

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

HIGOR WONSOWICZ PADILHA
MARIA EDUARDA KOTTEL DE MACEDO

ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE UMA ILHA ROBOTIZADA
OPERANDO EM LINHA DE MONTAGEM AUTOMOBILÍSTICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2019

**HIGOR WONSOWICZ PADILHA
MARIA EDUARDA KOTTEL DE MACEDO**

**ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE UMA ILHA ROBOTIZADA
OPERANDO EM LINHA DE MONTAGEM AUTOMOBILÍSTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) como requisito para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano

CURITIBA

2019

HIGOR WONSOWICZ PADILHA
MARIA EDUARDA KOTTEL DE MACEDO

Análise da confiabilidade de uma ilha robotizada operando em linha de montagem automobilística

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro de Controle e Automação, do curso de Engenharia de Controle e Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 26 de agosto de 2019.

Prof. Paulo Sérgio Walenia, Esp.
Coordenador de Curso
Engenharia de Controle e Automação

Prof. Marcelo de Oliveira Rosa, Dr.
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia de Controle e Automação do DAELT

ORIENTAÇÃO

Prof. Carlos Henrique Mariano, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos Henrique Mariano, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Controle e Automação

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todo o apoio por parte do nosso orientador Prof. Dr. Carlos Henrique Mariano, o qual esteve verdadeiramente presente em todos os passos do desenvolvimento deste trabalho. Aos professores que compõe a banca examinadora, Prof. Dr. Emerson Rigoni e Prof. Dr. Marcelo Rodrigues pelo apoio e dedicação ao longo do nosso desenvolvimento na instituição.

Aos nossos pais, que sempre nos apoiaram nos momentos de fraqueza e comemoraram junto os momentos de felicidade.

Aos nossos amigos, os mais antigos e os mais novos, que forneceram total apoio nas horas mais difíceis e foram essenciais para que pudéssemos suportar todo o estresse.

E por fim, agradecemos um ao outro pela paciência, cuidado, dedicação e o amor sem limites, sendo essencial para a chegada desse momento e dessa conquista.

RESUMO

PADILHA, Higor W.; MACEDO, Maria Eduarda K de. **Análise da confiabilidade de uma ilha robotizada operando em linha de montagem automobilística**. 2019. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia de Controle e Automação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

Este trabalho apresenta uma análise dos modos de falha de uma ilha robotizada de uma empresa automobilística localizada na região metropolitana de Curitiba. Foram utilizados dados coletados de um sistema de supervisão na empresa no início de 2017, com o objetivo de se obter os tempos de falha dos ativos que faziam parte da referida ilha. A partir destes dados, foi realizada uma análise de sobrevivência e encontrados os modelos paramétricos que melhor se ajustaram aos conjuntos de dados de falha analisados de cada ativo e do sistema como um todo. Como resultado encontrou-se, para as 5 categorias empregadas e para todo o sistema, o modelo Weibull com 3 parâmetros, evidenciando que o modo de falha preponderante do sistema e dos ativos que o compõe foi o de desgaste ou envelhecimento. Porém, para a categoria 'Robôs de solda Tucker', observou-se que seu comportamento de falha não seguiu o mesmo padrão dos demais, apresentando modo de falhas prematuras ou mortalidade infantil.

Palavras-chave: Análise de Confiabilidade. Indústria automobilística. Ilha robotizada. Modelo Weibull 3-P, Análise de dados de vida

ABSTRACT

PADILHA, Higor W.; MACEDO, Maria Eduarda K de. **Reliability analysis of an automated area operating in an automotive assembly line**. 2019. 87 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia de Controle e Automação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

This paper presents an analysis of the failure modes of a robotized island of an automobile company located in the metropolitan region of Curitiba. We collected data from a supervisory system at the company in early 2017, in order to obtain the failure times of the assets that were part of that island. From this data, a survival analysis was performed and found the parametric models that best fit the analyzed failure data sets of each asset and the system. As a result, we found, for the 5 categories employed and for the whole system, the 3-parameter Weibull model, showing that the predominant failure mode of the system and its component assets was that of wear or aging. However, for the 'Tucker Welding Robots' category, it was observed that its failure behavior did not follow the same pattern as the others, presenting premature failure mode or infant mortality.

Palavras-chave: Reliability analysis. Automobile industry. Robotized island. Weibull 3-P model, life data analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Custo anual de manutenção no Brasil até 2013	14
Figura 2.1 - Fluxo de montagem de automóveis	23
Figura 2.2 - Design da ilha robotizada.....	24
Figura 4.1 - Representação de <i>uptime</i> e <i>downtime</i> do ativo	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Custos de manutenção por setor	145
Quadro 5.1 - Modelos utilizados na análise de cada categoria	55
Quadro 5.2 - Parâmetros por categoria.....	57
Quadro 5.3 - Ocorrências originiais.....	58
Quadro 5.4 - Reclassificação	59
Quadro 5.5 - Ocorrências após reclassificação.....	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1.1 - Comparativo de Probabilidade Weibull (qualidade do ajuste)	45
Gráfico 5.1.2 - Comparativo da Função de confiabilidade.....	47
Gráfico 5.1.3 - Comparativo da Função de não confiabilidade.....	49
Gráfico 5.1.4 - Comparativo da Função Densidade de Probabilidade de não operação	51
Gráfico 5.1.5 - Comparativo da Taxa de não operação.....	53

LISTA DE SIGLAS

ABB – *Asea Brown Boveri*

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção

AIA - Parada por outros motivos

AIM - Falta de peça

AIS - Saturação de linha

APE - Exploração / Invasão de área

APF - Parada por Falha de Função

APP - Pane

ERP – *Enterprise Resource Planning*

FCR – Função de Risco Crescente

FENABRAVE – Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores

FRD – Função de Risco Decrescente

FRE – Função de Risco Estacionária

IoT – *Internet of Things*

JIT – *Just in Time*

LCC – *Life Cycle Cost*

LFR – Linha Final Robotizada

MTBF – Tempo médio entre falhas

MTTF – Tempo médio até a falha

MTTR – Tempo médio até o reparo

RDA – Análise de Dados Recorrentes

RGA – Análise de Crescimento da Confiabilidade

TPM – *Total Productive Maintenance*

TQM – *Total Quality Maintenance*

VDM – *Value Driven Maintenance*

VGP – Veículos de Grande Porte

VPP – Veículos de Pequeno Porte

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	12
1.1 INTRODUÇÃO	12
1.1.1 Tema	12
1.1.2 Delimitação do tema	16
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	17
1.3 OBJETIVOS	18
1.3.1 Objetivo geral.....	18
1.3.2 Objetivos específicos	18
1.4 JUSTIFICATIVA	19
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	20
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
CAPÍTULO 2	22
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO	22
2.1.1 Caracterização do processo onde o objeto de estudo está inserido.....	22
2.2 APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	23
2.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	25
CAPÍTULO 3	26
3.1 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA	26
3.1.1 Análise de dados de vida	26
3.1.2 Definição de falhas	27
3.2 CONFIABILIDADE	28
3.2.1 Medidas de confiabilidade	29
3.2.2 Função de densidade de probabilidade $f(t)$	29
3.2.3 Função densidade acumulada de falhas $F(t)$	30
3.2.4 Função de confiabilidade $R(t)$	30
3.2.5 Função de risco $h(t)$	31
3.2.6 Tempo médio até falha (MTTF) ou tempo médio entre falhas (MTBF)	31
3.3 DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE UTILIZADA EM ANÁLISES DE CONFIABILIDADE	32
3.3.1 Distribuição Exponencial	33
3.3.2 Distribuição Weibull	34
3.3.3 Distribuição Log-Normal.....	34
3.3.4 Distribuição Gama	35

3.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	37
	CAPÍTULO 4	38
4.1	COLETA, SELEÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	38
4.1.1	Coleta e seleção dos dados	38
4.1.2	Classificação para análise	39
4.1.3	Tratamento dos dados	40
4.1.4	Análise de dados de vida	40
4.2	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO	42
	CAPÍTULO 5	44
5.1	RESULTADOS DA ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA	44
5.1.1	Probabilidade Weibull (qualidade do ajuste):	44
5.1.2	Função de confiabilidade (de operação)	47
5.1.3	Função de não confiabilidade (de não operação)	49
5.1.4	Função Densidade de Probabilidade de não operação	51
5.1.5	Taxa de não operação	53
5.2	COMPARAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	55
5.3	AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DOS DADOS	58
	CAPÍTULO 6	61
6.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
	CAPÍTULO 7	62
7.1	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	63
	APÊNDICE A – Exemplo de relatório gerado pelo ERP (sem tratamento)	67
	APÊNDICE B - Dados após tratamento (utilizados para análise)	68

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Nesta seção será feita uma breve introdução ao tema de estudo escolhido, discorrendo sobre o histórico da manutenção e seu desenvolvimento ao longo dos anos, alguns conceitos e filosofias sobre o assunto e o método de fabricação das indústrias automobilísticas.

1.1.1 Tema

A busca pelo aprimoramento de produtos e processos é algo inerente ao ser humano, que vem evoluindo nesse sentido desde a invenção das primeiras ferramentas pelo homem pré-histórico, com a finalidade de auxiliar no processo de caça e transporte, por exemplo, sendo a invenção da roda, datada de 3500 a.c., "considerada uma das invenções mais antigas e de maior importância na história da humanidade" (BASALLA, 1988, p. 7, tradução nossa). Desde então, a tecnologia vem evoluindo de forma exponencial, acompanhando o anseio do ser humano de se desenvolver e potencializar ao máximo a utilização das suas ferramentas. Contudo, foi somente no século XVI, com a invenção das máquinas têxteis, que a função da manutenção tomou forma, sendo o próprio operador o responsável por realizá-la em sua máquina (WYREBSKI, 1997), porém mantida em segundo plano em relação a outras operações até 1914. Esse cenário foi ofuscado no período da Primeira Guerra Mundial com as linhas de produção de Henry Ford, que demandaram sistemas de manutenção mais ágeis e eficazes (FILHO, 2008, apud GERMANO, A. O., 2018).

De acordo com KARDEC & NASCIF (2009), a partir do ano de 1930, a evolução da Manutenção pode ser dividida em cinco gerações:

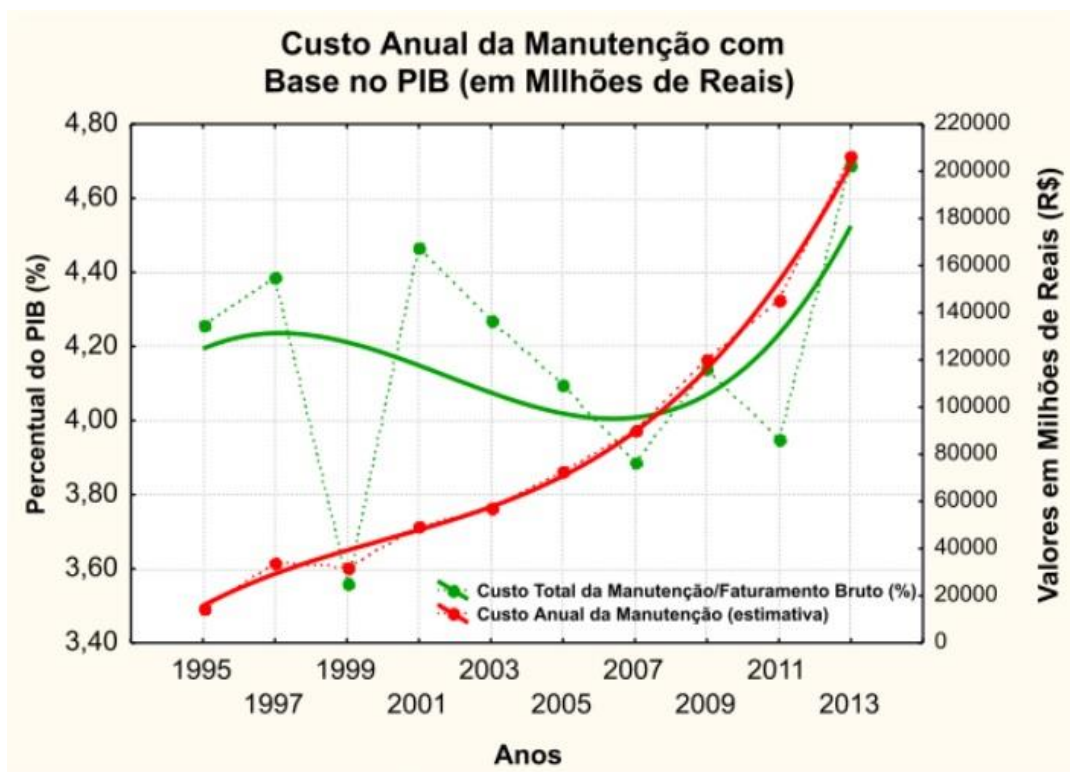
- Primeira geração: período antes da Segunda Guerra Mundial; as máquinas eram simples e a questão da produtividade não era prioridade.

Deste modo, a manutenção realizada era exclusivamente de caráter corretivo não planejado.

- Segunda geração: ocorre entre os anos 50 e 70 após a Segunda Guerra Mundial; aumenta-se o foco na produtividade em consequência da demanda de todo o tipo de produto na mesma época em que o contingente de mão de obra diminui. Assim, as indústrias passam a ser mais mecanizadas e fica evidenciada a necessidade de uma maior disponibilidade e confiabilidade dos produtos. Assim, a manutenção passa a ser de caráter preventivo, em um primeiro momento; os custos operacionais se elevam e as indústrias procuram meios para aumentar a vida útil de suas máquinas.
- Terceira geração: tem início a partir dos anos 70, partindo da preocupação generalizada com as paralisações de produção, que aumentavam os custos e afetavam a qualidade dos produtos. O crescimento da automação e mecanização industrial mostrou que a disponibilidade e confiabilidade tornaram-se pontos-chave em alguns setores. A percepção da consequência que as falhas trariam à produtividade e qualidade dos produtos reforçou o conceito de manutenção preditiva.
- Quarta geração: tem seu início a partir do fim do século XX, quando a disponibilidade se torna a medida de desempenho mais importante da manutenção, enquanto a confiabilidade é um fator de constante busca na área. O foco no gerenciamento de ativos fica evidenciado e a contratação de serviço de manutenção é feita por resultados, não mais por mão de obra.
- Quinta geração: foca os esforços nos resultados empresariais e uma maior colaboração entre os departamentos, garantindo uma melhor gestão de ativos.

Atualmente, com um cenário de expansão tecnológica e globalização, a manutenção se torna cada vez mais requisitada nas indústrias, uma vez que muitas funções ora realizadas através da força de trabalho humana, passaram a ser realizadas por máquinas. Dados da Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN) de 2013 mostraram um crescimento exponencial do investimento na área no Brasil, como ilustrado pela Figura 1.1, realçando sua importância no processo produtivo. Além disso, revelam também que, em média, de 3,5% a 4,5% do PIB brasileiro foram destinados à manutenção.

Figura 1.1 - Custo anual de manutenção no Brasil até 2013



Fonte: ABRAMAN (2013)

Ainda, pesquisas mais recentes realizadas pela ABRAMAN mostram que os gastos com manutenção nas empresas correspondem a 4% dos seus faturamentos, em média (ABRAMAN, 2017), como mostra o Quadro 1.1. Supondo um faturamento anual de R\$ 5 bi de uma empresa automobilística, são R\$ 200.000.000,00 destinados às atividades de manutenção por ano.

Quadro 1.1 – Custos de manutenção por setor

Setores	Custo Manutenção / Faturamento (%)	Custo Manutenção / Valor Imobilizado (%)	Custo Relativo Pessoal Próprio (%)	Custo Relativo Material (%)	Custo Relativo a Contratação (%)	Outros Custos Relativos (%)
Açúcar e Alcool, Alimentos e Bebidas	4%	6%	40%	40%	20%	0%
Aeronáutico e Automotivo	3%	13%	54%	32%	15%	0%
Eletroeletrônicos - Engenharia Elétrica	7%	6%	44%	29%	27%	4%
Químico e Saneamento	5%	5%	46%	38%	16%	0%
Mineração e Siderúrgico	5%	10%	50%	37%	14%	0%
Petróleo e Petroquímico	4%	15%	41%	31%	28%	0%
Papel e Celulose e Plástico	3%	8%	39%	49%	12%	6%
Predial e Prestação de Serviços (EQ e MO)	4%	4%	49%	23%	28%	2%
Máquinas e Equipamentos - Metalúrgico	3%	1%	51%	37%	12%	3%
Média Geral	4%	7%	46%	35%	19%	2%

Fonte: ABRAMAN (2017)

Com a adoção de novas tecnologias e o mercado operando de forma contínua, é de extremo interesse que as empresas não abram precedentes para falhas. Desta forma, para se manter competitiva no mercado, estas organizações devem estar sempre atualizadas frente à concorrência (AZIZI, 2015). Dentro deste contexto, estão inseridas empresas de grande porte do ramo alimentício, energético, farmacêutico e automobilístico, por exemplo.

A indústria automobilística possui um método contínuo de fabricação, exemplificado pela Figura 1.2, onde os produtos fluem de um lado da fábrica para o outro com sequências de montagem bem definidas, contando com um elevado grau de automatização e grande precisão, com foco na alta eficiência e produtividade. Por estar inserida em um mercado extremamente competitivo, acaba sendo obrigada a “buscar novas filosofias de gestão que ajudem a alcançar seus objetivos” (ESTANQUEIRO, 2008).

Atualmente, existem vários métodos, conceitos e filosofias que foram desenvolvidos com o intuito de planejar e executar de forma precisa ações de manutenção, analisando e quantificando suas causas e efeitos. Alguns exemplos são: *Total Productive Maintenance* (TPM), *Reliability Centered Maintenance* (RCM), *Value Driven Maintenance* (VDM), *Life Cycle Cost* (LCC) e *Total Quality Maintenance* (TQM) (LUNDGREN; SKOOGH; BOKRANTZ, 2018). Existem também técnicas quantitativas com o objetivo de identificar a probabilidade de eventos indesejados, como Arvore de Falhas, SIL e Análise RAM (CALIXTO, ANDRADE, LACERDA, 2005).

A presente proposta de pesquisa tem como contexto a análise da confiabilidade, tendo como definição a probabilidade de um item, ativo ou sistema de operar conforme um conjunto de parâmetros de qualidade estabelecidos (FARINHA, 2018, p. 252).

Para exemplificar o processo de análise de confiabilidade será avaliado um ativo específico de uma empresa automobilística da região metropolitana de Curitiba, que possui um planejamento de manutenção sólido e bem estruturado, porém, que não tem implantado um programa de manutenção centrada na confiabilidade. A empresa estudada será referida por Empresa X, para manter a privacidade do seu nome.

1.1.2 Delimitação do tema

O alvo do estudo é uma fábrica de uma indústria automobilística localizada na região metropolitana de Curitiba, que possui como estrutura 5 principais departamentos, sendo eles: estamparia, carroceria, pintura, montagem e qualidade. O processo de produção se inicia pela estamparia, onde as principais peças são moldadas nas chapas de aço galvanizadas. Estas peças são encaminhadas para a carroceria, onde serão soldadas e unidas com o objetivo de criar a funilaria do carro. Este “esqueleto” segue para a pintura, onde recebe tratamentos de superfície e a pintura em sim. Após finalizada esta etapa, o veículo é encaminhado para a área de montagem final, onde será finalizado e, em seguida, será testado pela equipe de qualidade.

O trabalho será desenvolvido na área da carroceria, pois é o departamento responsável pelo ritmo de produção, além de possuir a maior área robotizada da empresa. O “funil” de produção do departamento é a ilha robotizada da *Unit Avant*, foco deste estudo, visto que é nesta unidade de trabalho que os pisos dianteiros de todos os modelos são produzidos. Caso haja algum problema nesta ilha e a produção seja interrompida, o departamento como um todo será afetado diretamente, criando um “efeito dominó” de perdas que impactará em todos os departamentos subsequentes.

Sendo assim o projeto tem como objetivo realizar uma análise das curvas de confiabilidade de uma ilha robotizada de uma fábrica automobilística, na área de carroceria, onde ocorre a montagem e solda de componentes da *face avant* (bloco do motor) do automóvel, para que, futuramente, possam ser traçados as melhores estratégias e planos de manutenção.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

O processo de produção é composto por cinco departamentos: estamparia, carroceria, pintura, montagem e qualidade. A produção tem origem na estamparia, onde as lâminas metálicas são moldadas nas peças a serem utilizadas na composição do veículo. As peças moldadas são direcionadas para o departamento da carroceria, onde serão montadas e soldadas, formando a funilaria do veículo. A funilaria é encaminhada para o departamento de pintura, onde recebe um tratamento superficial que protege o veículo contra agentes antioxidantes, ganha cor e o brilho. A carcaça do veículo é encaminhada para a montagem, onde recebe os componentes internos, rodas, motor, vidros, entre outros. O processo se encerra no departamento de qualidade, onde verificações visuais, testes dinâmicos, alinhamento e outros testes são realizados, para garantir a satisfação do cliente.

Analisando o processo de produção da Empresa X, é possível perceber que o departamento responsável pelo ritmo de produção é a carroceria, considerando que qualquer parada neste departamento impacta diretamente nos departamentos subsequentes. O departamento de estamparia não é considerado o gargalo do processo por trabalhar com lotes e sempre ter um grande estoque armazenado. Apesar de a empresa adotar a filosofia *Just in Time* (JIT), a estamparia é considerada uma exceção à regra. Por se tratar de uma linha de produção e fornecimento de peças, a mesma requer um “pulmão”, de modo a garantir a produção da fábrica e a qualidade das peças a serem produzidas. Desta forma, os departamentos subsequentes só serão impactados caso haja uma falha de grande duração na estamparia (maior que sete dias).

Ao acompanhar os processos das unidades de trabalho do departamento, é possível perceber que o posto de trabalho que mais interfere no ritmo de produção,

devido à sua parada, é a ilha robotizada responsável pela finalização dos pisos dianteiros.

A área automatizada é relativamente nova, implantada em meados de 2018, com a finalidade de substituir as atividades manuais dos operadores e aumentar a capacidade de produção do departamento, reduzindo seu tempo de ciclo. Composta por robôs ABB (*Asea Brown Boveri*), tanto de solda quanto de transporte, o conjunto robótico é responsável pela finalização do processo de produção dos pisos dianteiros de todos os modelos produzidos na fábrica.

O principal objetivo deste estudo é identificar, por meio da metodologia de análise de dados de vida qual a origem das paradas não previstas (se são de origem humana ou por falhas do ativo) e realizar a análise de confiabilidade dos sistemas.

1.3 OBJETIVOS

Nesta seção serão discorridos sobre o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

1.3.1 Objetivo geral

Realizar a análise de dados de vida dos ativos que compõe uma ilha robotizada no setor de carrocerias de uma linha de produção automobilística.

1.3.2 Objetivos específicos

Para que os objetivos descritos sejam alcançados, é necessário que algumas metas sejam atingidas:

- Discorrer sobre a escolha da ilha robotizada para a análise de confiabilidade;
- Definir os limites físicos e a função de cada ativo do sistema, de modo a categorizá-los para análise futura;

- Definir as maneiras pelas quais a ilha robotizada pode falhar (modos de falha);
- Obter as métricas de confiabilidade.

1.4 JUSTIFICATIVA

Com o passar dos anos, a tecnologia conquistou um papel fundamental no ambiente fabril, seja por auxiliar as operações ou por realiza-las por completo, com conceitos como Manufatura Inteligente, como elemento central (KAGERMANN, 2013), e o advento da Internet das Coisas (*Internet of Things, IOT*), serviços de armazenamento em nuvem e *big data* (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019).

Atualmente, a automatização das linhas de produção se tornou indispensável para que se tenha uma grande competitividade no mercado. Contudo, para que essa integração homem-máquina seja vantajosa, é necessário acompanhar o sistema de modo a garantir a qualidade da operação e o rendimento pré-definido dos ativos.

Como mencionado anteriormente, no processo de produção da Empresa X, é possível perceber que o departamento responsável pelo ritmo de produção é a carroceria, considerando que qualquer parada neste departamento impacta diretamente nos departamentos subsequentes. Ao acompanhar os processos das unidades de trabalho do departamento, é possível perceber que o posto de trabalho que mais interfere no ritmo de produção, devido à sua parada, é a ilha robotizada responsável pela finalização dos pisos dianteiros. Por estes motivos esta pesquisa então se justifica.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para que o trabalho possa ser realizado em sua plenitude, é necessário que se tenha bem claro o modo de funcionamento e estrutura do sistema estudado. Neste sentido, o trabalho será baseado em dados empíricos, obtidos através de um software de controle, no período de 09/01/2017 a 07/02/2017. O conjunto de dados, obtidos do *Enterprise Resource Planning* (ERP) utilizado pela empresa, contém todo e qualquer tipo de parada referente ao conjunto, como paradas por panes, por falta de material, por falhas, entre outros.

O software gera um relatório contendo dados referentes a paradas, saturação de linha e falta de peças. Cada linha de informação é uma ocorrência, também conhecida como “bloco”. Cada bloco é registrado pelo sistema contendo informações como: tipo de dado, observações, duração, ativo responsável pela ocorrência, entre outros.

Finda a coleta de dados, se estabelecerão os limites e a função dos sistemas da ilha robotizada e se definirão as maneiras pelas quais o sistema pode falhar (modos de falha). Para isso se utilizará resultados da análise de confiabilidade do sistema.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho será dividido em seis capítulos:

- O Capítulo 1 é voltado à introdução, onde será apresentado o contexto no qual o tema está inserido, no que o mesmo se baseia, as justificativas para realização do trabalho e a sua organização;
- No Capítulo 2 será realizada a caracterização do processo, envolvendo todas as etapas da linha de produção e da ilha robotizada;
- No Capítulo 3 serão apresentados conceitos de análise de dados de vida, falhas, confiabilidade e suas métricas;
- No Capítulo 4 será realizado o processo de coleta e seleção dos dados para a posterior identificação e classificação dos modos de falha;

- No Capítulo 5 serão apresentados os resultados da análise de confiabilidade, considerando a aplicação das técnicas quantitativas de análise de sobrevivência para a caracterização dos modos de falha;
- O Capítulo 6 consiste nas considerações finais do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.
- Por fim, o Capítulo 7 consiste na conclusão e sugestões de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO

Nesta seção, discorrer-se-á a respeito da Empresa X, para que se tenha uma melhor noção da significância da empresa para o mercado automotivo. Também será detalhada a estrutura de funcionamento do objeto de estudo e sua composição, justificando o trabalho a ser desenvolvido.

2.1.1 Caracterização do processo onde o objeto de estudo está inserido

A indústria automotiva no Brasil teve seu desenvolvimento baseado em montadoras estrangeiras que aqui se estabeleceram, recebendo incentivos por parte do governo para a produção de veículos. Ao longo dos anos, o número de montadoras aumentou consideravelmente, fazendo com que a grande maioria dos carros que rodam dentro dos limites do país tenham sido produzidos aqui mesmo. A empresa analisada neste trabalho é multinacional e possui subsidiárias no Brasil, com um complexo situado na região metropolitana de Curitiba. Ao longo de sua história, produziu mais de 3 milhões de carros e 4 milhões de motores. Conforme dados da Fenabreve (Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores), a empresa possui uma grande participação no mercado, com uma quantidade de mais de 200.000 veículos emplacados em 2018, entre automóveis e comerciais leves (FENABREVE, 2019).

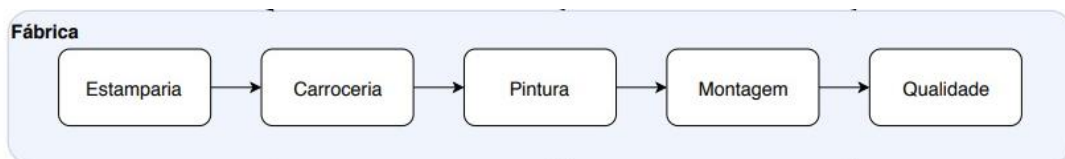
A fábrica de veículos é composta por 5 departamentos:

- Estamparia: Este departamento é responsável pela estampagem das peças a serem utilizadas posteriormente no departamento da carroceria;
- Carroceria: É responsável pelo encaixe e solda das peças, de forma a se estruturar o “esqueleto” do veículo, também conhecido como funilaria;

- Pintura: Neste departamento ocorre o processo de proteção da chapa do veículo, através de um tratamento antiferrugem, e é aonde o veículo ganha a sua cor final e brilho;
- Montagem: É responsável pela montagem final do veículo, desde a parte mecânica do veículo, passando pela montagem do interior do mesmo e finalizando com os acabamentos externos;
- Qualidade: É o último departamento, atuando diretamente na verificação de todos os itens que interferem na qualidade do produto de acordo com a visão do cliente. Realiza testes visuais e de performance do veículo.

O fluxo de montagem pode ser observado através da Figura 2.1.

Figura 2.1 - Fluxo de montagem de automóveis



Fonte: Autoria própria

2.2 APRESENTAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

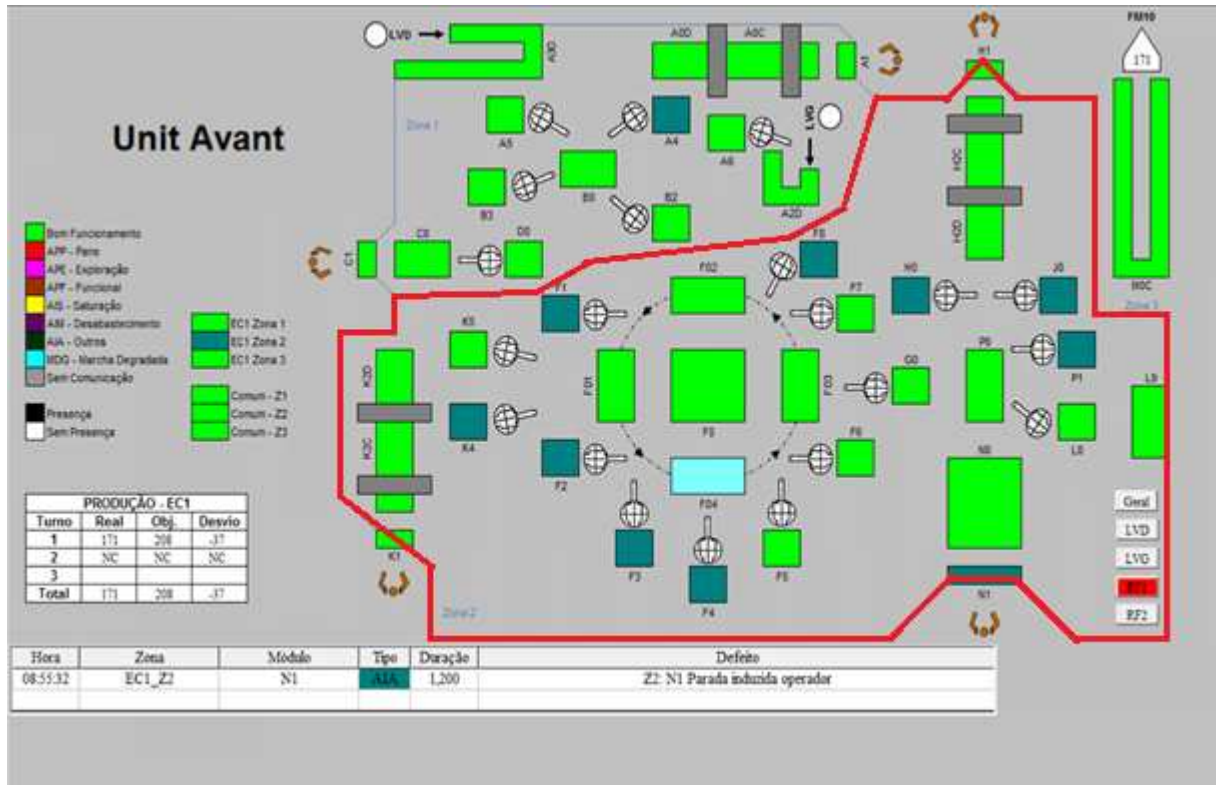
O estudo será realizado no departamento da carroceria, especificamente na ilha robotizada responsável pelo processo de montagem e solda da *unit avant* (piso dianteiro).

A área robotizada é composta por duas zonas (z1 e z2), sendo que na zona 1 ocorre o processo de montagem do piso dianteiro e na zona 2 ocorre a etapa de soldagem dos pisos.

O foco será na zona 2, por ser a zona responsável pela maior parte do processo e por ser responsável pelo maior número de paradas.

A área possui sua estrutura conforme representada pela Figura 2.2.

Figura 2.2 - Design da ilha robotizada



Fonte: Autoria própria

A zona 2 é composta por 16 postos automatizados e 15 braços robóticos, sendo eles robôs de transporte e de solda, totalizando 31 módulos supervisionados. O posto K1 é composto por uma esteira, que transporta os chassis de cada modelo para o interior da ilha robotizada, conforme o filme de produção. Os chassis são transportados até os robôs de transporte K4 e K5, responsáveis por encaixarem as peças na mesa de soldagem F0. A mesa de soldagem F0 posiciona as peças em 4 postos diferentes, onde serão realizadas as sequências de solda respectivas. Ao chegar no posto F04, o robô G0, também de transporte, retira a peça da mesa de soldagem e a posiciona próximo ao robô L0, que iniciará o processo de soldagem dos parafusos Tucker. Finalizado este processo, o robô G0 destinará a peça para sua linha correta: em casos de VPP, a peça é encaminhada para M0C (monofluxo VPP); em casos de VGP, as peças são posicionadas no posto N0 (carrinho de transporte), e será encaminhada por um operador para o monofluxo da linha de VGP.

O estudo será realizado nesta área por se tratar de uma região considerada “funil” de produção, ou seja, qualquer parada nesta área impactará diretamente no volume final de produção.

2.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo discorreu-se de forma resumida sobre a Empresa X, de modo a se destacar a importância da realização deste trabalho. Foi explanado, de forma resumida, os processos realizados dentro da fábrica, assim como detalhou-se sobre a estrutura do objeto de estudo e seus componentes, de modo a se compreender o funcionamento do mesmo e o impacto causado pelo mesmo no processo de produção.

A apresentação da estrutura de produção da fábrica se mostrou necessária para delinear a importância deste estudo, de modo a se demonstrar a relevância da escolha do foco deste trabalho. Além disso, foi necessário apresentar seu layout e modo de operação para a compreensão da análise a ser realizada posteriormente.

O próximo capítulo abordará sobre análise de dados de vida e falhas, passando por conceitos de confiabilidade e suas métricas.

CAPÍTULO 3

3.1 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

Nesta seção, serão apresentados os conceitos de confiabilidade e das principais métricas de confiabilidade a saber: a função de densidade de probabilidade de falhas, a função de probabilidade acumulada de falhas, as funções de sobrevivência e não sobrevivência e a função taxa de falha ou de risco. Destaca-se o emprego de modelos matemáticos probabilísticos, considerando a probabilidade de sobrevivência ou de não sobrevivência, conhecidas como confiabilidade/não confiabilidade, como uma variável aleatória, para se aproximar do comportamento real do sistema. A determinação desta probabilidade é dada através da modelagem dos tempos de falha do sistema em estudo. De posse destes tempos pode-se modelar o comportamento de falha do sistema ajustando-os à uma distribuição de probabilidade teórica conhecida. Este caso é chamado de análise paramétrica. Ainda, é possível se estimar a função de sobrevivência do sistema por meio de uma análise não paramétrica, que não utiliza uma distribuição de probabilidade teórica, como no método Kaplan-Meier.

3.1.1 Análise de dados de vida

A análise de dados de vida “se refere ao estudo e modelagem dos dados coletados durante a vida do produto observado” (RELIASOFT, 2015, tradução nossa)¹. Utiliza de teorias estatísticas e, principalmente a análise de sobrevivência, para construir modelos probabilísticos, a partir de dados de falhas (RELIASOFT, 2015). As estimativas dos parâmetros da população (dados de falha) podem ser construídas de duas formas: paramétrica e não paramétrica. Quando utiliza os modelos estocásticos representados por distribuições teóricas, em sua maioria

¹ “[...] refers to the study and modeling of observed product lives.” (RELIASOFT, 2015)

contínuas, que contém parâmetros que são estimados a partir de amostras de dados empíricos de falhas, denomina-se esta análise de paramétrica. Estes modelos então, são identificados como paramétricos, dos quais destaca-se as distribuições Exponencial, Weibull, Gama e Log-Normal dentre outras (ABERNETHY, 2004; RAUSAND & HØYLAND, 2004). Outra possibilidade são os modelos não paramétricos, obtidos a partir de métodos como o de Kaplan Meier, para estimação da curva de sobrevivência ou de confiabilidade do ativo em estudo (ABERNETHY, 2004).

A análise de dados de vida considera dois enfoques distintos na análise de sistemas: análise de sistemas não reparáveis e a análise de sistemas reparáveis (CROW, 1975; RUGGERI, 2006). Na análise de sistemas não reparáveis, também chamados sistemas de missão única, observa-se a variabilidade de tempos até a falha de componentes idênticos operando sobre mesmas condições e de acordo com suas especificações e, procura-se encontrar o modelo estocástico teórico que se represente o modo de falha estudado (ABERNETHY, 2004).

No caso dos sistemas reparáveis, estes por sua vez são considerados processos estocásticos cuja análise da dicotomia falha/reparação pode ser analisada por técnicas como a Análise de Dados Recorrentes (RDA) ou Análise de Crescimento da Confiabilidade (RGA) se adequam melhor, por levarem em consideração o fator de reparação do sistema (CROW, 1975; RELIASOFT, 2015; COQUE JR, 2016).

Para que se obtenha informações para se construir uma curva da função densidade de probabilidade de falhas $f(t)$ de um determinado sistema, poderão ser coletados dados empíricos de falhas ou poderão, por exemplo, ser realizados testes acelerados de vida, nos quais “x” ativos falham e tem seus dados de vida registrados.

3.1.2 Definição de falhas

De acordo com Rodrigues (2014), “falha é um desvio não previsto ou permitido de pelo menos uma característica ou critério do produto ou sistema”. O termo “falha”, conforme o Federal Standard 1037C, possui as seguintes definições:

- Uma condição acidental que faz com que uma unidade funcional não consiga executar sua função;
- Um defeito que causa um mau funcionamento reproduzível ou catastrófico. Um mau funcionamento é considerado reproduzível se ocorre consistentemente sob as mesmas circunstâncias.

As causas das falhas possuem uma diversidade incontável de fatores, sendo os componentes físicos e os colaboradores os mais relevantes (RODRIGUES, 2014). Ação do tempo, mau uso, intempéries, conhecimento, interferências emocionais e tempo de execução da tarefa são alguns fatores que interferem diretamente nos componentes físicos ou nos colaboradores.

Para que seja realizado um diagnóstico preciso das falhas, são realizadas quatro etapas principais (RODRIGUES, 2014), sendo elas:

- Detecção da falha: momento em que se percebe que um mau funcionamento ocorreu;
- Isolamento da falha: processo de delimitação da falha;
- Identificação da falha;
- Análise da falha: quando se conhece a amplitude e impacto da falha. As consequências das falhas afetam diretamente o usuário, e variam no grau de importância e interferência no resultado do processo.

Em geral, uma falha é caracterizada por qualquer aspecto inesperado não condizente com o estado considerado “normal” de um sistema. No contexto deste trabalho, todos os eventos de perda de função ou não disponibilidade foi considerado como uma falha, independente da causa.

3.2 CONFIABILIDADE

De acordo com Fogliatto (2009) e Lafraia (2001), a confiabilidade de um item ou sistema corresponde à sua probabilidade de desempenhar o seu propósito

especificado, por um determinado período e sob condições ambientais pré-determinadas. É uma característica inerente de um item relacionada com sua habilidade de manter sua funcionabilidade quando usado como especificado.

O estudo da confiabilidade se tornou necessário com a evolução da indústria e a necessidade cada vez maior de um ativo confiável, com o menor número de falhas possível. Apesar do conceito de confiabilidade ter surgido para identificar os defeitos em produção de larga escala, o mesmo se tornou uma ferramenta de grande utilidade na manutenção (RAUSAND & HØYLAND, 2004). O estudo traz informações valiosas para identificar o comportamento do ativo, sendo possível mapear as principais interferências e motivos de falhas ou quebras. Desta forma, o plano de ação e medidas preventivas e/ou corretivas são mais assertivas. Existem ainda algumas medidas de confiabilidade, como função de risco e densidade de probabilidade de falhas, que serão explanadas no capítulo seguinte.

3.2.1 Medidas de confiabilidade

As medidas de confiabilidade mais comumente utilizadas são: função de densidade de probabilidade de falhas $f(t)$, a função densidade acumulada de falhas $F(t)$, função de confiabilidade $R(t)$, função de risco $h(t)$, tempo médio até a falha (MTTF, do inglês *Mean Time To Failure*) e o tempo médio entre falhas (MTBF, do inglês *Mean Time Between Failure*).

3.2.2 Função de densidade de probabilidade $f(t)$

A função de densidade de probabilidade ($f(t)$) é uma função não-negativa, $f(t) \geq 0$, usada para representar a distribuição de probabilidades caso a variável aleatória (X) seja contínua, e pode ser definida como:

$$P(T) = \int f(t) dt, \quad (1)$$

cujo valor representa a probabilidade da ocorrência de falhas em determinado instante (SILVERMAN, 1986).

3.2.3 Função densidade acumulada de falhas $F(t)$

A função densidade acumulada de falhas calcula a probabilidade acumulada de uma determinada variável aleatória T , e é definida conforme a Eq. 2.

$$F(t) = P(T < t) = \int_{-\infty}^t f(u) du \quad (2)$$

A função densidade acumulada de falhas caracteriza um esforço para a associação das probabilidades aos valores ou intervalos de valores da variável T (ZWILLINGER & KOKOSKA, 2000; NELSON, 2004).

3.2.4 Função de confiabilidade $R(t)$

Fogliatto (2009), define que a função de confiabilidade ($R(t)$) informa a probabilidade de um sistema apresentar sucesso na sua operação (ou seja, ausência de falhas) no intervalo de tempo $(0, t)$ e continuar funcionando no tempo t . Também é conhecida como função de sobrevivência.

3.2.5 Função de risco $h(t)$

É a medida de confiabilidade mais difundida na prática. Pode ser interpretada como a quantidade de risco associada a um sistema em determinado instante. Serve como base de comparação entre sistemas com características distintas, pois sistemas com a mesma confiabilidade $R(t)$ no instante t podem ter funções de risco bastante diferentes. Sua unidade de medida é normalmente dada como quantidade de falhas por unidade de tempo (FINKELSTEIN, 2008).

A forma da função de risco demonstra a forma como o sistema envelhece, podendo ser segregada em três definições distintas:

- a) Função de Risco Crescente (FCR), onde a incidência de risco cresce com o tempo;
- b) Função de Risco Decrescente (FRD), onde a incidência de risco decresce com o tempo;
- c) Função de Risco Estacionária (FRE), onde o sistema está exposto a uma mesma quantidade de risco, a qualquer momento.

3.2.6 Tempo médio até falha (MTTF) ou tempo médio entre falhas (MTBF)

O tempo médio até falhar (do inglês *Mean Time To Failure - MTTF*) ou o tempo médio entre falhas (do inglês *Mean Time Between Failure - MTBF*) é definido em função da confiabilidade ou da função densidade de probabilidade, dado pela Eq. 3.

$$T_{m\u00e9dio} = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} t \cdot f(t)dt \quad (3)$$

ou seja, trata-se do valor esperado até que uma falha do sistema ocorra, desde o início de seu funcionamento, com $t = 0$ (VONTA & RAM, 2019). O MTTF é considerado para sistemas não reparáveis, que são aqueles que, na ocorrência de uma falha, necessitam substituição (COQUE JR, 2016), como rolamentos, lâmpadas, resistores, fusíveis, etc. Em contrapartida, sistemas reparáveis são aqueles em que ações de manutenção são viáveis durante um intervalo de tempo (FOGLIATTO, 2009) e, sendo este o caso, considera-se o MTBF.

3.3 DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE UTILIZADA EM ANÁLISES DE CONFIABILIDADE

Como citado anteriormente, a confiabilidade de um sistema representa sua probabilidade de sobrevivência até um determinado tempo t . O valor de t não pode ser previsto a partir de um modelo determinístico, porque componentes similares em um sistema, quando sujeitos aos mesmos esforços, falharão em momentos diferentes e de formas diferentes. Desta forma, utilizando-se de modelos matemáticos probabilísticos, considerando a confiabilidade/não confiabilidade como uma variável aleatória, é possível se aproximar do comportamento real do sistema. A determinação desta probabilidade é dada através da modelagem dos tempos de falha do sistema em estudo. De posse destes tempos pode-se modelar o comportamento de falha do sistema ajustando-os à uma distribuição de probabilidade teórica conhecida. Este caso é chamado de análise paramétrica. Ainda, é possível se estimar a função de sobrevivência do sistema por meio de uma análise não paramétrica, que não utiliza uma distribuição de probabilidade teórica, como no método Kaplan-Meier, por exemplo.

As distribuições estatísticas, ou modelos paramétricos, mais utilizadas para descrever tempos de falha de sistemas são (RAUSAND & HØYLAND, 2004): Exponencial, Weibull, Lognormal e Gama.

3.3.1 Distribuição Exponencial

É a única distribuição contínua com função de risco constante, apresentando propriedades importantes. Neste modelo, considera-se que todas as unidades, independentemente de sua idade ou tempo de uso, possuem a mesma confiabilidade $R(t)$ para qualquer t , ou seja, não se leva em consideração o efeito do desgaste do sistema. É apontado como o método mais simples em termos matemáticos, e reconhecido como um dos mais importantes modelos (NELSON, 1982).

A função de densidade de probabilidade pode ser monoparamétrica ($f(t)$) (Eq. 4) ou biparamétrica ($f(T)$) (Eq. 5), dadas por (RELIASOFT, 2008):

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} = \frac{1}{m} e^{-\frac{1}{m}t} \quad (4)$$

$$f(T) = \lambda e^{-\lambda(T-\gamma)}, f(T) \geq 0, \lambda > 0 e T \geq \gamma \quad (5)$$

O modelo exponencial possui apenas um parâmetro λ , que representa a taxa de falha constante. O parâmetro λ ainda é composto por m (média entre falhas) e t (tempo de operação). A função de confiabilidade $R(t)$ e a função de risco $h(t)$ são definidas pelas expressões (RELIASOFT, 2008):

$$R(t) = e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad (6)$$

$$h(t) = \lambda \quad (7)$$

Percebe-se que a função de risco $h(t)$ apresenta o valor da função de risco igual ao valor do parâmetro de distribuição, conhecido como falta de memória da distribuição exponencial. Quando este modelo é adotado para análise de dados, sabe-se automaticamente que os riscos de falha para todos os componentes do sistema serão os mesmos.

3.3.2 Distribuição Weibull

O modelo de distribuição Weibull é indicado para situações em que o tempo até falha é bem definido, possuindo uma variedade de formas, se adaptando a diversas situações.

Para Rigoni (2019) a função de densidade de probabilidade $f(t)$ é dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta^\beta} \cdot (t - t_0)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta}, \quad x \geq 0 \quad (8)$$

A função de confiabilidade $R(t)$ e a função de risco $h(t)$ são definidas pelas expressões:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta} \quad (9)$$

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (10)$$

onde t o período de vida transcorrido.

3.3.3 Distribuição Log-Normal

O modelo de distribuição Log-Normal é muito utilizado para modelagem de tempos até reparos em unidades reparáveis. Herrmann (2011) afirma que o modelo Log-Normal se adequa muito bem em estudos de confiabilidade em que o tempo de falha é bem definido através de uma distribuição de probabilidades Log-Normal. Sua função de densidade de probabilidade $f(t)$ é dada pela expressão (RELIASOFT, 2008):

$$f(T') = \frac{1}{\sigma' \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{T' - \mu'}{\sigma'} \right)^2} \quad (11)$$

em que μ' é a média do logaritmo do tempo até falha, assim como σ' é o desvio padrão, T' equivale a $\ln(T)$ e T é o tempo até a falha.

A função de confiabilidade $R(t)$ e a função de risco $h(t)$ são definidas pelas expressões:

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma' \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{T' - \mu'}{\sigma'} \right)^2} dt \quad (12)$$

$$h(t) = \frac{f(T')}{R(t)} \quad (13)$$

As funções de confiabilidade $R(t)$ e taxa de falha não possuem uma forma analítica explícita.

3.3.4 Distribuição Gama

Assim como a Weibull, este modelo também é uma generalização da distribuição exponencial, sendo amplamente utilizado para descrever dados relacionados com tempo.

Sua função de densidade de probabilidade $f(t)$ é dada pela expressão (RELIASOFT, 2008):

$$f(t) = \frac{\beta}{\Gamma(\kappa)\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\kappa\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\theta} \right)^\beta} \quad (14)$$

onde $\theta > 0$ representa o parâmetro de escala, $\beta > 0$ e $\kappa > 0$ são os parâmetros de forma e $\Gamma(x)$ é a função gama de x . Entretanto, de acordo com a distribuição dada,

problemas de convergência podem surgir. Dessa forma, o software Weibull++ utilizado neste trabalho, reparametriza estas equações como exemplificado pela Eq. 15, E1. 16 e Eq. 17 (RELIASOFT, 2008).

$$\mu = \ln(\theta) + \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{1}{\lambda^2}\right) \quad (15)$$

$$\sigma = \frac{1}{\beta\sqrt{\kappa}} \quad (16)$$

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

onde $-\infty < \mu < \infty, \sigma > 0$ e $-\infty < \lambda < \infty$. Deste modo:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{|\lambda|}{\sigma \cdot t} \cdot \frac{1}{\Gamma\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)} \cdot e^{\left[\frac{\lambda \cdot \frac{\ln(t)-\mu}{\sigma} + \ln\left(\frac{1}{\lambda^2}\right) - e^{\lambda \cdot \frac{\ln(t)-\mu}{\sigma}}}{\lambda^2} \right]}, & \text{para } \lambda \neq 0 \\ \frac{1}{t \cdot \sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma} \right)^2}, & \text{para } \lambda = 0 \end{cases} \quad (18)$$

Assim, a função de confiabilidade $R(t)$ é definida pela expressão:

$$R(t) = \begin{cases} 1 - \Gamma_I \left(\frac{e^{\lambda \left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma} \right)}}{\lambda^2}; \frac{1}{\lambda^2} \right) & \text{se } \lambda > 0 \\ 1 - \Phi \left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma} \right) & \text{se } \lambda = 0 \\ \Gamma_I \left(\frac{e^{\lambda \left(\frac{\ln(t)-\mu}{\sigma} \right)}}{\lambda^2}; \frac{1}{\lambda^2} \right) & \text{se } \lambda < 0 \end{cases} \quad (19)$$

3.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os conceitos de análise de dados de vida, falhas e confiabilidade. Foram apresentados os conceitos das principais métricas da análise da confiabilidade, como a função densidade de probabilidade, a função de confiabilidade, a função de não confiabilidade, o tempo médio entre falhas e a função taxa falha ou de risco. Foram apresentados também alguns dos modelos paramétricos mais comuns, segundo Rausand & Høyland (2004), na análise de dados de vida de um item ou sistema, com destaque ao modelo Weibull que foi o que melhor se ajustou aos dados que foram analisados neste trabalho.

Nos capítulos seguintes os dados foram expostos os dados coletados e o tratamento dos mesmos, para que pudesse ser realizado em seguida a análise de confiabilidade de todas as categorias de operações analisadas.

CAPÍTULO 4

4.1 COLETA, SELEÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Neste capítulo será explanado sobre os dados adquiridos por meio do ERP da empresa, e o processo de seleção e tratamento dos dados. Será discorrido sobre os critérios de seleção e identificado os valores a serem utilizados.

4.1.1 Coleta e seleção dos dados

A empresa analisada utiliza um software de controle para obtenção de dados referentes ao processo de produção. Este ERP obtém todo e qualquer tipo de parada referente ao conjunto analisado, como paradas por panes, por falta de material, por falhas, entre outros.

Além destas informações, o sistema classifica a parada de acordo com o seu tipo, utilizando as seguintes categorias, que são traduzidas como:

- AIA: Parada por outros motivos;
- AIM: Falta de peça;
- AIS: Saturação de linha;
- APE: Exploração / Invasão de área;
- APF: Parada por Perda de Função;
- APP: Pane.

A definição de confiabilidade estabelece que a confiabilidade de um item ou sistema é uma característica inerente de um item relacionada com sua habilidade de manter sua funcionabilidade quando usado como especificado (FOGLIATTO, 2009; LAFRAIA, 2001). Sendo assim, somente paradas ocasionadas por perda de função ou

pane são levadas em consideração, restringindo os dados analisados para aqueles que se enquadram nas categorias APF e APP.

4.1.2 Classificação para análise

Além da análise por categoria, as ocorrências foram classificadas de acordo com a sua função no sistema.

O sistema analisado possui 31 módulos supervisionados, capazes de gerar ocorrências de parada de produção. Estes módulos funcionam de forma independente, visto que sua posição na linha de produção não interfere em seus modos de falha. Sendo assim, foi possível agrupar robôs numa mesma categoria, de acordo com a sua função no sistema.

As categorias são:

- Zona global: ocorrências que ocasionam paradas em toda a ilha robotizada;
- Interface homem-máquina: componentes de alimentação da ilha, realizada por operadores (4 módulos);
- Mesa de operação: suporte das peças, compostos por referências e serragens (dispositivos de fixação) (8 módulos);
- Robôs de solda ponto: braços robotizados responsáveis pela solda ponto das peças (10 módulos);
- Robô Tucker: braços robotizados responsáveis pela solda de parafusos do tipo Tucker (1 módulo);
- Robô de transporte: braços robotizados responsáveis pela movimentação das peças entre os postos de operação (8 módulos).

4.1.3 Tratamento dos dados

Após identificar-se as categorias a serem analisadas e realizar-se a classificação de acordo com a função, foi necessário tratar os dados. O relatório gerado pelo sistema disponibiliza a data e horário de início e fim da ocorrência, o que permite mensurar sua duração. Com essas informações, adquiriu-se os tempos de falha das diversas ocorrências registradas durante o período de análise.

Em posse desses dados, foi possível realizar a análise da confiabilidade dos ativos através do uso do software Reliasoft Weibull++, utilizado nos laboratórios da UTFPR, campus Curitiba. O software realiza uma análise dos dados inseridos, de modo a se determinar qual distribuição melhor se adequa aos mesmos e, desta forma, podem-se encontrar as métricas de confiabilidade.

4.1.4 Análise de dados de vida

No software Reliasoft Weibull++, foi criado um repositório para análise de dados de vida. Os dados foram classificados como completos pois se tinha a informação do momento exato da falha, não havendo censura à esquerda, ou seja, nenhum item foi retirado de operação de forma intencional ou falhou entre momentos de inspeção como também não houve registro de ocorrências antes do instante 0 ou do início do período de avaliação e, sem suspensões a direita pois ao término do tempo de análise não se considerou itens que seguiram em funcionamento.

Conforme citado anteriormente, o ERP gera um relatório contendo todas as informações de parada referente ao conjunto analisado (ver Apêndice A). Quando adquiridos via relatório, os dados se apresentam de forma absoluta e necessitam de tratamento quanto à duração dos tempos em *down* dos ativos e análise referente ao tipo de parada.

O tratamento das informações se iniciou ao realizar a segregação dos dados relevantes para a análise de confiabilidade dos demais, selecionando somente as

paradas do tipo APP e APF. Após esta filtragem, foi realizada a segregação das 2542 ocorrências nas categorias:

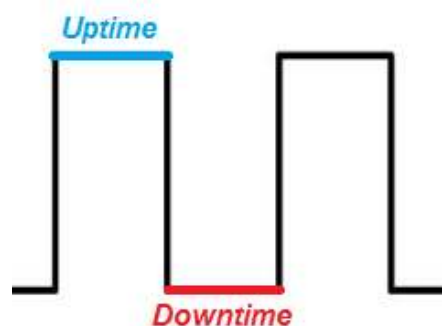
- Interface Homem-Máquina: 42 ocorrências;
- Mesas de operação: 379 ocorrências;
- Robô de solda ponto: 1672 ocorrências;
- Robô de transporte: 423 ocorrências;
- Robô Tucker: 5 ocorrências;
- Zona Global: 21 ocorrências.

Para cada uma destas categorias, obteve-se as ocorrências e organizou-se em ordem cronológica. O início da contagem se iniciou às 00:00:00 do dia 09/01/2017 e finalizou às 23:59:59 do dia 07/02/2017. As informações apresentam o horário e a data de falha e de reestabelecimento da função, sendo necessário converter este formato para horas acumuladas. Desta forma, todas as categorias iniciam o funcionamento em 00:00 e finalizam o funcionamento em 720:00.

Por último, converteu-se os horários para valores decimais, de forma a serem utilizados pelo software Weibull++ (ver Apêndice B).

Este tratamento foi essencial para realizar a análise dos dados, pois desta forma foi possível identificar os momentos de *downtime* (momentos em que o ativo está em falha) e *uptime* (momentos de funcionamento do ativo) em cada categoria, conforme a Figura 4.1.

Figura 4.1 – Representação de *Uptime* e *Downtime* do ativo



Fonte: Autoria própria

No referido repositório, foram inseridos os dados referentes às categorias de análise descritas anteriormente e, então, utilizou-se o assistente de distribuição que determina qual distribuição melhor se adere ao conjunto de dados. Das 11 distribuições provadas, para todas as categorias avaliadas, o modelo Weibull 3-P foi o que apresentou melhor aderência.

Quando se utiliza uma distribuição Weibull 3-P, o software Weibull++ calcula o valor de gama utilizando um algoritmo otimizado de Nelder-Mead e ajusta os pontos ao valor de gama, de forma a ajustá-los em uma linha reta.

Outra configuração relevante na análise é o método de ajuste empregado, que pode ser:

- Regressão em Ranque em X (RRX);
- Regressão em Ranque em Y (RRY);
- Máxima Verossimilhança (MLE);
- Regressão Não Linear Ranqueada (NLRR).

Na categoria de Solda Ponto utilizou-se o método MLE, enquanto o restante utilizou o NLRR. Apesar do MLE não ser o melhor método de estimativa para uma Weibull-3P, o tamanho da amostra de dados fez necessário o uso do mesmo (COUSINEAU, 2009).

4.2 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo todos os dados coletados do ERP da Empresa X foram tratados e organizados de forma que pudessem ser trabalhados com mais clareza e facilidade. Os robôs de mesma função foram separados por categorias, de modo que fossem considerados como um sistema único. Os modos de não operação de cada módulo não são alterados pela posição que o mesmo se encontra na linha de produção, pois a função do módulo permanece a mesma independentemente de sua localização.

Outra contribuição foi a forma como os tempos foram preparados para serem inseridos no software, tornando mais clara a sua compreensão. O relatório

gerado pelo ERP traz informações importantes referentes ao funcionamento da ilha robotizada, mas que não agregam valor se não forem tratadas para expor sua real condição. Para a continuidade deste estudo, realizou-se a seleção dos dados das categorias APP e APF, categorizado de acordo com a função dos ativos, transformado em tempo acumulado de funcionamento e convertido em valor decimal, para então ser inserido no software Weibull++.

Os resultados das análises de sobrevivência estão demonstrados no capítulo 5.

CAPÍTULO 5

5.1 RESULTADOS DA ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA

Neste capítulo serão expostos os resultados obtidos após realizar a análise de sobrevivência através do software Reliasoft Weibull++.

De acordo com o capítulo anterior, após a categorização e tratamento, os dados dos itens foram organizados de acordo com o quadro apresentado no Apêndice B. Ao se inserir no software Weibull++ e se aplicar o assistente de distribuição, o modelo que apresentou o melhor ajuste foi o Weibull 3-P. Foram então plotadas as métricas de confiabilidade para cada categoria de itens.

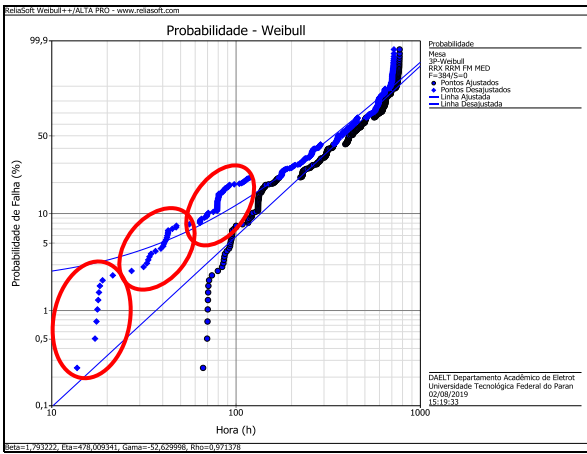
As categorias, de acordo com o capítulo 5, são:

- Zona Global;
- Interface homem-máquina;
- Mesa de operação;
- Robôs de solda ponto;
- Robô Tucker;
- Robô de transporte.

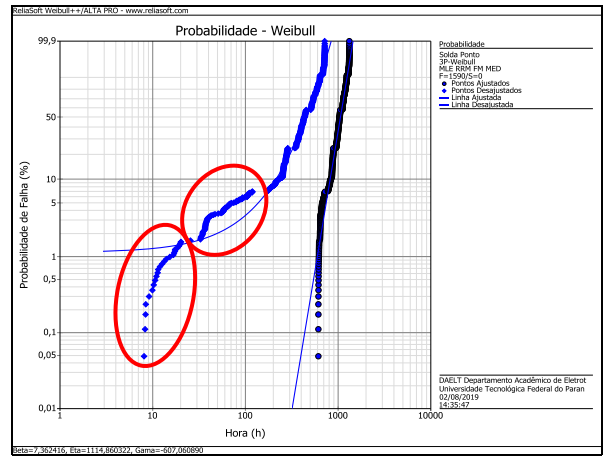
5.1.1 Probabilidade Weibull (qualidade do ajuste):

A seguir, se encontram os gráficos referente a probabilidade Weibull das 6 categorias analisadas.

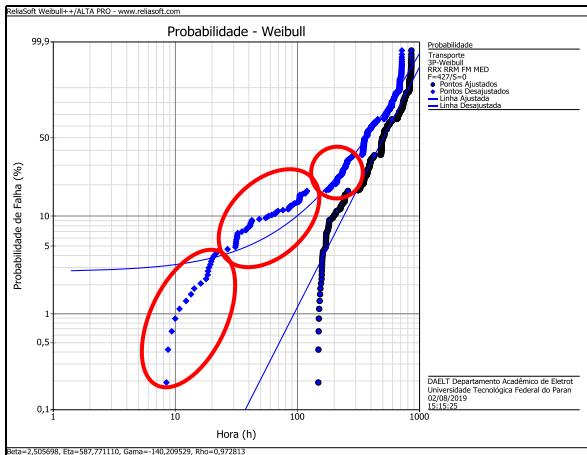
Gráfico 5.1.1 – Comparativo da Probabilidade Weibull (qualidade do ajuste)



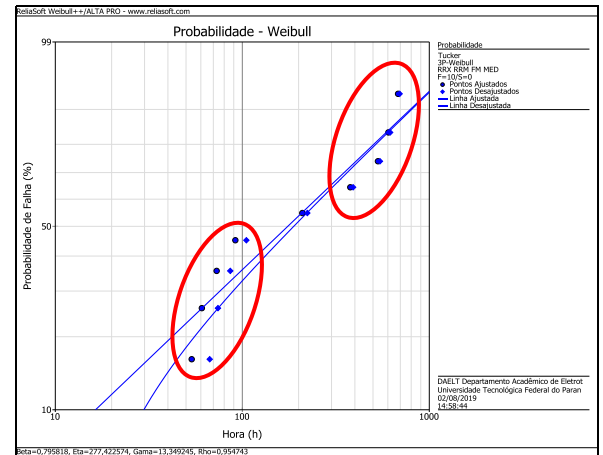
(a) Mesa de operação



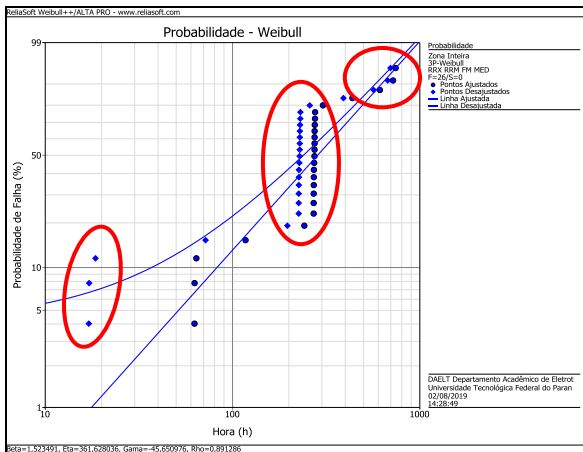
(b) Robôs de solda ponto



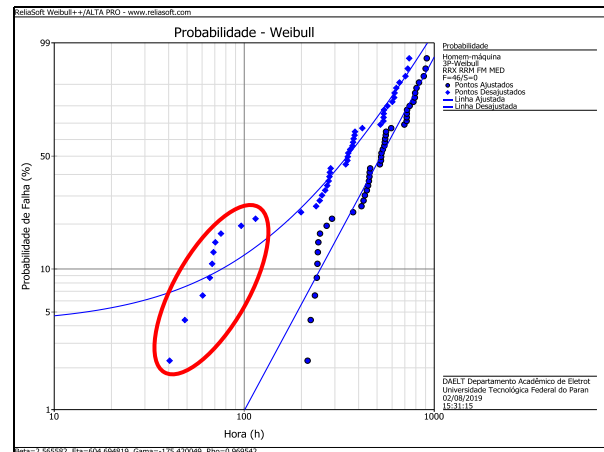
(c) Robôs de transporte



(d) Solda Tucker



(e) Zona Global



(f) Interface homem-máquina

Fonte: Autoria própria

Rigorosamente falando, observa-se que, nos pontos circundados nos gráficos, há a tendência da presença de mais de um modo de não operação concorrendo à perda de função do item, considerando a possibilidade de que estas situações sejam originadas por interferência humana. A interferência humana pode ser exemplificada, no caso, como uma peça inserida desalinhada pelo operador.

Além disso, como os dados de não operação foram agrupados por categoria, ou seja, todos os “momentos de não operação” foram agrupados em uma única tabela de tempos e analisados pelo software de forma conjunta. As discrepâncias circundadas indicam não somente a presença de mais de um modo de não operação, mas também a possibilidade de que alguns dos robôs possuem modos de não operação distintos e consequentemente distribuições distintas da geral ajustada à categoria toda. Outro caminho seria ajustar os dados a um modelo Weibull misto que com certeza ter-se-ia uma redução das discrepâncias observadas.

Outro desdobramento da questão das discrepâncias reside no fato de que os gráficos mostraram que os dados contradizem a hipótese de que a posição do robô no arranjo não influenciaria em seu modo de não operação.

Observa-se também, no Gráfico 5.1.1(d), dos robôs de solda Tucker, que a baixa quantidade de dados pode influenciar na escolha do modelo ajustado, pois a identificação de comportamento do sistema se torna mais imprecisa.

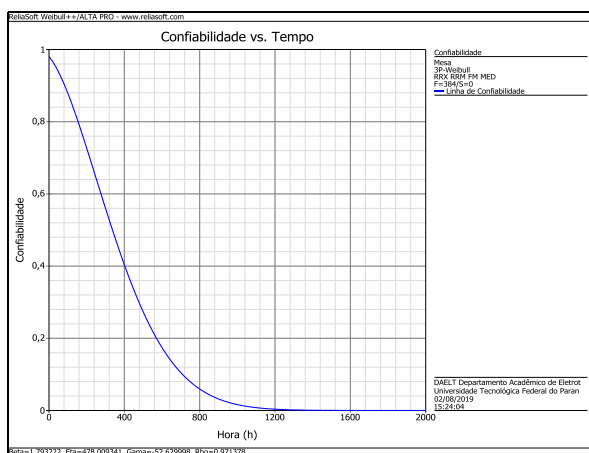
Outro item observado diz respeito ao gráfico 5.1.1(e). Este gráfico corresponde à categoria zona global, que se trata do desarme em todos os

elementos da ilha robotizada simultaneamente. Observou-se que existem conjuntos de pontos que estão agrupados na mesma posição de tempo, mas com probabilidades diferentes, que podem ter sido originária por um queda de energia. A queda de energia interrompe a conexão do ERP com o banco de dados, gerando os blocos. Este padrão de ocorrências apresenta uma sequência de paradas no mesmo dia, em instantes próximos. Outra possibilidade a ser considerada é de paradas por segurança, devido ao comportamento anormal dos pontos. As causas raiz consideradas na análise não são influenciadas pelas causas dos outros grupos por se tratar de um tipo de perda de função específico, que desarma todos os componentes da ilha robotizada.

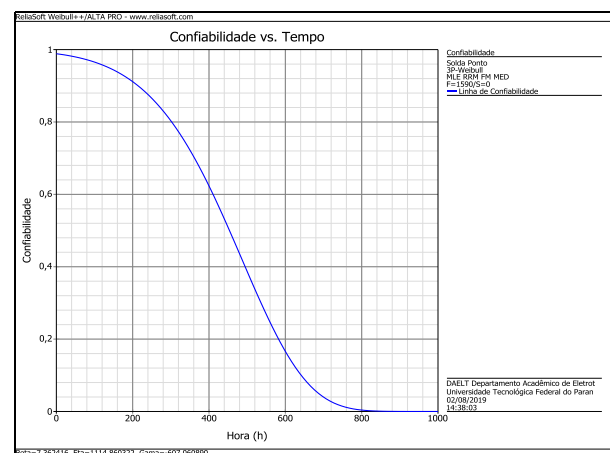
5.1.2 Função de confiabilidade (de operação)

A seguir, se encontram os gráficos referente a função de confiabilidade das 6 categorias analisadas.

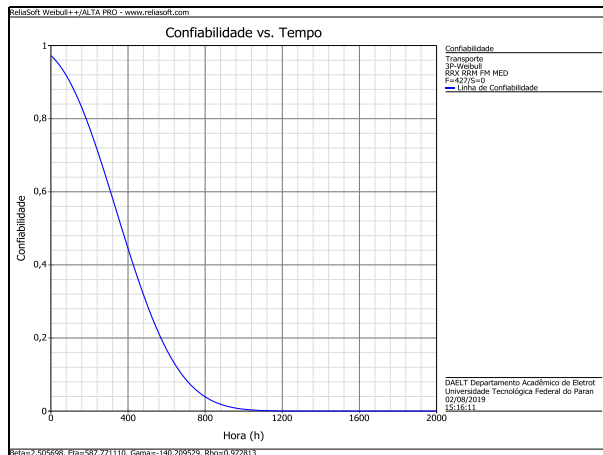
Gráfico 5.1.2 – Comparativo da Função de confiabilidade



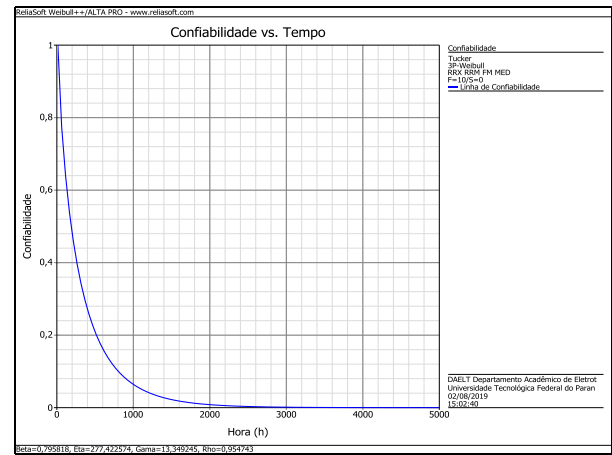
(a) Mesa de operação



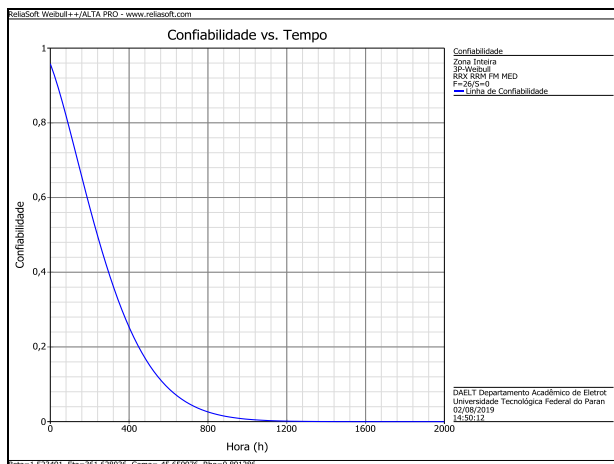
(b) Robôs de solda ponto



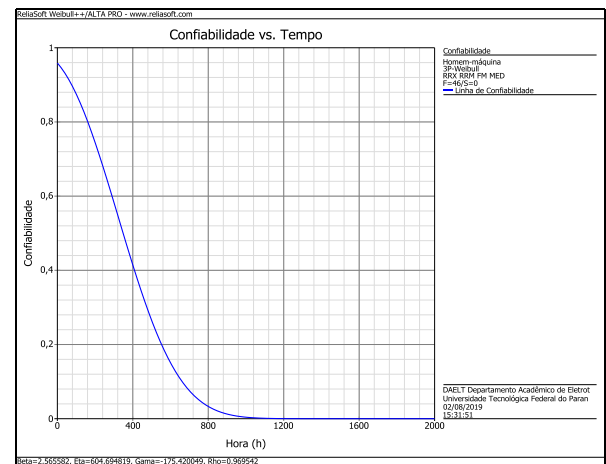
(c) Robôs de transporte



(d) Robôs de solda Tucker



(e) Zona Global



(f) Interface homem-máquina

Fonte: Autoria própria

O formato das curvas é influenciado diretamente pelo valor de β . Percebe-se que o Gráfico 5.1.2(d) (solda Tucker) possui uma curva característica definida por $\beta < 1$, enquanto os demais gráficos possuem uma curva característica definida por $\beta > 1$. No entanto, o Gráfico 5.1.2(b) (solda ponto) se destaca por possuir um valor de β consideravelmente maior do que os demais.

Para efeito de comparação, analisou-se o instante em que o sistema atinge 60% de confiabilidade. Percebeu-se que a categoria solda ponto possui decaimento mais lento do valor da confiabilidade quando comparado com as outras categorias, visto que atinge este valor com 410 horas de operação, sendo a categoria mais

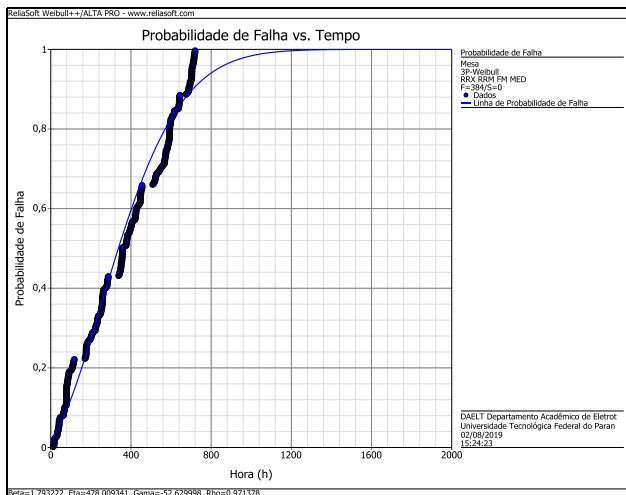
confiável. Por outro lado, percebeu-se que a redução mais rápida da confiabilidade ocorre na categoria Tucker, atingido o valor de 60% com apenas 170 horas de funcionamento.

Conforme citado anteriormente, é possível perceber que a confiabilidade da zona global é muito suscetível a falhas de conexão do ERP e a perdas de função por motivos de segurança. Desta forma, a confiabilidade da zona global foi afetada por uma situação anômala, conforme visto no gráfico 5.1.1(e).

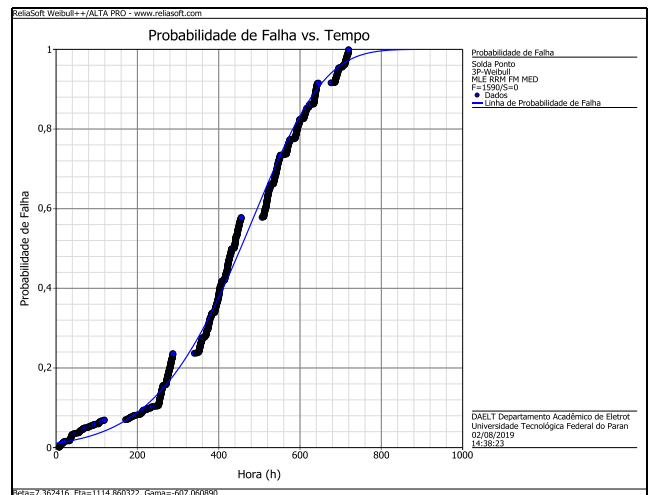
5.1.3 Função de não confiabilidade (de não operação)

A seguir, se encontram os gráficos referente a função de confiabilidade das 6 categorias analisadas.

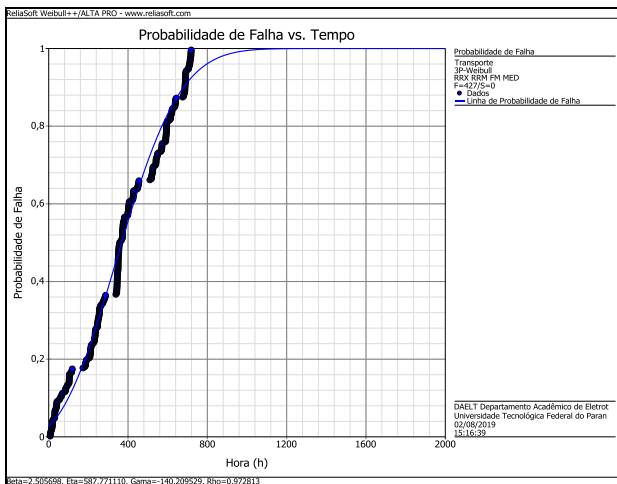
Gráfico 5.1.3 – Comparativo da Função de não confiabilidade



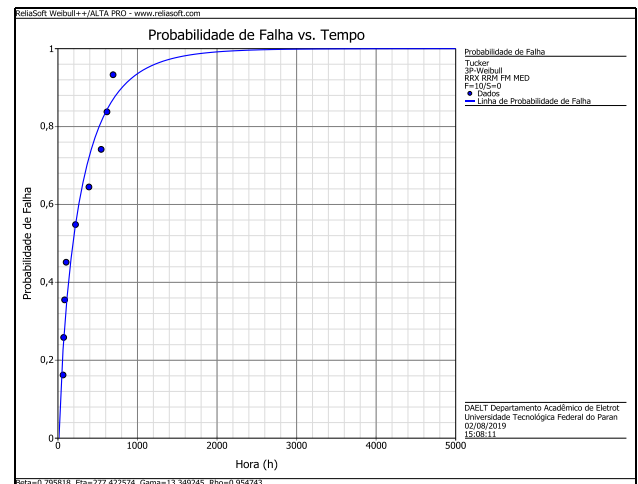
(a) Mesa de operação



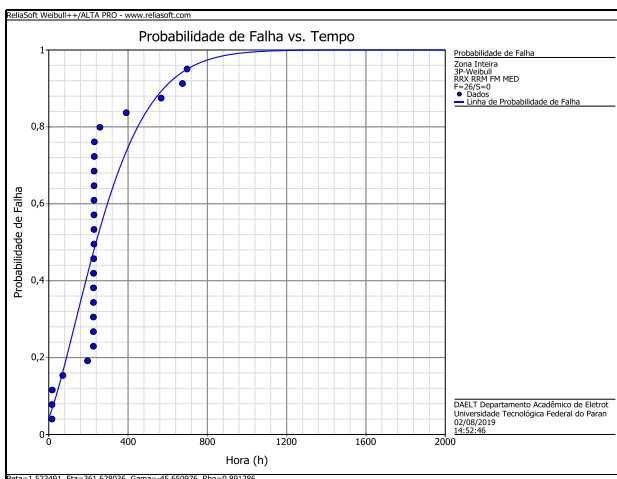
(b) Robôs de solda ponto



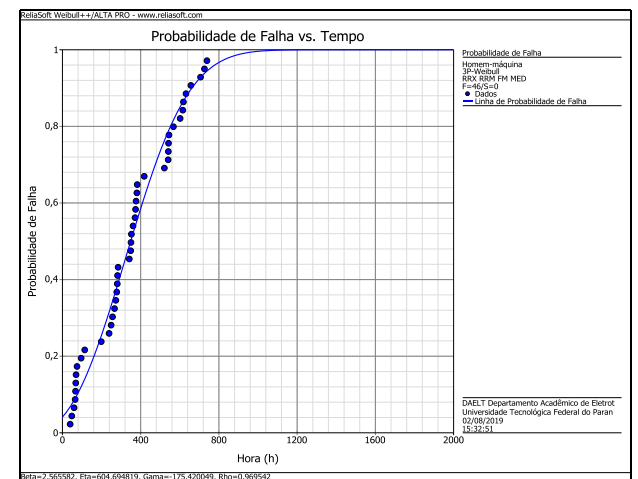
(c) Robôs de transporte



(d) Robôs de solda Tucker



(e) Zona Global



(f) Interface homem-máquina

Fonte: Autoria própria

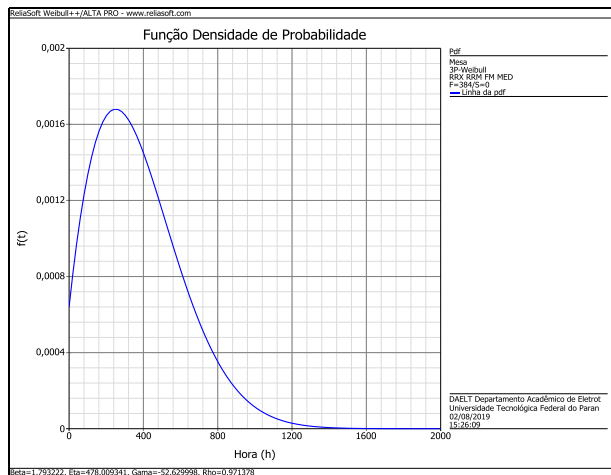
A probabilidade de não confiabilidade é complementar à confiabilidade, fato corroborado através da comparação destas duas métricas para uma mesma categoria. Neste tocante, observou-se em todas as categorias uma forte deterioração da confiabilidade, considerando que em aproximadamente 720 horas de operação teríamos probabilidade de não operação em torno dos 92%. Somente para a categoria solda ponto que se observou que a deterioração foi mais lenta, pois para as demais quando se chegou a 400 horas de operação a confiabilidade estava próxima dos 60% com exceção da zona global que a probabilidade de não operação

para 400 horas estava em torno dos 72%. Estas variações poderiam ser melhor avaliadas utilizando a simulação por meio dos diagramas de blocos de confiabilidade.

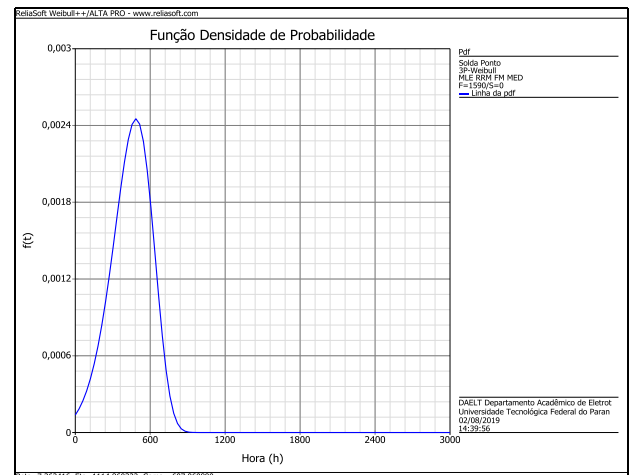
5.1.4 Função Densidade de Probabilidade de não operação

A seguir, se encontram os gráficos referente a Função Densidade de Probabilidade das 6 categorias analisadas.

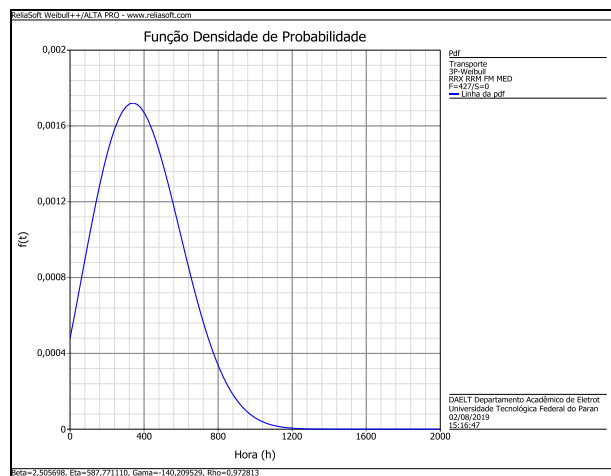
Gráfico 5.1.4 – Comparativo da Função Densidade de Probabilidade de não operação



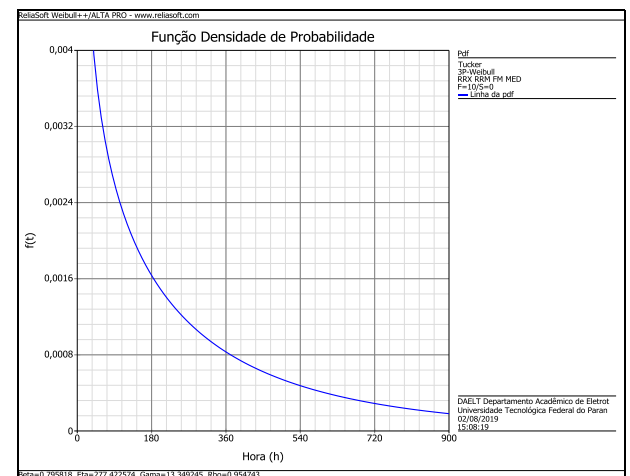
(a) Mesa de operação



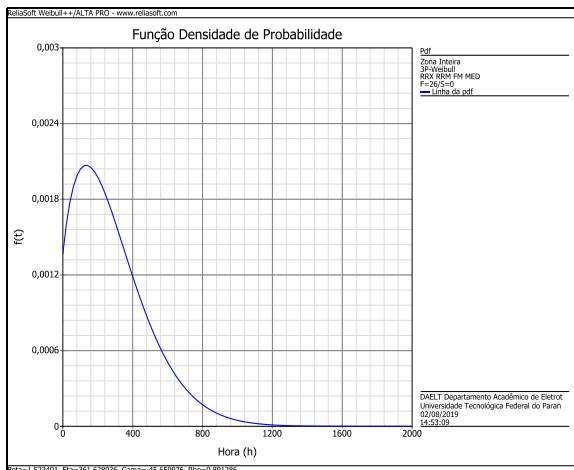
(b) Robôs de solda ponto



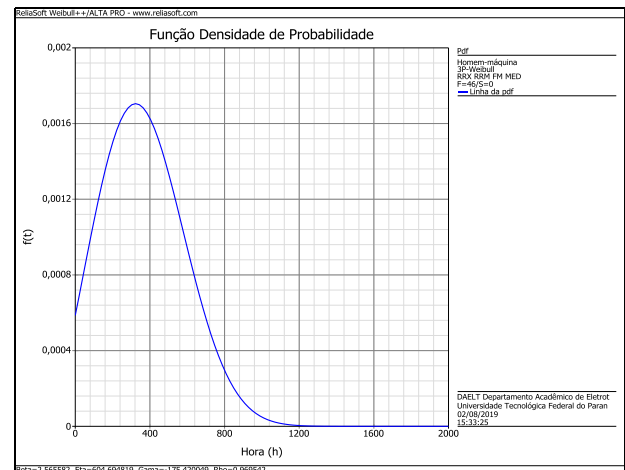
(c) Robôs de transporte



(d) Robôs de solda Tucker



(e) Zona Global



(f) Interação homem-máquina

Fonte: Autoria própria

O gráfico da função densidade de probabilidade é diretamente influenciado pelo valor do parâmetro beta (β), sendo este parâmetro que modifica a curtose da distribuição, além de possuir influência direta na taxa de não operação do ativo.

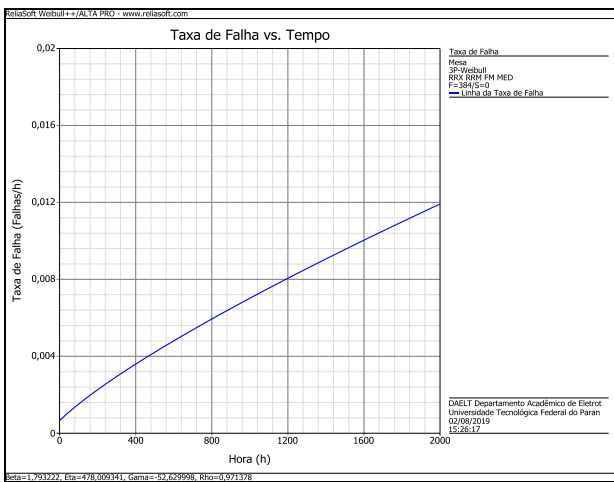
Além disso, o Gráfico 5.1.4(d) apresenta seu formato diferentemente do restante, por ser a única categoria com o valor de $\beta < 1$. Percebeu-se, inclusive, que a categoria apresenta a maioria das ocorrências de perda de função no início de sua operação, característica modo de não operação prematuros ou de mortalidade infantil.

É interessante ressaltar que, a categoria solda ponto, a mais confiável, possui, também, o melhor resultado referente à sua função densidade de probabilidade de não operação, uma vez que a densidade probabilidade da maioria das “não operações” que ocorreram se dá em um período menor do que as outras categorias. Seguindo este conceito, percebeu-se que a categoria com melhor desempenho foi a de solda ponto, visto que possui o menor intervalo ocorrências de perda de função. No entanto, o maior intervalo de concentração de perdas de função pertence à categoria de solda Tucker.

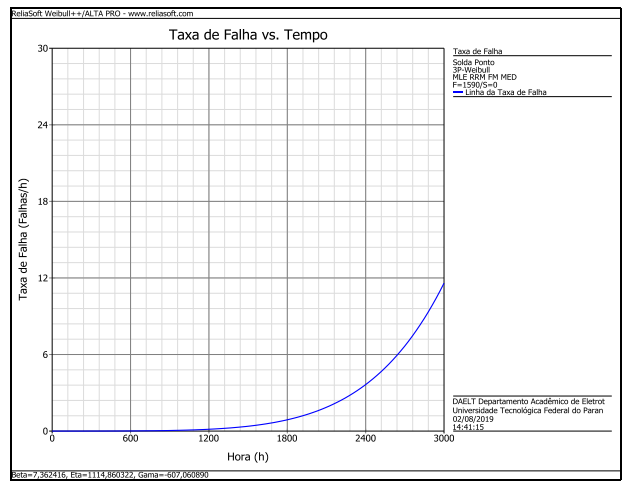
5.1.5 Taxa de não operação

A seguir, se encontram os gráficos referente a Função Densidade de Probabilidade das 6 categorias analisadas.

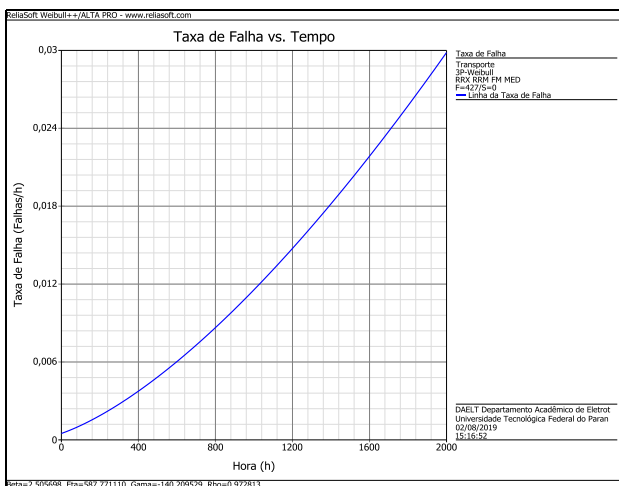
Gráfico 5.1.5 – Comparativo da Taxa de não operação



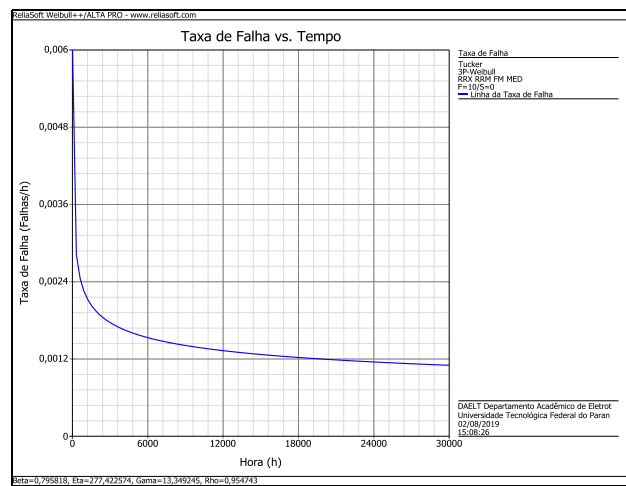
(a) Mesa de Operação



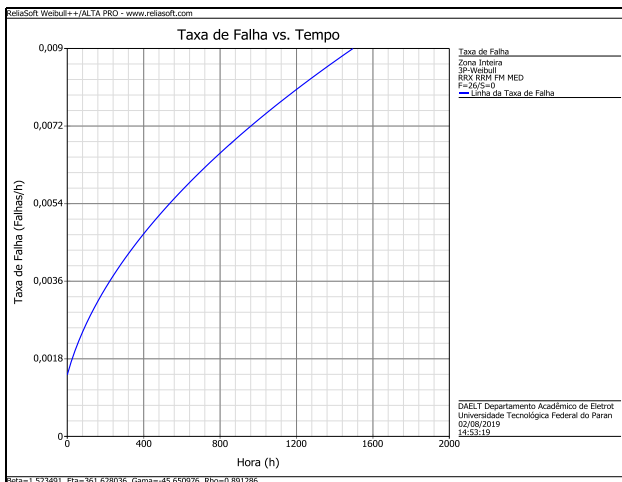
(b) Robôs de solda ponto



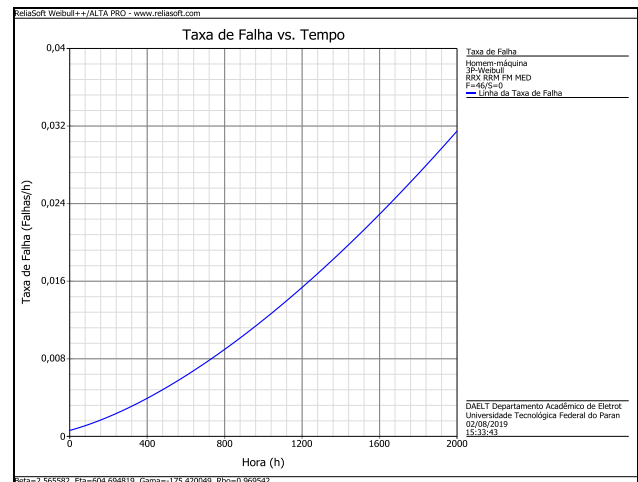
(c) Robôs de Transporte



(d) Robôs de solda Tucker



(e) Zona Global



(f) Interface homem-máquina

Fonte: Autoria própria

Através da análise do Gráfico 5.1.5(d), observou-se claramente que a categoria robôs de solda Tucker apresenta uma tendência a perdas de função prematuras ($\beta < 1$). Esse fato pode estar relacionado a operações prévias por parte de operadores que abasteceram estas máquinas com peças fora do padrão, ou seja, falha humana, e não por condições de funcionamento específicas da categoria. Além disso, a categoria possui uma redução abrupta da ocorrência das perdas de função até aproximadamente 3600 horas de funcionamento, suavizando sua queda a partir de então.

Já referente ao Gráfico 5.1.5(b) (solda ponto), percebe-se que o mesmo possui um comportamento de perda de função constante até aproximadamente 1200 horas de funcionamento e, em seguida, inicia o comportamento por perdas de função por envelhecimento. A partir deste momento, conclui-se que a curva segue um crescimento exponencial, condizente com seu alto valor de β .

As categorias de robôs transporte e interface homem-máquina possuem valores semelhantes de β apresentaram comportamento de não operação por envelhecimento ou desgaste com um crescimento relativamente linear da taxa de não operação com o avanço do tempo.

5.2 COMPARAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A análise de sobrevivência realizada apresentou, além dos gráficos analisados anteriormente, as informações que definem o comportamento de não operação em cada categoria. A seguir, será apresentado um quadro comparativo, de modo a se analisar as principais diferenças entre os parâmetros dos modelos encontrados e seu significado.

5.2.1 Distribuição e ajuste

O Quadro 5.1 apresenta, de forma resumida, os modelos de distribuição e os métodos de ajuste utilizados na análise de cada categoria.

Quadro 5.1 – Modelos utilizados na análise de cada categoria

Categoria	Modelo de distribuição	Método de ajuste
Zona Global	Weibull 3-P	NLRR
Interface Homem-Máquina	Weibull 3-P	NLRR
Mesa de Operação	Weibull 3-P	NLRR
Robô de Solda Ponto	Weibull 3-P	MLE
Robô Tucker	Weibull 3-P	NLRR
Robô de Transporte	Weibull 3-P	NLRR

Fonte: Autoria própria

A distribuição Weibull 3-P foi o modelo com maior aderência aos dados. A distribuição Weibull de três parâmetros, do ponto de vista matemático se adequa melhor por permitir trabalhar com valores negativos e nulos, o que não é possível no modelo de dois parâmetros (por ser definida apenas para variáveis positivas). Do ponto de vista da engenharia este terceiro parâmetro representa um período onde o processo de falha (ou de desgaste), neste caso traduzido para intervalos de não operação, não inicia por alguma razão. Desta forma, o modelo de distribuição

Weibull 3-P fornece os valores de Beta (β), Eta (η) e Gama (γ), que serão analisados em seguida.

Em relação ao método de ajuste selecionado, todas as categorias utilizam o NLRR (Regressão Não-Linear Ranqueada), com exceção da categoria de Robô de Solda ponto, que utiliza o método MLE (Máxima Verossimilhança). Segundo Schittkowski (2013), a regressão não linear é uma forma de análise de regressão onde os dados são modelados pela combinação não linear de dois parâmetros do modelo, e são ajustados por aproximações sucessivas. Contudo, a quantidade de dados da categoria de Robô de Solda Ponto é muito elevada, que propicia a utilização do método MLE.

5.2.2 Parâmetros

Conforme mencionado anteriormente, o modelo de distribuição Weibull 3-P utiliza três parâmetros para realizar a análise dos dados. Os parâmetros utilizados são:

- β – parâmetro de forma;
- η – parâmetro de escala;
- γ - parâmetro de posição.

O parâmetro de forma β tem influência direta no formato da Função Densidade de Probabilidade e na inclinação do gráfico de Probabilidade Weibull, mas o aspecto mais importante do efeito deste parâmetro se dá pela taxa de não operação. Em casos que $\beta < 1$, apresenta-se um comportamento conhecido como falha infantil. Quando $\beta = 1$, indica-se a vida útil ou falhas aleatórias. Por último, em casos de $\beta > 1$, apresenta-se um comportamento conhecido como falhas por desgaste.

O parâmetro de escala η , ou vida característica, é o percentil 63,2 dos dados, ou seja, a escala define a posição da curva em relação ao limite. O ponto de inflexão do gráfico representa o momento em que 63,2% dos ativos irão falhar.

O parâmetro de posição γ define como a distribuição se desloca em relação ao 0. Para $\gamma < 0$, a distribuição é deslocada para a esquerda, e para $\gamma > 0$, a

distribuição é deslocada para direita (MINITAB, 2019). Representa, também, o período em que a confiabilidade é igual a 100%.

O Quadro 5.2 apresenta os valores dos parâmetros adquiridos para cada categoria.

Quadro 5.2 – Parâmetros por categoria

Categoria	Beta (β)	Eta (η)	Gama (γ)
Zona Global	1,523491	361,628036	-45,650976
Interface Homem-Máquina	2,565582	604,694819	-175,420049
Mesa de Operação	1,793222	478,009341	-52,629998
Robô de Solda Ponto	7,362416	1114,860322	-607,06089
Robô Tucker	0,795818	277,422574	13,349245
Robô de Transporte	2,505698	587,77111	-140,209529

Fonte: Autoria própria

Percebe-se que as categorias de Interface Homem-Máquina, Robô de Transporte e Robô Solda Ponto possuem um β elevado, sendo possível concluir que eles apresentam um comportamento ou modo de “não operação” por desgaste. As categorias Mesa de Operação e Zona Global possuem um β próximo de 1, sendo possível considerar que ambos possuem comportamento de não operação aleatórios. Já a categoria de Robô Tucker apresentou um β menor que 1, o que indica que apresenta um comportamento de perdas de função prematuras.

Analisando as categorias em relação ao parâmetro η , percebe-se que a de melhor desempenho foi a Robô de Solda Ponto, pois apresentou o maior η indicando que este item levaria mais tempo para apresentar 63,2 % das perdas de função. Em contrapartida, a categoria de Robô Tucker possui o pior desempenho, visto que seu valor de η é o menor em comparação às outras categorias.

Já em relação ao parâmetro γ , é possível perceber que todas as categorias possuem sua distribuição deslocada para a esquerda, com exceção da categoria Robô Tucker, que possui sua distribuição deslocada para a direita. Além disso, o conjunto de robôs de solda ponto possuem um intervalo de 607 horas de funcionamento com 100% de confiabilidade, sendo um valor consideravelmente alto em relação a interface homem-máquina, com 175 horas, e ao robô de transporte,

com 140 horas. As outras categorias de operação possuem o valor de gama abaixo de 60 horas.

5.3 AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DOS DADOS

O software da empresa utilizado para adquirir os dados permite que o tipo de parada de cada ocorrência seja reclassificado e, durante o tratamento dos dados, percebeu-se esta discrepância, o que motivou a investigação da contaminação dos dados por interferência humana. No relatório gerado, consta uma coluna denominada “Tipo Orig” e outra denominada “Tipo” (tipo de parada após realizada a reclassificação). Desta forma, é possível identificar quais ocorrências sofreram interferência humana.

Sendo assim, levou-se em consideração a somatória dos tempos de paradas, ao decorrer do período analisado, de acordo com o tipo gerado pelo sistema (coluna “Tipo Orig”). Os valores se encontram no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Ocorrências originais

Ocorrências Originais	
TIPO	DURAÇÃO (MIN)
AIA	8,40295
AIS	17,30395
APE	10,50285
APF	1,66246
APP	13,39535

Fonte: Autoria própria

Em seguida, realizou-se uma análise quantitativa da reclassificação de cada categoria. Percebe-se que esta reclassificação “mascara” os resultados reais, de forma a não impactar os indicadores analisados pela diretoria e alterando o verdadeiro foco a ser analisado.

A reclassificação das ocorrências, por tipo, está descrita no Quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Reclassificação

Ocorrências Originais		Reclassificação	
TIPO	DURAÇÃO (MIN)	TIPO	DURAÇÃO (MIN)
AIA	8,40295	AIA	8,40295
AIS	17,30395	AIS	17,30395
APE	10,50285	APE	8,6548
		APF	1,40626
		APP	0,44179
APF	1,66246	APF	1,65838
		APE	0,00408
APP	13,39535	APP	2,32125
		APF	0,67617
		APE	10,2665
		AIS	0,13143

Fonte: Autoria própria

O Quadro 5.4 demonstra a somatória de tempo, por tipo, reclassificada em uma outra categoria. Percebe-se que as categorias AIA e AIS não são reclassificadas para outras categorias. No entanto, a categoria APP possui o maior impacto gerado pela reclassificação, pois deixa de ser a segunda maior causa de perdas de produção para se tornar a causa menos impactante da ilha.

Após a reclassificação, foi realizada a somatória dos tempos de paradas, ao decorrer do período analisado. Os valores se encontram no Quadro 5.5.

Quadro 6.5 – Ocorrências após reclassificação

Ocorrências após reclassificação	
TIPO	DURAÇÃO (MIN)
AIO	8,40295
AIS	17,43538
APE	18,92538
APF	3,74081
APP	2,76304

Fonte: Autoria própria

Comparando os resultados do Quadro 5.3 com o Quadro 5.5, é possível perceber a influência humana nos resultados. Os dados originados pelo sistema

indicam que as maiores perdas de produção são ocasionadas por: saturação de linha, panes nas máquinas e invasão de áreas seguras. Já os dados que passaram por reclassificação humana apontam que as maiores perdas de produção são ocasionadas por: invasão de áreas seguras, saturação e outras causas não identificadas. A contaminação dos dados foi responsável pela reestruturação do panorama de funcionamento da ilha.

Levando-se em consideração os dados contaminados, o plano de ação seria constituído majoritariamente por ações disciplinares, por se tratar de paradas ocasionadas por operadores e não traria resultados duradouros e impactantes, visto que a causa raiz dos problemas não está sendo tratada. Esta investigação ressaltou a importância da utilização dos dados sem influência humana, para que se tenha a verdadeira condição de funcionamento do sistema.

CAPÍTULO 6

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conceito tradicional de falha neste trabalho foi adaptado ao fenômeno observado na ilha robotizada em estudo. Como os robôs não passavam pelo processo falha/repara tradicional, mas sim pelo “reset” e retorno da operação os tempos anotados representaram os momentos de não operação do item, por este motivo que este trabalho ao invés de avaliar falhas avaliou as probabilidades de ocorrer a operação ou a não operação dos ativos analisados.

O processo de tratamento de dados neste sentido se mostrou de extrema importância para o desenvolvimento deste estudo, visto que havia informações não pertinentes para a análise. Conseqüentemente, observou-se uma interferência nos dados, de origem humana, causada por reclassificações. A triagem e o tratamento se mostraram essenciais para que a análise de confiabilidade fosse realizada da maneira correta. Somente após o tratamento dos dados foi possível realizar a análise deles, para se identificar o comportamento das perdas de função de cada categoria de ativo.

Com a obtenção dos resultados, foi possível identificar que as categorias possuem comportamentos de não operação semelhantes, com exceção da categoria Solda Tucker. Esta possui um comportamento anormal comparado com o restante, visto que a apresentou um comportamento de não operação prematuro. Este comportamento pode ser causado pela pequena quantidade de dados coletados ou por se tratar de um ativo novo, que ainda está passando por adequação na linha de produção. Pode ainda ser um reflexo de um controle de qualidade deficiente. Testes de *burn-in* (onde o objeto é submetido a esforços repetitivos) e testes de aceitação (onde verifica-se se o objeto de análise funciona conforme suas especificações) (EBELING, 1997) podem representar uma maneira de reduzir a quantidade de falhas por mortalidade infantil.

Em contrapartida o restante das categorias apresentou comportamentos de não operação por desgaste, visto que todas possuem o parâmetro β maior que 1. Este resultado pode ser atribuído por serem ativos seminovos.

CAPÍTULO 7

7.1 CONCLUSÃO

O trabalho delimitou-se ao estudo da confiabilidade baseada nos tempos de “indisponibilidade” do sistema, não-funcionamento ou de não operação pois levou-se em consideração que falha é a perda momentânea da função, ou seja, da não operação.

Os dados analisados fornecem somente o tempo de não-funcionamento (ou de não operação) das categorias, sem levar em consideração a natureza da tarefa que proporcionou reestabelecimento da função do ativo. Desta forma, como não foram analisadas as tarefas de reestabelecimento da operação dos ativos não foi possível realizar a análise da disponibilidade e manutenibilidade do sistema “ilha robotizada”.

Como trabalho futuro recomenda-se a criação de um modelo de simulação da disponibilidade/confiabilidade do sistema (análise RAM). Para isso, se necessita:

1. Pesquisar melhor o processo de reparação dos robôs;
2. Apropriar os trabalhos das equipes de manutenção;
3. Definir os custos de manutenção segundo a política da empresa para serem incorporados ao modelo de simulação (LCC);
4. Mapear os tempos de *downtime* do sistema separando a tarefa de manutenção do suporte necessário para a sua realização;
5. Desenvolver um diagrama de blocos de confiabilidade do sistema.

Uma análise completar que poderia ser desenvolvida seria a do ciclo de vida dos ativos.

REFERÊNCIAS

ABERNETHY, R. B. **The New Weibull Handbook: Reliability & Statistical Analysis for Predicting Life, Safety, Risk, Support Costs, Failures, and Forecasting Warranty Claims, Substantiation and Accelerated Testing, Using Weibull, Log Normal, Crow-AMSAA, Probit, and Kaplan-Meier Models.** 5 ed. Palm Beach, FL: Robert B. Abernethy, 2004. 350 p.

Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos – ABRAMAN. **A situação da manutenção no Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS, 28, 2013, Salvador.

Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos – ABRAMAN. **Manutenção e Gestão de Ativos na Retomada do Crescimento.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS, 32, 2017, Curitiba.

AZIZI, A. **Evaluation Improvement of Production Productivity Performance using Statistical Process Control, Overall Equipment Efficiency, and Autonomous Maintenance.** Procedia Manufacturing, v. 2, p. 186-190, 2015.

CALIXTO, E.; ANDRADE, E.S.M.; LACERDA, G.B.M. **Programa de Planejamento Energético e Ambiental / UFRJ.** Trabalho Final da Disciplina “Gerenciamento de riscos e avaliação de danos ambientais da indústria de petróleo”. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2005. 60 p.

CALIXTO, E.; **Gas and Oil Reliability Engineering: Modeling and Analysis.** 2 ed. Cambridge, MA: Gulf Professional Publishing, 2016. 808 p.

COQUE JR., M. A. **Modelo de confiabilidade para sistemas reparáveis considerando diferentes condições de manutenção preventiva imperfeita.** 2016. 184 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Butantã. 2016.

CROW, L. H. **Reliability Analysis for Complex, Repairable Systems.** Relatório técnico 138. U.S. Army Materiel Systems Analysis Activity – AMSAA. Aberdeen Proving Ground, Maryland 21005. Alexandria, VA, 1975. 40 p.

COUSINEAU, D. **Fitting the Three-Parameter Weibull Distribution: Review and Evaluation of Existing and New Methods.** IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2009. v. 16. p 282.

EBELING, C. **An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering**. U.S.: McGraw-Hill, 1997. 254 p.

FEDERAL STANDARD 1037C. **Telecommunications**: Glossary of Telecommunications Terms. EUA: General Services Administration Information Technology Service, 1996. Disponível em: <https://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-001/_0066.htm>. Acesso em: 13 de maio de 2019.

FENABRAVE. **Índices e Números**: Emplacamentos, 2019. Disponível em: <<http://www3.fenabreve.org.br:8082/plus/modulos/listas/index.php?tac=indices-e-numeros&idtipo=1&id=750&layout=indices-e-numeros>>. Acesso em: 19 de ago. de 2019.

FINKELSTEIN, M. **Failure Rate Modeling for Reliability and Risk**. 1 ed. Piscataway, NJ: Rutgers, The State University of New Jersey, 2008. 290 p.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. 1 ed. São Paulo: Elsevier, 2009. 288 p.

FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. **Industry 4.0 technologies**: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, v. 210, p. 15-26, 2019.

GERMANO, A. O. **Efeitos da implantação de manutenções preventivas na produtividade**: Indústrias Becker. 2018. 51 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: <<https://monografias.ufrn.br>>. Acesso em: 20 de mar. de 2019.

HERRMANN, L. **Estimação de curvas de sobrevivência para estudos de custo-efetividade**. 2011. 119 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 62278:2002 Standard – **Railway Applications Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety**. 2002. 159 p.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0**: Securing the Future of German Manufacturing Industry. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. Acatech, Forschungsunion, 2013.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 384 p.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade**. 3 ed. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark, 2001. 388 p.

LUNDGREN, C.; SKOOGH, A.; BOKRANTZ, J. **Quantifying the Effects of Maintenance** – a Literature Review of Maintenance Models. *Procedia CIRP*, 2018. v. 72, p. 1305-1310.

NELSON, W. **Applied life data analysis**. 1 ed. Hoboken, NJ: Wiley Interscience. 1982. 662 p.

RAUSAND, M.; HÓYLAND, A. **System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications**. 2 ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2004. 664 p.

RELIASOFT. **Distribuição Exponencial**. RS 401 – Análise de Dados de Vida. Reliasoft Education, 2008.

RELIASOFT. **Life Data Analysis Reference**. Tucson, AZ: ReliaSoft Corporation, 2015. Disponível em: <http://www.synthesisplatform.net/references/Life_Data_Analysis_Reference.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2019.

RIGONI, E.; MARIANO, C.H. **Aspectos operacionais – Distribuições aplicadas à confiabilidade – Determinação do ajuste**. 2019. 39 p. Notas de aula.

RODRIGUES, M. V. **Ações para a Qualidade**. 5 ed. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2014. 392 p.

RUGGERI, F. **On the Reliability of Repairable Systems: Methods and Applications**. In: *Progress in Industrial Mathematics at ECMI 2004*, v. 8, *Mathematics in Industry*. Springer, 2006. p. 535-553.

SCHITTKOWSKI, K. **Numerical Data Fitting in Dynamical Systems: A Practical Introduction with Applications and Software**. U.S.: Springer, 2002. v. 77, 405 p.

SILVERMAN, B. W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. 1 ed. Boca Raton, FL: Chapman & Hall, 1986. 176 p. (*Monographs on Statistics and Applied Probability*, 26).

SLACK, N. et al. **Administração da produção: Edição Compacta**. 1 ed. 10 reimpr. São Paulo: Atlas, 2006. 526 p.

SUPORTE AO MINITAB® 18. **Distribuição Weibull**. Disponível em: < <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/probability-distributions-and-random-data/supporting-topics/distributions/weibull-distribution/>>. Acesso em: 21 de ago. de 2019.






TEIXEIRA, R. C. **Pintura por Eletrodeposição** – Proteção Anticorrosiva de Materiais. 2009. 51 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia, 2009. Disponível em: <<https://docplayer.com.br> >. Acesso em: 27 de mar. de 2019.

VIANA, H. R G. **PCM**: Planejamento e Controle da Manutenção. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 192 p.

VONTA, I.; RAM, M. Reliability Engineering: Theory and Applications. 1 ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2019. 222 p.

WYREBSKI, J. **Manutenção Produtiva Total**: Um Modelo Adaptado. 1997. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br>>. Acesso em: 20 de março de 2019.

APÊNDICE A – Exemplo de relatório gerado pelo ERP (sem tratamento)

 Hora/Data	 Tipo orig.	 Tipo	 Causa de parada	 Fim
10/01/2017 08:11	APP	APF	Outrasparadasfuncionaissolda arco	10/01/2017 08:15
10/01/2017 10:09	APP	APF	Outrasparadasfuncionaissolda arco	10/01/2017 10:13
10/01/2017 10:43	APP	APF	Outrasparadasfuncionaissolda arco	10/01/2017 10:45
10/01/2017 12:05	APP	APF	Outrasparadasfuncionaissolda arco	10/01/2017 12:07
10/01/2017 12:19	APP	APF	Outrasparadasfuncionaissolda arco	10/01/2017 12:21
10/01/2017 12:32	APP	APF	Outrasparadasfuncionaissolda arco	10/01/2017 12:34

APÊNDICE B - Dados após tratamento (utilizados para análise)

Data do início de Funcionamento	Hora de início	Data de parada de funcionamento	Hora de parada	Funcionamento até a falha	Duração da parada	Hora inicial	Hora final	Hora inicial (parênteses)	Hora final (decimal)
08/01/2017	23:23:00	11/01/2017	18:15:38	66:52:38	00:02:09	0:00:00	66:52:38	0.0000	66.8772
11/01/2017	18:17:47	11/01/2017	18:38:24	00:20:37	00:01:55	66:54:47	67:15:24	66.9131	67.2567
11/01/2017	18:40:19	12/01/2017	08:49:41	14:09:22	00:02:09	67:17:19	81:26:41	67.2886	81.4447
12/01/2017	08:51:50	12/01/2017	18:49:49	09:57:59	00:02:27	81:28:50	91:26:49	81.4806	91.4469
12/01/2017	18:52:16	13/01/2017	23:22:59	28:30:43	48:00:00	91:29:16	119:59:59	91.4878	119.9997
15/01/2017	23:23:00	20/01/2017	23:22:59	120:00:00	48:00:00	167:59:59	287:59:59	167.9997	287.9997
22/01/2017	23:23:00	27/01/2017	23:22:59	120:00:00	48:00:00	335:59:59	455:59:59	335.9997	455.9997
29/01/2017	23:23:00	02/02/2017	14:30:47	87:07:47	00:01:39	503:59:59	591:07:46	503.9997	591.1294
02/02/2017	14:32:26	04/02/2017	23:22:59	56:50:33	24:00:00	591:09:25	647:59:58	591.1569	647.9994
05/02/2017	23:23:00	07/02/2017	23:22:59	48:00:00	-	671:59:58	719:59:58	671.9994	719.9994