com recuperação?   |
| 107    | Outras chamadas?  |
| 108    | Causou perda para o Meio Ambiente?  |
| 110    | Causou parada da planta ?   |
| 111    | Causou perda de produção ?  |
| 112    | Causou impacto ambiental ?  |
| 113    | Causou perda da qualidade do produto SEM recuperação ?                            |
| 114    | Causou perda da qualidade do produto COM recuperação ?                            |
| 115    | Causou perda de dados SEM recuperação COM impacto operacional ?                   |
| 116    | Causou perda de dados SEM recuperação SEM impacto operacional ?                   |
| 117    | Causou perda de dados COM recuperação COM impacto operacional?                    |
| 118    | Causou perda de dados COM recuperação SEM impacto operacional?                    |
| 119    | Afetou performance do sistema ou função ?   |
| 120    | Causou indisponibilidade ou mau funcionamento de função COM impacto operacional ? |
| 121    | Causou indisponibilidade ou mau funcionamento de função SEM impacto operacional ? |
| 122    | Causou retrabalho para operação ?   |
| 123    | Afetou a condição de trabalho da operação ?                                       |
| 124    | Outras chamadas ?   |

**APÊNDICE B – Distribuição do LDA dos modos de falha e dados de  
Mantenabilidade**

## Dados de Vida - Modo de falha 01

**LIFE DATA**

**Distribuição** ⓘ

2P-Weibull

**Configurações da Análise**

|     |     |
|-----|-----|
| MLE | SRM |
| FM  | MED |

**Resumo da Análise**

**Parâmetros** ⓘ

|         |               |
|---------|---------------|
| Beta    | 0,534048      |
| Eta (h) | 166217,624914 |

**Outras**

|             |            |
|-------------|------------|
| Valor da LK | -28,567516 |
|-------------|------------|

**Falhas/Suspensões**

|     |       |
|-----|-------|
| F/S | 3/155 |
|-----|-------|

**Comentários**

## Distribuição da Manutenção - Modo de falha 01

**LIFE DATA**

**Distribuição** ⓘ

2P-Weibull

**Configurações da Análise**

|     |     |
|-----|-----|
| MLE | SRM |
| FM  | MED |

**Resumo da Análise**

**Parâmetros** ⓘ

|         |          |
|---------|----------|
| Beta    | 1,076222 |
| Eta (h) | 1,872545 |

**Outras**

|             |           |
|-------------|-----------|
| Valor da LK | -4,798963 |
|-------------|-----------|

**Falhas/Suspensões**

|     |     |
|-----|-----|
| F/S | 3/0 |
|-----|-----|

**Comentários**

## Dados de Vida - Modo de falha 02



| LIFE DATA                       |             |
|---------------------------------|-------------|
| <b>Distribuição</b>             |             |
| 2P-Weibull                      |             |
| <b>Configurações da Análise</b> |             |
| MLE                             | SRM         |
| FM                              | MED         |
| <b>Resumo da Análise</b>        |             |
| <b>Parâmetros</b>               |             |
| Beta                            | 0,946641    |
| Eta (h)                         | 1066,881222 |
| <b>Outras</b>                   |             |
| Valor da LK                     | -173,591981 |
| <b>Falhas/Suspensões</b>        |             |
| F/S                             | 22/136      |
| <b>Comentários</b>              |             |

Distribuição da Manutenção - Modo de falha 02

| LIFE DATA                       |            |
|---------------------------------|------------|
| <b>Distribuição</b>             |            |
| 2P-Weibull                      |            |
| <b>Configurações da Análise</b> |            |
| MLE                             | SRM        |
| FM                              | MED        |
| <b>Resumo da Análise</b>        |            |
| <b>Parâmetros</b>               |            |
| Beta                            | 1,579818   |
| Eta (h)                         | 1,068420   |
| <b>Outras</b>                   |            |
| Valor da LK                     | -18,340332 |
| <b>Falhas/Suspensões</b>        |            |
| F/S                             | 22/0       |
| <b>Comentários</b>              |            |

Dados de Vida - Modo de falha 03

| LIFE DATA                       |             |
|---------------------------------|-------------|
| <b>Distribuição</b>             |             |
| 2P-Weibull                      |             |
| <b>Configurações da Análise</b> |             |
| MLE                             | SRM         |
| FM                              | MED         |
| <b>Resumo da Análise</b>        |             |
| <b>Parâmetros</b>               |             |
| Beta                            | 0,779629    |
| Eta (h)                         | 1338,876549 |
| <b>Outras</b>                   |             |
| Valor da LK                     | -186,004974 |
| <b>Falhas/Suspensões</b>        |             |
| F/S                             | 24/134      |
| <b>Comentários</b>              |             |

## Distribuição da Manutenção - Modo de falha 03

| LIFE DATA                       |            |
|---------------------------------|------------|
| <b>Distribuição</b>             |            |
| 2P-Weibull                      |            |
| <b>Configurações da Análise</b> |            |
| MLE                             | SRM        |
| FM                              | MED        |
| <b>Resumo da Análise</b>        |            |
| <b>Parâmetros</b>               |            |
| Beta                            | 1,376438   |
| Eta (h)                         | 1,065827   |
| <b>Outras</b>                   |            |
| Pnz                             | 0,958333   |
| Valor da LK                     | -20,369077 |
| <b>Falhas/Suspensões</b>        |            |
| F/S                             | 24/0       |
| <b>Comentários</b>              |            |

## Dados de Vida - Modo de falha 04

| LIFE DATA                       |             |
|---------------------------------|-------------|
| <b>Distribuição</b>             |             |
| 2P-Weibull                      |             |
| <b>Configurações da Análise</b> |             |
| MLE                             | SRM         |
| FM                              | MED         |
| <b>Resumo da Análise</b>        |             |
| <b>Parâmetros</b>               |             |
| Beta                            | 0,943965    |
| Eta (h)                         | 568,752789  |
| <b>Outras</b>                   |             |
| Valor da LK                     | -291,696416 |
| <b>Falhas/Suspensões</b>        |             |
| F/S                             | 40/118      |
| <b>Comentários</b>              |             |

## Distribuição da Manutenção - Modo de falha 04

| LIFE DATA                       |            |
|---------------------------------|------------|
| <b>Distribuição</b>             |            |
| 2P-Weibull                      |            |
| <b>Configurações da Análise</b> |            |
| MLE                             | SRM        |
| FM                              | MED        |
| <b>Resumo da Análise</b>        |            |
| <b>Parâmetros</b>               |            |
| Beta                            | 1,009711   |
| Eta (h)                         | 0,864272   |
| <b>Outras</b>                   |            |
| Valor da LK                     | -33,983102 |
| <b>Falhas/Suspensões</b>        |            |
| F/S                             | 40/0       |
| <b>Comentários</b>              |            |

Dados de Vida - Modo de falha 05

| LIFE DATA                       |             |
|---------------------------------|-------------|
| <b>Distribuição</b>             |             |
| 2P-Weibull                      |             |
| <b>Configurações da Análise</b> |             |
| MLE                             | SRM         |
| FM                              | MED         |
| <b>Resumo da Análise</b>        |             |
| <b>Parâmetros</b>               |             |
| Beta                            | 0,536159    |
| Eta (h)                         | 4699,496534 |
| <b>Outras</b>                   |             |
| Valor da LK                     | -152,593967 |
| <b>Falhas/Suspensões</b>        |             |
| F/S                             | 20/138      |
| <b>Comentários</b>              |             |

Distribuição da Manutenção - Modo de falha 05

| LIFE DATA                       |           |
|---------------------------------|-----------|
| <b>Distribuição</b>             |           |
| 2P-Weibull                      |           |
| <b>Configurações da Análise</b> |           |
| MLE                             | SRM       |
| FM                              | MED       |
| <b>Resumo da Análise</b>        |           |
| <b>Parâmetros</b>               |           |
| Beta                            | 2,011743  |
| Eta (h)                         | 0,732498  |
| <b>Outras</b>                   |           |
| Valor da LK                     | -5,056958 |
| <b>Falhas/Suspensões</b>        |           |
| F/S                             | 20/0      |
| <b>Comentários</b>              |           |

## Dados de Vida - Modo de falha 06

**LIFE DATA**

**Distribuição** ⓘ

2P-Weibull

**Configurações da Análise**

|     |     |
|-----|-----|
| MLE | SRM |
| FM  | MED |

**Resumo da Análise**

**Parâmetros** ⓘ

|         |             |
|---------|-------------|
| Beta    | 0,773695    |
| Eta (h) | 5619,672805 |

**Outras**

|             |            |
|-------------|------------|
| Valor da LK | -70,762716 |
|-------------|------------|

**Falhas/Suspensões**

|     |       |
|-----|-------|
| F/S | 8/150 |
|-----|-------|

**Comentários**

## Distribuição da Manutenção - Modo de falha 06

**LIFE DATA**

**Distribuição** ⓘ

2P-Weibull

**Configurações da Análise**

|     |     |
|-----|-----|
| MLE | SRM |
| FM  | MED |

**Resumo da Análise**

**Parâmetros** ⓘ

|         |          |
|---------|----------|
| Beta    | 1,191692 |
| Eta (h) | 0,312650 |

**Outras**

|             |          |
|-------------|----------|
| Valor da LK | 1,987549 |
|-------------|----------|

**Falhas/Suspensões**

|     |     |
|-----|-----|
| F/S | 8/0 |
|-----|-----|

**Comentários**

## Dados de Vida - Modo de falha 07

**LIFE DATA**

**Distribuição** 2P-Weibull

**Configurações da Análise**

|     |     |
|-----|-----|
| MLE | SRM |
| FM  | MED |

**Resumo da Análise**

**Parâmetros**

|         |              |
|---------|--------------|
| Beta    | 0,544595     |
| Eta (h) | 1,091715E+06 |

**Outras**

|             |            |
|-------------|------------|
| Valor da LK | -10,643727 |
|-------------|------------|

**Falhas/Suspensões**

|     |       |
|-----|-------|
| F/S | 1/157 |
|-----|-------|

**Comentários**

Distribuição da Manutenção - Modo de falha 07

**LIFE DATA**

**Distribuição** 1P-Weibull

**Configurações da Análise**

|     |     |
|-----|-----|
| MLE | SRM |
| FM  | MED |

**Resumo da Análise**

**Parâmetros**

|         |          |
|---------|----------|
| Beta    | 1,000000 |
| Eta (h) | 0,583333 |

**Falhas/Suspensões**

|     |     |
|-----|-----|
| F/S | 1/0 |
|-----|-----|

**Comentários**

Dados de Vida - Modo de falha 08

**LIFE DATA**

**Distribuição** 2P-Weibull

**Configurações da Análise**

|     |     |
|-----|-----|
| MLE | SRM |
| FM  | MED |

**Resumo da Análise**

**Parâmetros**

|         |             |
|---------|-------------|
| Beta    | 0,626433    |
| Eta (h) | 5118,542907 |

**Outras**

|             |             |
|-------------|-------------|
| Valor da LK | -114,038522 |
|-------------|-------------|

**Falhas/Suspensões**

|     |        |
|-----|--------|
| F/S | 14/144 |
|-----|--------|

**Comentários**

## Distribuição da Manutenção - Modo de falha 08

**LIFE DATA**

**Distribuição** ⓘ

2P-Weibull

**Configurações da Análise**

|     |     |
|-----|-----|
| MLE | SRM |
| FM  | MED |

**Resumo da Análise**

**Parâmetros** 🔍

|         |          |
|---------|----------|
| Beta    | 1,166167 |
| Eta (h) | 0,960204 |

**Outras**

|             |            |
|-------------|------------|
| Valor da LK | -12,430938 |
|-------------|------------|

**Falhas/Suspensões**

|     |      |
|-----|------|
| F/S | 14/0 |
|-----|------|

**Comentários**

## Dados de Vida - Modo de falha 09

**LIFE DATA**

**Distribuição** ⓘ

2P-Weibull

**Configurações da Análise**

|     |     |
|-----|-----|
| MLE | SRM |
| FM  | MED |

**Resumo da Análise**

**Parâmetros** 🔍

|         |             |
|---------|-------------|
| Beta    | 0,846797    |
| Eta (h) | 5941,132142 |

**Outras**

|             |            |
|-------------|------------|
| Valor da LK | -55,005396 |
|-------------|------------|

**Falhas/Suspensões**

|     |       |
|-----|-------|
| F/S | 6/152 |
|-----|-------|

**Comentários**

## Distribuição da Manutenção - Modo de falha 09

**LIFE DATA**

**Distribuição** ⓘ

2P-Weibull

**Configurações da Análise**

|     |     |
|-----|-----|
| MLE | SRM |
| FM  | MED |

**Resumo da Análise**

**Parâmetros** 🔍

|         |          |
|---------|----------|
| Beta    | 0,708103 |
| Eta (h) | 2,011770 |

**Outras**

|             |            |
|-------------|------------|
| Valor da LK | -11,076270 |
|-------------|------------|

**Falhas/Suspensões**

|     |     |
|-----|-----|
| F/S | 6/0 |
|-----|-----|

**Comentários**

Dados de Vida - Modo de falha 10

**LIFE DATA**

**Distribuição** ⓘ

2P-Weibull

**Configurações da Análise**

|     |     |
|-----|-----|
| MLE | SRM |
| FM  | MED |

**Resumo da Análise**

**Parâmetros** 🔍

|         |             |
|---------|-------------|
| Beta    | 0,757424    |
| Eta (h) | 1926,828909 |

**Outras**

|             |             |
|-------------|-------------|
| Valor da LK | -151,431034 |
|-------------|-------------|

**Falhas/Suspensões**

|     |        |
|-----|--------|
| F/S | 19/139 |
|-----|--------|

**Comentários**

Distribuição da Manutenção - Modo de falha 10

**LIFE DATA**

**Distribuição** ⓘ

2P-Weibull

**Configurações da Análise**

|     |     |
|-----|-----|
| MLE | SRM |
| FM  | MED |

**Resumo da Análise**

**Parâmetros** 🔍

|         |          |
|---------|----------|
| Beta    | 1,006985 |
| Eta (h) | 1,526024 |

**Outras**

|             |            |
|-------------|------------|
| Valor da LK | -26,967834 |
|-------------|------------|

**Falhas/Suspensões**

|     |      |
|-----|------|
| F/S | 19/0 |
|-----|------|

**Comentários**