



**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Desenvolvimento de Sistema Automatizado
para Manutenção Preventiva de Equipamentos
no Contexto da Indústria 4.0**

Valesca Soares

**TRABALHO DE GRADUAÇÃO
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

**Brasília
2023**

**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Desenvolvimento de Sistema Automatizado
para Manutenção Preventiva de Equipamentos
no Contexto da Indústria 4.0**

Valesca Soares

Trabalho de Graduação submetido como re-
quisito parcial para obtenção do grau de Enge-
nheiro de Controle e Automação

Orientador: Prof. Dr. Antonio Piratelli Filho

Brasília
2023

S676d Soares, Valesca.
Desenvolvimento de Sistema Automatizado para Manutenção Preventiva de Equipamentos no Contexto da Indústria 4.0 / Valesca Soares; orientador Antonio Piratelli Filho. -- Brasília, 2023.

121 p.

Trabalho de Graduação (Engenharia de Controle e Automação) -- Universidade de Brasília, 2023.

1. Manutenção. 2. Automação. 3. Indústria 4.0. 4. Confiabilidade. I. Filho, Antonio Piratelli, orient. II. Título

**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Desenvolvimento de Sistema Automatizado
para Manutenção Preventiva de Equipamentos
no Contexto da Indústria 4.0**

Valesca Soares

Trabalho de Graduação submetido como re-
quisito parcial para obtenção do grau de Enge-
nheiro de Controle e Automação

Trabalho aprovado. Brasília, 03 de fevereiro de 2023:

Prof. Dr. Antonio Piratelli Filho,
UnB/FT/ENM
Orientador

Prof. Dr. Alberto Carlos Guimarães
Castro Diniz, UnB/FT/ENM
Examinador interno

Prof. Dr. Carlos Humberto Llanos
Quintero, UnB/FT/ENM
Examinador interno

Brasília
2023

Dedico este trabalho a todos que cruzaram meu caminho de forma positiva nesses anos de graduação.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha família por sempre me apoiar em todas as minhas decisões, à minha mãe, ao meu irmão, a minhas tias, a meus tios, a minhas primas, a meus primos.

Aos meus amigos de curso que tornaram essa jornada muito mais leve, por toda a ajuda, suporte e momentos inesquecíveis.

À Associação Atlética Acadêmica de Engenharia de Controle e Automação que me proporcionou experiências de gestão que agregaram muito meu desenvolvimento pessoal e profissional.

À empresa do ramo de papel e celulose pelo suporte e oportunidade.

E a todos que fizeram parte dessa minha jornada na Universidade de Brasília.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”
(Albert Einstein)

Resumo

O avanço da tecnologia é algo notável no ambiente industrial, principalmente após a chegada das novas tecnologias provenientes da Indústria 4.0. Essas tecnologias proporcionaram uma onda massiva de dados e é a partir de tecnologias que coletam, armazenam e processam esses dados que este projeto está pautado.

A manutenção é um setor indispensável para o cenário industrial, pois garante o restabelecimento do processo sempre que ocorre alguma falha em qualquer equipamento ou até mesmo utilizam técnicas para evitar a ocorrências dessas falhas. Assim, este trabalho buscou o desenvolvimento de um sistema autônomo, utilizando dados de processo e dados de histórico de manutenção, para o estabelecimento de um método de manutenção preventiva. Uma análise de confiabilidade também foi realizada a fim de definir o comportamento individual de uma amostra de equipamentos quanto às suas ocorrências de manutenção.

A metodologia envolveu a adoção de softwares e tecnologias que proporcionaram a atualização e a coleta automática de dados. Esse mecanismo gera notas de serviço de manutenção de acordo com informações de manutenção e do processo de forma a priorizar equipamentos que operam mais, no ambiente industrial analisado.

Por fim, nos resultados foi explicitado o funcionamento do sistema autônomo que já está implementado e operando, com 9 notas de criadas.

Palavras-chave: Manutenção. Automação. Indústria 4.0. Confiabilidade.

Abstract

The advancement of technology is remarkable in the industrial environment, especially after the arrival of new technologies from Industry 4.0. These technologies provided a massive wave of data, and it is from technologies that collect, store and process this data that this project is based.

Maintenance is an indispensable sector for the industrial scenario, as they guarantee the restoration of the process whenever there is a failure in any equipment or even uses techniques to avoid these failures. Thus, this work sought to develop an autonomous system that used process and maintenance history data to establish a preventive maintenance method. Reliability analysis was also carried out to define the individual behavior of a sample of equipment regarding maintenance occurrences.

The methodology involved adopting software and technologies that provided the update and automatic collection of data. This mechanism generates maintenance service notes according to maintenance and process information to prioritize equipment that operates more in the analyzed industrial environment.

Finally, the results explained the functioning of the autonomous system that is already implemented and operating, with 9 notes created.

Keywords: Maintenance. Automation. Industry 4.0. Reliability.

Lista de ilustrações

Figura 1 – IHM	21
Figura 2 – Representação de ativos no PI AF	22
Figura 3 – Curva da banheira	29
Figura 4 – Sistema proposto	34
Figura 5 – Fluxo de informação	37
Figura 6 – Fluxo de nuvem	38
Figura 7 – Fluxo de área de trabalho	38
Figura 8 – Fluxo de informação	39
Figura 9 – Fluxo de nuvem	41
Figura 10 – Fluxo de área de trabalho	42
Figura 11 – Tela de acompanhamento	42
Figura 12 – Tela de acompanhamento	43
Figura 13 – Informações filtradas	44
Figura 14 – Sistema de motores	44
Figura 15 – Histórico fluxo de atualização de datas	46
Figura 16 – Execução fluxo de atualização de datas	47
Figura 17 – Tela de acompanhamento	48
Figura 18 – Histórico fluxo de notas	49
Figura 19 – Execução fluxo de notas	50
Figura 20 – Nota de serviço de manutenção	51
Figura 21 – Nota de serviço de manutenção	52
Figura 22 – Confirmação da nota de serviço de manutenção	52
Figura 23 – Informações do equipamento	53
Figura 24 – Gráficos de probabilidade	56
Figura 25 – Gráficos de probabilidade	57
Figura 26 – Gráfico da distribuição escolhida	58
Figura 27 – Gráfico da confiabilidade	59
Figura 28 – Gráficos de probabilidade	59
Figura 29 – Gráficos de probabilidade	60
Figura 30 – Gráfico da distribuição escolhida	61
Figura 31 – Gráficos de probabilidade	62
Figura 32 – Gráficos de probabilidade	63
Figura 33 – Gráfico da distribuição escolhida	65
Figura 34 – Gráfico da confiabilidade	66
Figura 35 – Gráficos de probabilidade	66
Figura 36 – Gráficos de probabilidade	67

Figura 37 – Gráfico da distribuição escolhida	68
Figura 38 – Gráficos de probabilidade	69
Figura 39 – Gráficos de probabilidade	70
Figura 40 – Gráfico da distribuição escolhida	71
Figura 41 – Gráfico da confiabilidade	72
Figura 42 – Gráficos de probabilidade	72
Figura 43 – Gráficos de probabilidade	73
Figura 44 – Gráfico da distribuição escolhida	74
Figura 45 – Gráficos de probabilidade	75
Figura 46 – Gráficos de probabilidade	76
Figura 47 – Gráfico da distribuição escolhida	77
Figura 48 – Gráfico da confiabilidade	78
Figura 49 – Gráficos de probabilidade	78
Figura 50 – Gráficos de probabilidade	79
Figura 51 – Gráfico da distribuição escolhida	80
Figura 52 – Gráficos de probabilidade	81
Figura 53 – Gráficos de probabilidade	82
Figura 54 – Gráfico da distribuição escolhida	83
Figura 55 – Gráfico da confiabilidade	84
Figura 56 – Gráficos de probabilidade	84
Figura 57 – Gráficos de probabilidade	85
Figura 58 – Gráfico da distribuição escolhida	86
Figura 59 – Gráficos de probabilidade	87
Figura 60 – Gráficos de probabilidade	88
Figura 61 – Gráfico da distribuição escolhida	89
Figura 62 – Gráfico da confiabilidade	90
Figura 63 – Gráficos de probabilidade	90
Figura 64 – Gráficos de probabilidade	91
Figura 65 – Gráfico da distribuição escolhida	92
Figura 66 – Gráficos de probabilidade	93
Figura 67 – Gráficos de probabilidade	94
Figura 68 – Gráfico da distribuição escolhida	95
Figura 69 – Gráfico da confiabilidade	96
Figura 70 – Gráficos de probabilidade	96
Figura 71 – Gráficos de probabilidade	97
Figura 72 – Gráfico da distribuição escolhida	98
Figura 73 – Gráficos de probabilidade	99
Figura 74 – Gráficos de probabilidade	100
Figura 75 – Gráfico da distribuição escolhida	101

Figura 76 – Gráfico da confiabilidade	102
Figura 77 – Gráficos de probabilidade	102
Figura 78 – Gráficos de probabilidade	103
Figura 79 – Gráfico da distribuição escolhida	104
Figura 80 – Gráficos de probabilidade	105
Figura 81 – Gráficos de probabilidade	106
Figura 82 – Gráfico da distribuição escolhida	107
Figura 83 – Gráfico da confiabilidade	108
Figura 84 – Gráficos de probabilidade	108
Figura 85 – Gráficos de probabilidade	109
Figura 86 – Gráfico da distribuição escolhida	110
Figura 87 – Sistema de motores	111
Figura 88 – Tempo entre manutenções do motor 2	112
Figura 89 – Tempo entre manutenções do motor 5	112

Lista de tabelas

Tabela 1 – Atributos de equipamentos	35
Tabela 2 – Atributos de identificação	35
Tabela 3 – Atributos de manutenção	36
Tabela 4 – Atributos de condição atual	36
Tabela 5 – Tempos de operação entre manutenções	54
Tabela 6 – Tempos de reparo	55
Tabela 7 – Teste de Qualidade de Ajuste	56
Tabela 8 – Testes de aderência	57
Tabela 9 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	58
Tabela 10 – Teste de Qualidade de Ajuste	60
Tabela 11 – Testes de aderência	60
Tabela 12 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	61
Tabela 13 – Teste de Qualidade de Ajuste	63
Tabela 14 – Testes de aderência	64
Tabela 15 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	64
Tabela 16 – Teste de Qualidade de Ajuste	67
Tabela 17 – Testes de aderência	67
Tabela 18 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	68
Tabela 19 – Teste de Qualidade de Ajuste	69
Tabela 20 – Testes de aderência	70
Tabela 21 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	71
Tabela 22 – Teste de Qualidade de Ajuste	73
Tabela 23 – Testes de aderência	73
Tabela 24 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	74
Tabela 25 – Teste de Qualidade de Ajuste	75
Tabela 26 – Testes de aderência	76
Tabela 27 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	77
Tabela 28 – Teste de Qualidade de Ajuste	79
Tabela 29 – Testes de aderência	79
Tabela 30 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	80
Tabela 31 – Teste de Qualidade de Ajuste	81
Tabela 32 – Testes de aderência	82
Tabela 33 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	83
Tabela 34 – Teste de Qualidade de Ajuste	85
Tabela 35 – Testes de aderência	85
Tabela 36 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	86

Tabela 37 – Teste de Qualidade de Ajuste	87
Tabela 38 – Testes de aderência	88
Tabela 39 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	89
Tabela 40 – Teste de Qualidade de Ajuste	91
Tabela 41 – Testes de aderência	91
Tabela 42 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	92
Tabela 43 – Teste de Qualidade de Ajuste	93
Tabela 44 – Testes de aderência	94
Tabela 45 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	95
Tabela 46 – Teste de Qualidade de Ajuste	97
Tabela 47 – Testes de aderência	97
Tabela 48 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	98
Tabela 49 – Teste de Qualidade de Ajuste	99
Tabela 50 – Testes de aderência	100
Tabela 51 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	101
Tabela 52 – Teste de Qualidade de Ajuste	103
Tabela 53 – Testes de aderência	103
Tabela 54 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	104
Tabela 55 – Teste de Qualidade de Ajuste	105
Tabela 56 – Testes de aderência	106
Tabela 57 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	107
Tabela 58 – Teste de Qualidade de Ajuste	109
Tabela 59 – Testes de aderência	109
Tabela 60 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição	110
Tabela 61 – Tempos de manutenção	111
Tabela 62 – Parâmetros dos equipamentos	113
Tabela 63 – Tempos de manutenção	113

Lista de abreviaturas e siglas

API	Interface de Programação de Aplicação	20
CLP	Controlador Lógico Programável	22
GUI	Interface Gráfica do Usuário	27
HTTP	Protocolo de Transferência de Hipertexto	20
IA	Inteligência Artificial	24
IHM	Interface Homem-Máquina	21
MCC	Manutenção centrada em confiabilidade	33
MTBF	Tempo médio entre falhas	29
MTTF	Tempo médio até falha	29
MTTR	Tempo de restabelecimento médio	29
PI AF	PI Asset Framework	22
REST	Representational State Transfer	20
REST	Representational State Transfer	40
RPA	Automação Robótica de Processos	23
SAP	Software de Desenvolvimento de Programas para Análise de Sistema	27
SCADA	Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados	22
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído	21
URL	Localizador Uniforme de Recursos	20
VBScript	Microsoft Visual Basic Scripting Edition	27

Sumário

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Motivação	18
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo Geral	18
1.2.2	Objetivos secundários	19
1.3	Organização do documento	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Indústria 4.0	20
2.1.1	Serviços Web	20
2.1.2	Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD)	21
2.1.3	PI System	21
2.1.3.1	PI Asset Framework (PI AF)	22
2.1.3.1.1	PI Asset Analytics	22
2.1.3.1.2	PI Event frames	22
2.1.3.1.3	PI Notification	23
2.1.3.2	PI Web API	23
2.1.3.3	PI Vision	23
2.2	Automação de processos	23
2.2.1	Automação Robótica de Processos (RPA)	23
2.2.2	Microsoft Power Automate	24
2.3	Manutenção	24
2.3.1	Manutenção corretiva	25
2.3.2	Manutenção preventiva	25
2.3.3	Manutenção preditiva	25
2.4	Gestão da manutenção	25
2.4.1	Manutenção programada	25
2.4.1.1	Manutenção preventiva sistemática	25
2.4.1.2	Manutenção preventiva por estado	26
2.4.2	Manutenção não-programada	26
2.4.3	Inspeções	26
2.4.4	Plano de manutenção	26
2.4.5	Ordem de serviço	26
2.4.6	Software de gerenciamento de manutenção	26
2.4.6.1	SAP GUI Scripting	27

2.5	Confiabilidade	27
2.5.1	Disponibilidade	27
2.5.1.1	Disponibilidade de sistemas	27
2.5.2	Medidas de confiabilidade	28
2.5.2.1	Função de confiabilidade $R(t)$	28
2.5.2.2	Função de risco $h(t)$	28
2.5.2.3	Tempo médio até falha (MTTF)	29
2.5.2.4	Tempo médio entre falhas (MTBF)	29
2.5.2.5	Tempo de restabelecimento médio (MTTR)	29
2.5.3	Distribuições de probabilidade utilizadas em confiabilidade	29
2.5.3.1	Distribuição Exponencial	30
2.5.3.2	Distribuição Weibull	30
2.5.3.3	Distribuição Gama	31
2.5.3.4	Distribuição Lognormal	32
2.5.4	Manutenção centrada em confiabilidade (MCC)	33
3	METODOLOGIA	34
3.1	Cadastro de equipamentos	34
3.2	Atualização automática da última data de manutenção	36
3.2.1	Coleta de informações	37
3.2.2	Atualização de informações	37
3.2.3	Fluxo de execução	37
3.3	Criação automática de nota de manutenção	38
3.3.1	Análises	39
3.3.1.1	Tempo de operação desde a última manutenção	39
3.3.1.2	Status de manutenção	40
3.3.2	Abertura de nota	40
3.3.2.1	Atualização do número da nota	40
3.3.3	Fluxo de execução	41
3.4	Tela de acompanhamento	42
3.5	Análise de confiabilidade	43
3.5.1	Coleta dos dados	43
3.5.2	Filtragem dos dados	44
3.5.3	Cálculos de métricas de confiabilidade	44
4	RESULTADOS	46
4.1	Atualização automática da última data de manutenção	46
4.2	Criação automática de nota de manutenção	48
4.3	Ciclo de execução	51
4.4	Análise de confiabilidade	53

4.4.1	Equipamento Motor 1	55
4.4.2	Equipamento Motor 2	62
4.4.3	Equipamento Motor 3	69
4.4.4	Equipamento Motor 4	75
4.4.5	Equipamento Motor 5	81
4.4.6	Equipamento Motor 6	87
4.4.7	Equipamento Motor 7	93
4.4.8	Equipamento Motor 8	99
4.4.9	Equipamento Motor 9	105
4.4.10	Análise do sistema	111
4.4.10.1	Tempos para manutenção	111
4.4.10.2	Disponibilidade do sistema	113
4.5	Plano de manutenção preventiva	113
5	CONCLUSÕES	115
	REFERÊNCIAS	117
	APÊNDICES	120
	APÊNDICE A – CÓDIGOS DE PROGRAMAÇÃO	121
A.1	Transações PI Web API	121
A.1.1	Coleta dos números dos locais de instalação	121
A.1.2	Atualização dos números dos locais de instalação	121
A.1.3	Atualização do número da nota de manutenção	121
A.2	Transações SAP	121
A.2.1	Coleta última data de manutenção	121
A.2.2	Criação de nota de manutenção	121
A.3	Fluxos de execução	121
A.3.1	Fluxo de atualização da última data de manutenção	121

1 Introdução

1.1 Motivação

Este projeto foi desenvolvido em uma empresa do segmento de papel, celulose e embalagens. O escopo do projeto são bombas e motores em uma máquina de papel dentro de uma das fábricas dessa empresa, onde ocorre a produção de papel 24 horas por dia. A confiabilidade dos equipamentos é importante para que a produção de papel possa ocorrer com o mínimo de interrupções possível por falhas de equipamentos.

Motores e bombas em indústrias são muito requisitados já que são responsáveis por grande parte dos movimentos necessários presentes em processos industriais. Esses equipamentos são ligados e desligados de acordo com a necessidade do processo em que estão inseridos, alguns precisam estar em movimento para garantir o funcionamento do processo, outros só são ligados esporadicamente, pois são de partes do processo que não necessitam operar a todo momento. Dessa forma, mesmo dois ativos possuindo exatamente o mesmo modelo, mas sendo utilizados em partes diferentes da planta fabril podem sofrer desgastes diferentes, tanto pelas condições do meio em que se encontram, tanto pelo esforço que é requisitado de cada um.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste projeto é implementar um método de manutenção preventiva baseado em horas de operação de equipamentos rotativos. Essa aplicação deve ser implementada por meio da criação de um processo autônomo que realiza a coleta automática de informações dos equipamentos do sistema de gerenciamento de manutenção, como sua última data de manutenção, e que realiza a atribuição automática de notas de serviço de manutenção. As notas são criadas a partir das horas efetivas de operação de motores e bombas.

Atualmente, o processo de manutenção presente é preventiva baseada em calendário, onde uma mesma periodicidade de manutenção é estabelecida para todos os equipamentos. Assim, não é levado em consideração as condições ambientais em que o equipamento está inserido, como também o quanto é exigido de cada um. Já na manutenção preventiva baseada em horas, a priorização da manutenção ocorre de acordo com tempo em que o equipamento de fato operou. Dessa forma, busca-se evitar manutenções desnecessárias e focar mais nos equipamentos que realmente necessitam de manutenção.

1.2.2 Objetivos secundários

Como objetivos derivados do principal, temos os seguintes:

- Avaliar o processo atual de manutenção (manutenção preventiva baseada em calendário);
- Análise do banco de dados com informações de funcionamento e manutenção de motores e bombas;
- Estudo de confiabilidade baseado em tempos de funcionamento de paradas de motores e bombas;
- Analisar o método proposto, comparativamente ao método baseado em calendário.

1.3 Organização do documento

No capítulo 1, é abordado a motivação do projeto, bem como o local onde ele foi implementado, e também são tratados os objetivos do projeto.

No capítulo 2, são discutidos os conceitos teóricos que foram utilizados para realização do projeto, bem como a especificação das ferramentas utilizadas.

No capítulo 3, ocorre o desenvolvimento do projeto em si, exemplificando cada passo realizado para sua conclusão.

No capítulo 4, é possível observar os resultados e discussões sobre o funcionamento do projeto até o presente momento.

No capítulo 5, apresenta-se as conclusões do trabalho.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Indústria 4.0

O conceito de indústria 4.0 surgiu na Alemanha e consiste na inclusão de tecnologias de informação e de comunicação no ambiente industrial, com o objetivo de alavancar capacidade produtiva, flexibilidade, qualidade e gerenciamento. [Sacomano et al. \(2018, p. 28\)](#)

2.1.1 Serviços Web

A troca de informações entre máquinas e humanos ou somente entre máquinas realizada por meio de redes de computadores é um dos aspectos presente na indústria 4.0. Essa troca é possível por meio de protocolos que padronizam o envio e recebimento de mensagens.

O protocolo HTTP é um protocolo da camada de aplicação da Web e define a estrutura de mensagens e como elas são trocadas por clientes e servidores. [Kurose \(2013, p. 72\)](#) Dessa forma, esse protocolo estabelece como um cliente requisita uma página Web e como um servidor retorna essa página ao cliente. [Kurose \(2013, p. 73\)](#)

Páginas Web são formadas por objetos, os quais são identificados unicamente por um endereço (URL). Essas páginas são acessadas por navegadores Web, os quais fazem o papel de cliente e os servidores Web armazenam os objetos presentes nelas, fazendo o papel de servidor. [Kurose \(2013, p. 72\)](#)

A comunicação entre clientes e servidores é feita por meio de interfaces de programação de aplicação (API), as quais podem ser construídas por meio de arquiteturas do tipo *REST*, a qual utiliza métodos HTTP para realizar essa comunicação. Esses métodos são utilizados para a aquisição, edição, criação e exclusão de dados em servidores Web. Entre eles há os métodos *GET*, *POST*, *PUT* e *DELETE*.

- *GET*: aquisição de dados;
- *POST*: criação de dados;
- *PUT*: edição de dados;
- *DELETE*: remoção de dados.

2.1.2 Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD)

A indústria 4.0 proporcionou o controle e monitoramento de plantas fabris remotamente por meio de computadores. Dessa forma, o ambiente é percebido por sensores e atuadores agem no processo de acordo com o que for solicitado pelos operadores ou com o que foi previamente programado.

O monitoramento das variáveis em tempo real dos vários subsistemas integrados, os quais controlam os processos presentes em uma planta fabril é realizado por um nível supervisor de controle existente no SDCC. Rosário (s.d., p. 61) Esse módulo possui interfaces homem-máquina (IHM) que possibilitam a supervisão e o comando desses sistemas por meio de fluxogramas do processo, como pode ser visualizado na figura 1 ABB (s.d.).

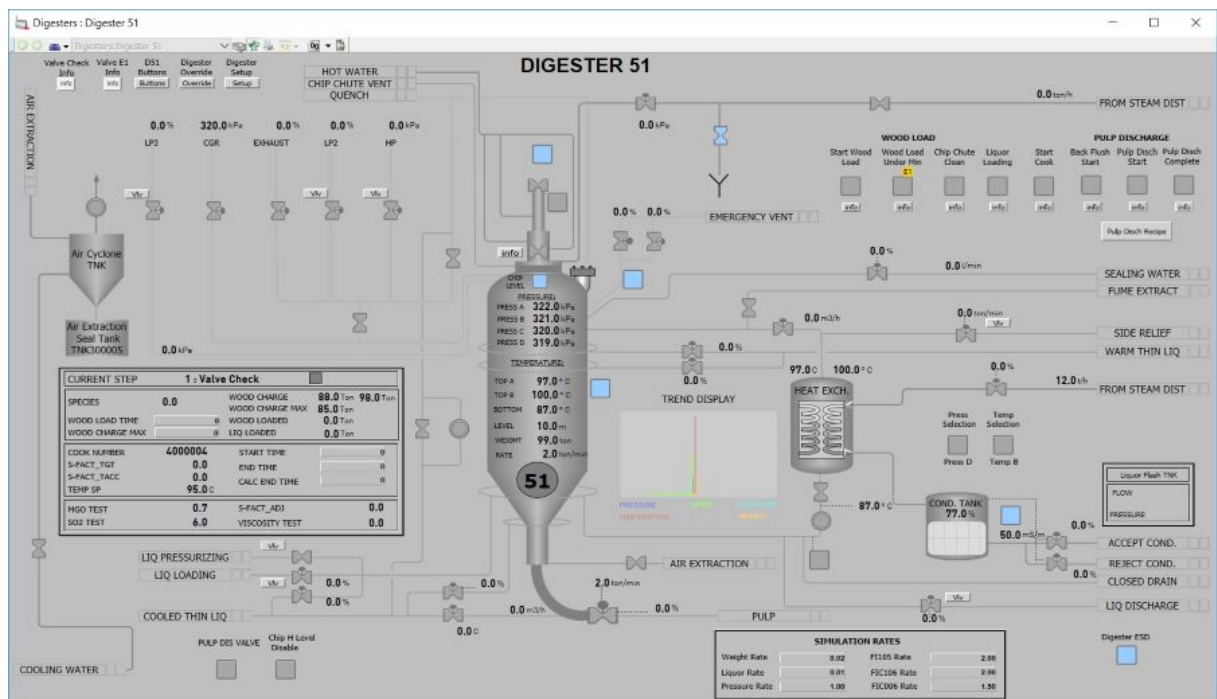


Figura 1 – IHM

Fonte: <https://new.abb.com/pulp-paper/abb-in-pulp-and-paper/products/control-system/pulp-paper-library>

Um processo industrial onde dados são coletados e processados a todo instante gera uma quantidade massiva de dados, a qual é chamada de *Big Data*. Assim, existem *softwares* específicos para armazenar os dados de forma otimizada, organizar os dados de forma a dar sentido e analisar os dados para transformá-los em novas informações.


2.1.3 PI System

O *PI System* é um conjunto de *softwares* integrados desenvolvidos pela empresa OSIsoft e são utilizados para coletar, armazenar, visualizar, analisar e compartilhar dados

com informações de data e hora provenientes de controladores lógico programáveis (CLP), SDCD e sistemas SCADA. [PI SYSTEM...](#) (s.d.) [PI...](#) (2020, p. 5)

2.1.3.1 PI Asset Framework (PI AF)

O PI AF é utilizado para dar contexto e estruturar os dados, identificando dados associados aos equipamentos, dispositivos e unidades de processamento do processo. Isso é realizado por meio de rótulos personalizáveis criando relacionamento entre esses itens e organizando-os de forma a encontrar informações facilmente, divididas em atributos e elementos. [PI...](#) (s.d.) Na figura 2 está ilustrado como os dados estariam relacionados a um ativo no PI AF, onde a pressão é um atributo com valor 92.19 e o elemento é o equipamento *MyPump*. [OSIsoft \(2018b\)](#)



Name	Value
Head Pressure	92.1994592
Temperature Inlet	15 deg C
Temperature Outlet	16 deg C

Figura 2 – Representação de ativos no PI AF

Fonte: <https://docs.osisoft.com/bundle/pi-server/page/how-assets-are-represented-in-pi-af.html>

2.1.3.1.1 PI Asset Analytics

O *PI Asset Analytics* é uma ferramenta presente no PI AF, a qual permite a criação de análises. Uma análise realiza cálculos utilizando valores cadastrados em atributos do PI AF e podem escrever em outro atributo o resultado desses cálculos. [OSIsoft \(2018a\)](#) Por exemplo, sabendo o estado de um equipamento, podendo este estar ligado ou desligado, é possível calcular quanto tempo esse estado permaneceu como ligado. Assim, sabe-se o tempo que um equipamento operou.

2.1.3.1.2 PI Event frames

O *PI Event Frames* é uma ferramenta presente no PI AF, a qual permite a captura de eventos ocorridos no processo, bem como a captura de dados relevantes relacionados a esse evento. [OSIsoft \(2018c\)](#) Por exemplo, um evento pode ser criado quando um equipamento é desligado e um dado relevante desse evento seria a quantidade de tempo que esse equipamento operou.

2.1.3.1.3 PI Notification

O *PI Notification* é uma ferramenta presente no PI AF, a qual permite a criação de notificações que podem ativar envios de *e-mails* ou chamar os métodos de serviço Web. [OSIsoft \(2018d\)](#) Dessa forma, seguindo o exemplo anterior, pode-se configurar uma notificação para que toda vez que o evento for criado seja enviado um *e-mail*.

2.1.3.2 PI Web API

O *PI Web API* é uma API do tipo REST, a qual permite a aquisição e manipulação dos dados presentes no banco de dados do *PI System* por meio de diferentes linguagens de programação. [OSIsoft \(2019\)](#)

2.1.3.3 PI Vision

O *PI Vision* é uma aplicação Web que permite a visualização de informações do processo. Com essa aplicação é possível construir telas onde os dados presentes no banco de dados do *PI System* podem ser visualizados de diferentes formas, como em tabelas, textos, gráficos, símbolos, entre outros. [OSIsoft \(2022\)](#)

2.2 Automação de processos

A automação é um dos elementos que dá suporte a Indústria 4.0 e consiste na execução de tarefas sem a intervenção humana com base em regras previamente estipuladas. [Sacomano et al. \(2018, p. 36\)](#) Dessa forma, a automação de processos consiste na execução de um processo sem a intervenção humana, onde o processo envolve um conjunto de tarefas.

2.2.1 Automação Robótica de Processos (RPA)

“RPA é a combinação de várias tecnologias reunidas sob um conjunto de ferramentas para diferentes fins de automação.” [Muniz et al. \(2022, p. 14\)](#)

Há três tecnologias que influenciaram a criação do RPA. A primeira delas é o *screen scraping* (raspagem de tela), onde ocorre a extração de dados de programas, páginas Web e documentos, replicando a ação humana de interação com esses sistemas. [Muniz et al. \(2022, p. 17\)](#) Por exemplo, essa tecnologia é capaz de reproduzir o ato de uma pessoa abrir um programa, abrir a tela de *login* desse programa, escrever nos campos de usuário e senha e clicar no botão de confirmação, acessando a página inicial do usuário.

A segunda tecnologia é a *workflow automation* (automação do fluxo de trabalho), onde ocorre uma sequência de ações automatizadas que são repetitivas e previsíveis. O objetivo dessa tecnologia é tornar os processos mais rápidos, eficientes e precisos, eliminando a necessidade de mão de obra humana nessas tarefas. [Muniz et al. \(2022, p. 16\)](#)

E por fim, a terceira tecnologia é a inteligência artificial (IA), onde a aplicação consegue realizar tarefas que necessitam de inteligência humana, sendo necessário aprendizagem, raciocínio e autocorreção. Assim, o aprendizado de máquina e a compreensão da linguagem natural comunicada pelos seres humanos são aspectos da IA presentes na RPA. [Muniz et al. \(2022, p. 16\)](#)

2.2.2 Microsoft Power Automate

Microsoft Power Automate é um *software* que utiliza RPA para criação de fluxos de tarefas automatizados. Existem três tipos de fluxos, o fluxo de nuvem, fluxo de área de trabalho e fluxo de processo empresarial.

O fluxo de nuvem é executado na nuvem e pode ser ativado de três formas:

- Automática: acontecimento de algum evento, como por exemplo, a chegada de um método de serviço Web ou a chegada de um e-mail;
- Instantânea: clicando em um botão;
- Agendada: ocorrendo, por exemplo, diariamente ou duas vezes por semana.

[Microsoft \(2022b\)](#)

O fluxo de área de trabalho é executado na Web ou em um computador. Ele permite a interação com os programas existentes em um computador ou com elementos de uma página Web. [Microsoft \(2022a\)](#)

O fluxo de processo empresarial serve como um guia para a realização de tarefas no trabalho, tendo como objetivo a realização de tarefas de forma padronizada diminuindo a necessidade de treinamento para os funcionários, já que o próprio processo a ser feito conduz o trabalhador. [Microsoft \(2022c\)](#)

2.3 Manutenção

A manutenção de equipamentos dentro de uma indústria é algo fundamental para garantir o funcionamento esperado do processo produtivo, pois é a partir dessa prática que ocorre o melhor aproveitamento de um ativo. Desse modo, o principal objetivo é tirar o máximo de proveito de um equipamento sem comprometer o processo e a segurança, e para que isso ocorra são utilizadas várias “ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.” [Seleme \(2015, p. 19\)](#). Essas ações podem consistir em trocas preventivas antes de uma falha, inspeção para verificar a saúde do equipamento, ou até a utilização de recursos para identificar falhas antes que elas ocorram.

As ações tomadas para a realização de um processo de planejamento de manutenção, envolvendo atividades padronizadas com uma ordem de execução bem definida, podem ser automatizadas.

2.3.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva consiste no conserto do equipamento após sua falha, de forma que ele possa exercer novamente as funções que lhe foram atribuídas. [ABNT \(1994, seção 2.8.8\)](#) Dessa forma, seu emprego frequente leva a baixa taxa de utilização dos equipamentos, diminuição da vida útil desses equipamentos e ocorrem em momentos aleatórios, os quais podem acarretar grandes prejuízos devido à interrupção do processo produtivo ligado ao equipamento que falhou. [Bueno \(2020, p. 24\)](#).

2.3.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva realiza técnicas com periodicidade bem definida, ou com critérios preestabelecidos, com o objetivo de prevenir falhas ou a degradação de um equipamento. [ABNT \(1994, seção 2.8.7\)](#) Deste modo, este tipo de manutenção prevê o aumento da vida útil dos bens de produção, a redução de falhas de equipamentos críticos, a diminuição de perdas de produção devido a falhas de equipamentos, além de propiciar uma maior segurança aos manutentores. [Seleme \(2015, p. 42\)](#)

2.3.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva utiliza técnicas de análise, onde parâmetros desse equipamento são monitorados para tentar prever uma possível falha. São utilizadas, por exemplo, análises de temperatura e de vibração. [ABNT \(1994, seção 2.8.9\)](#)

2.4 Gestão da manutenção

2.4.1 Manutenção programada

A manutenção programada ocorre quando se tem um programa preestabelecido para realização de uma manutenção preventiva em um equipamento. [ABNT \(1994, seção 2.8.10\)](#)

2.4.1.1 Manutenção preventiva sistemática

A manutenção preventiva sistemática é uma manutenção programada que utiliza critérios sistemáticos com base em parâmetros que envolvem um certo equipamento, como, por exemplo, dias do calendário ou as horas de funcionamento de um ativo. [Bueno \(2020, p. 26\)](#)

2.4.1.2 Manutenção preventiva por estado

A manutenção preventiva por estado também é uma manutenção programada, mas ocorre quando algum parâmetro do equipamento se encontra em condições divergentes das ideais, necessitando intervenção antes que gere uma falha. Essas condições podem ser detectadas por meio de inspeções ou de monitoramento preditivo. [Bueno \(2020, p. 27\)](#)

2.4.2 Manutenção não-programada

Ao contrário da manutenção programada, a não-programada não possui um programa preestabelecido e ocorre após detectar parâmetros de um equipamento onde se vê necessário realizar uma manutenção. [ABNT \(1994, seção 2.8.11\)](#)

2.4.3 Inspeções

Inspeções são análises qualitativas e periódicas das condições de um ativo, podendo ser sensitivas ou preditivas. [Bueno \(2020, p. 28\)](#). A inspeção sensitiva abrange, por exemplo, a averiguação da existência de ruídos anormais, das condições físicas ideais dos componentes que constituem o equipamento, da correta sinalização do equipamento ou da existência de algum odor diferente que possa indicar algum problema. Já a inspeção preditiva é realizada, por exemplo, com a medição de vibração e verificação termográfica.

2.4.4 Plano de manutenção

O plano de manutenção consiste na descrição de procedimentos técnicos e gerenciais utilizados para realizar a manutenção em um equipamento e contém atividades a serem realizadas, cronograma, ferramentas e recursos necessários para a realização do processo. [Dhillon \(2002, p. 15\)](#)

2.4.5 Ordem de serviço

Uma ordem de serviço direciona e autoriza a realização de uma determinada tarefa, neste caso uma manutenção em um equipamento, e nela contém informações do ativo em questão, quem deve realizar essa tarefa, data de início, materiais e recursos necessários e um descritivo da requisição do serviço e sua justificativa. [Dhillon \(2002, p. 41\)](#)

2.4.6 Software de gerenciamento de manutenção

Para o melhor gerenciamento dos processos envolvendo a manutenção, empresas costumam utilizar *softwares* especializados nesse segmento. O *software* de gerenciamento de manutenção utilizado neste projeto é o SAP, o qual “é um *software* responsável pelo gerenciamento de dados e informações de diversas áreas e processos” [SAP... \(2013, p. 9\)](#).

Nele é possível organizar de forma estruturada todos os ativos da fábrica, acrescentando informações técnicas e sobre seu fabricante nos equipamentos, programar ordens de serviço de manutenção, visualizar o histórico de manutenções realizadas, entre outros.

2.4.6.1 SAP GUI Scripting

SAP GUI *Scripting* é uma interface do SAP que permite a automação de tarefas repetitivas, gravando e executando *scripts*. SAP... (2022) Essa ferramenta grava cada comando manual que o usuário executa no *software* e retorna um arquivo com um código em *VBScript*, que ao ser inserido no *software* repete os comandos previamente produzidos pelo usuário.

2.5 Confiabilidade

De acordo com a norma sobre Confiabilidade e manutenibilidade da ABNT, confiabilidade é a “capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo” ABNT (1994, seção 2.2.6) e sua medida é dada pela probabilidade que isso ocorra.

2.5.1 Disponibilidade

A disponibilidade é a capacidade de um equipamento desempenhar sua função em um determinado período de tempo por intermédio de manutenção apropriada Flávio Fogliatto (2009, p. 7) e sua medida é dada pela probabilidade que isso ocorra.

A disponibilidade de longo prazo é descrita pela disponibilidade assintótica que é dada pela equação 2.1. Flávio Fogliatto (2009, p. 161)

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) \quad (2.1)$$

Essa disponibilidade assintótica pode ser aproximada pela equação 2.2. Flávio Fogliatto (2009, p. 162)

$$A = \frac{\text{Tempo médio até falha}}{\text{Tempo médio até falha} + \text{Tempo de restabelecimento médio}} \quad (2.2)$$

2.5.1.1 Disponibilidade de sistemas

Os equipamentos em um sistema produtivo podem ser arrançados em série e em paralelo. Assim também é possível realizar o cálculo da disponibilidade de sistemas com base na disponibilidade individual de cada equipamento nesse sistema. Flávio Fogliatto (2009, p. 167)

No caso dos equipamentos estarem em série utiliza-se a equação 2.3.

$$A(t) = \prod_{i=1}^n A_i(t) \quad (2.3)$$

No caso dos equipamentos estarem em paralelo utiliza-se a equação 2.4.

$$A(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - A_i(t)] \quad (2.4)$$

Com base nas equações 2.3 e 2.4, para sistemas que estejam em paralelo-série, onde há m subsistemas conectados em paralelo de n equipamentos conectados em série, utiliza-se a equação 2.5.

$$A(t) = 1 - \prod_{i=1}^m \left[1 - \prod_{j=1}^n A_{ij}(t) \right] \quad (2.5)$$

Com base nas equações 2.3 e 2.4, para sistemas que estejam em série-paralelo, onde há m equipamentos conectados em paralelo de n subsistemas conectados em série, utiliza-se a equação 2.6.

$$A(t) = \prod_{i=1}^n \left[1 - \prod_{j=1}^m (1 - A_{ij}(t)) \right] \quad (2.6)$$

2.5.2 Medidas de confiabilidade

2.5.2.1 Função de confiabilidade R(t)

A função de confiabilidade descreve a probabilidade de um equipamento realizar satisfatoriamente sua função durante um intervalo de tempo [0, t]. Flávio Fogliatto (2009, p. 10)

2.5.2.2 Função de risco h(t)

A função de risco descreve a quantidade de risco de falha que um equipamento está submetido em um tempo t e também é conhecida como taxa de falha e taxa de risco. Flávio Fogliatto (2009, p. 10)

É a partir dessa função que é construído o gráfico que comumente descreve o tempo de vida de um equipamento quanto a sua quantidade de falhas, conhecido como a curva da banheira mostrada na figura 3. O equipamento inicia sua vida com um alto risco de falhas, com o passar do tempo esse risco se uniformiza e no final da vida do ativo o risco de falha aumenta significativamente. Flávio Fogliatto (s.d.)

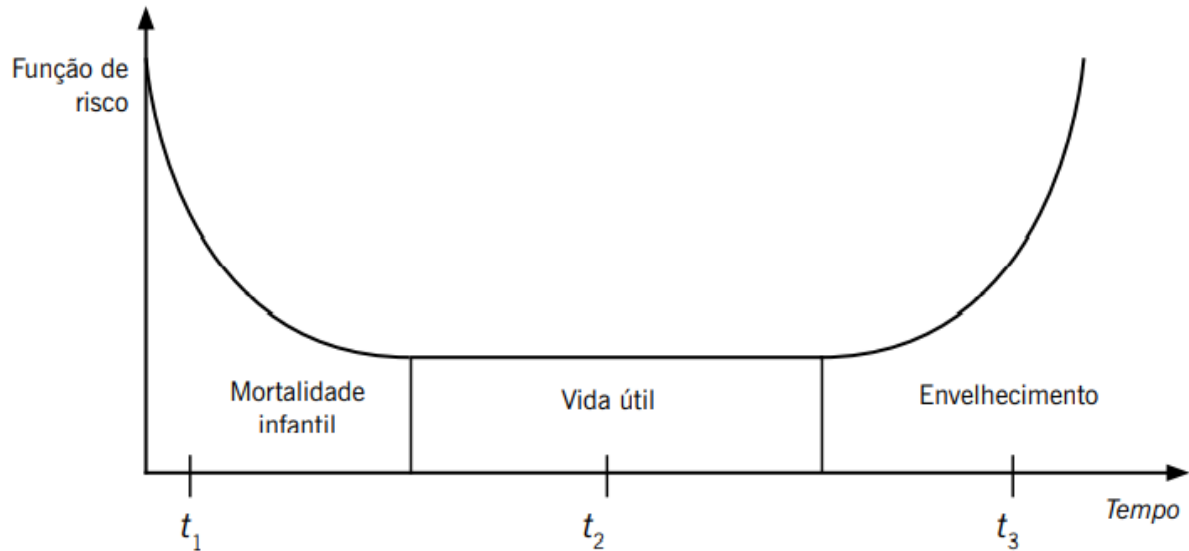


Figura 3 – Curva da banheira

Fonte: Flávio Fogliatto (2009, p. 11)

2.5.2.3 Tempo médio até falha (MTTF)

Valor esperado do tempo até a falha de um ativo. ABNT (1994, seção 2.13.7)

2.5.2.4 Tempo médio entre falhas (MTBF)

Valor esperado do tempo entre falhas de um ativo. ABNT (1994, seção 2.13.8)

2.5.2.5 Tempo de restabelecimento médio (MTTR)

Valor esperado do tempo de reparo de um ativo. ABNT (1994, seção 2.14.8)

2.5.3 Distribuições de probabilidade utilizadas em confiabilidade

É possível determinar a distribuição de probabilidade que melhor se adequa utilizando modelagem de valores de tempo até falha e de tempo de reparo para determinar as probabilidades de medidas relacionadas a confiabilidade. Uma vez selecionada a distribuição é possível obter a função de densidade $f(t)$ que descreve a distribuição de probabilidade de uma variável contínua aleatória. Minitab (2021e)

Algumas técnicas podem ser utilizadas para a determinação da distribuição dos dados, como as descritas a seguir.

- Teste de Anderson-Darling: É calculada utilizando a distância ao quadrado ponderada entre a função de etapa não-paramétrica e a linha ajustada do gráfico de probabilidade construída com base na distribuição escolhida e empregando as técnicas de estimativa de máxima verossimilhança ou estimativas de mínimos quadrados. Minitab (2021a)

- Teste qui-quadrado: Ocorre a medida de divergência entre a frequência observada dos dados e a frequência esperada. [Minitab \(2021d\)](#)
- Teste de Kolmogorov-Smirnov: Ocorre a medida de divergência entre a função de distribuição acumulada empírica da amostra com a função da distribuição esperada. [Minitab \(2021c\)](#)

Em todos esses testes duas hipóteses são definidas, a hipótese nula (H_0) indica que a amostra segue a distribuição escolhida e a hipótese alternativa (H_1) indica que a amostra não segue a distribuição escolhida. A partir disso, calcula-se a probabilidade (p-valor) que rejeita a hipótese nula a partir do nível de significância escolhido. Assim, se o p-valor for maior que o nível de significância escolhido não se pode rejeitar H_0 . [Minitab \(2021b\)](#)

As distribuições mais utilizadas para as medidas de confiabilidade estão descritas a seguir.

2.5.3.1 Distribuição Exponencial

A distribuição exponencial é melhor utilizada quando há uma taxa constante de falhas. Além disso uma propriedade fundamental é a sua falta de memória, garantindo que o acontecimento de novos eventos não tem relação com eventos antigos [Flávio Fogliatto \(2009, p. 28\)](#) e possui um parâmetro de escala (λ).

Sua função de densidade $f(t)$, função de confiabilidade $R(t)$, função de risco $h(t)$ e tempo médio até falha MTTF são descritas a seguir. [Flávio Fogliatto \(2009, p. 28\)](#)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.8)$$

$$h(t) = \lambda \quad (2.9)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.10)$$

Onde, λ é o parâmetro de escala.

2.5.3.2 Distribuição Weibull

A distribuição de Weibull é flexível e é capaz de representar amostras de tempo de falha que possuem comportamento distinto e apresenta funções de risco constante.

Dessa forma, é amplamente utilizada em análises de confiabilidade. Além disso, possui dois parâmetros: o de forma (γ) e o de escala (θ) Flávio Fogliatto (2009, p. 29)

Sua função de densidade $f(t)$, função de confiabilidade $R(t)$, função de risco $h(t)$ e tempo médio até falha MTTF são descritas a seguir. Flávio Fogliatto (2009, p. 30)

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} t^{\gamma-1} e^{-\frac{t^\gamma}{\theta}} \quad (2.11)$$

$$R(t) = e^{-\frac{t^\gamma}{\theta}} \quad (2.12)$$

$$h(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta} \right)^{\gamma-1} \quad (2.13)$$

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad (2.14)$$

Onde $\gamma > 0$, $\theta > 0$ e $t \geq 0$

Há também a distribuição de Weibull que possui três parâmetros, onde há a inclusão do parâmetro de limite (α). Nessa distribuição, a função de densidade, a função de confiabilidade, a função de risco e o tempo médio até falha são descritos a seguir. Rinne (2008, p. 30)

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t - \alpha}{\theta} \right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{t - \alpha}{\theta} \right)^\gamma} \quad (2.15)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t - \alpha}{\theta} \right)^\gamma} \quad (2.16)$$

$$h(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t - \alpha}{\theta} \right)^{\gamma-1} \quad (2.17)$$

$$MTTF = \alpha + \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad (2.18)$$

Onde $t \geq \alpha$

2.5.3.3 Distribuição Gama

“A distribuição gama é uma generalização da distribuição exponencial. Seja uma unidade exposta a uma série de choques que ocorrem conforme um processo de Poisson

homogêneo, com intensidade γ .” Flávio Fogliatto (2009, p. 31) Além disso, possui dois parâmetros: o de forma (γ) e o de escala (λ).

Sua função de densidade $f(t)$, função de confiabilidade $R(t)$, função de risco $h(t)$ e tempo médio até falha MTTF são descritas a seguir. Flávio Fogliatto (2009, p. 31)

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\gamma)} (\lambda t)^{\gamma-1} e^{-\lambda t} \quad (2.19)$$

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^{\lambda t} x^{\gamma-1} e^{-x} dx \quad (2.20)$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.21)$$

$$MTTF = \frac{\gamma}{\lambda} \quad (2.22)$$

Onde γ é o parâmetro de forma e λ é o parâmetro de escala.

2.5.3.4 Distribuição Lognormal

A distribuição lognormal é muito utilizada em equipamentos reparáveis, onde a probabilidade de ocorrer uma ação de manutenção aumenta com o passar do tempo por vários fatores externos. Flávio Fogliatto (2009, p. 33) Além disso, possui dois parâmetros: o de local (μ) e o de escala (σ).

Sua função de densidade $f(t)$, função de confiabilidade $R(t)$, função de risco $h(t)$ e tempo médio até falha MTTF são descritas a seguir. Flávio Fogliatto (2009, p. 33)

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right]^2} \quad (2.23)$$

$$R(t) = \Phi \left[\frac{\mu - \ln t}{\sigma} \right] \quad (2.24)$$

$$h(t) = \frac{\phi[(\mu - \ln t)/\sigma]/\sigma t}{\Phi[(\mu - \ln t)/\sigma]} \quad (2.25)$$

$$MTTF = e^{(\mu + \sigma^2)/2} \quad (2.26)$$

2.5.4 Manutenção centrada em confiabilidade (MCC)

A MCC é um programa que agrega técnicas de engenharia para garantir o pleno funcionamento dos equipamentos de uma planta. Assim, é necessário o envolvimento de engenheiros, técnicos de manutenção e operadores, estudo das consequências das falhas, análises de segurança, meio ambiente, operação e custos, realização de atividades preditivas e preventivas e combate a falhas recorrentes. [Flávio Fogliatto \(2009, p. 217\)](#)

3 Metodologia

Neste trabalho, um sistema de manutenção preventiva baseado em horas de operação está sendo proposto e a seguir são apresentados os passos necessários para a construção desse sistema. O primeiro passo é o cadastro dos equipamentos analisados no PI AF, inserindo as informações de identificação e as informações em tempo real. Em paralelo, foi desenvolvido um fluxo automático para a coleta e a atualização das últimas datas de manutenção e por fim, desenvolveu-se um fluxo automático de criação de notas de serviço de manutenção.

Na figura 4 está ilustrado o funcionamento do sistema proposto, onde a quantidade de horas de operação de um equipamento rotativo começa a contar a partir da realização de uma manutenção, essas horas são atualizadas a partir do estado ligado do equipamento e quando esse equipamento atinge a quantidade de horas estipulada, uma nota de serviço de manutenção é criada no *software* de gerenciamento de manutenção SAP para a realização de uma nova manutenção, reiniciando o ciclo.

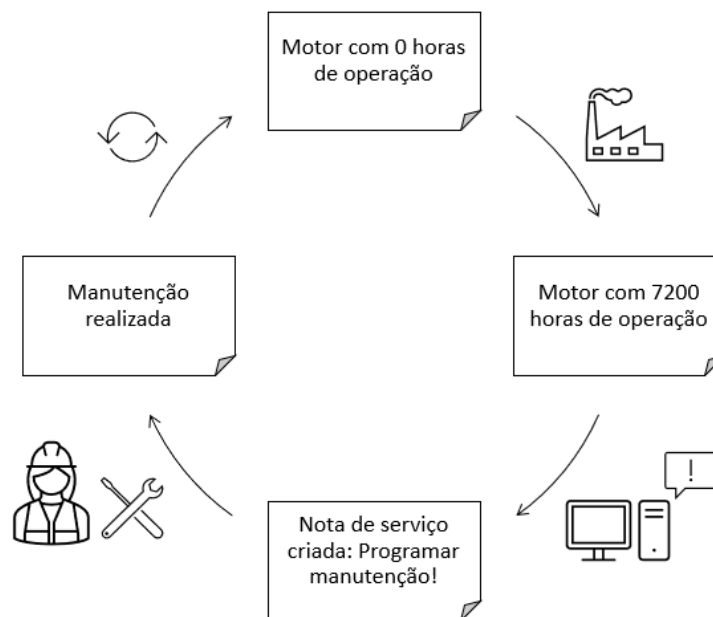


Figura 4 – Sistema proposto

Fonte: Produzido pela autora com PowerPoint

3.1 Cadastro de equipamentos

Primeiramente, foi necessário realizar o cadastro dos equipamentos no *software* PI AF, utilizando modelos padrões, os quais contém atributos de identificação, da condição atual e de informações de manutenção desses equipamentos.

A [Tabela 1](#) descreve quais informações são necessárias para o cadastramento dos equipamentos. As informações estão presentes nas linhas da tabela e são divididas em diferentes categorias, as quais estão descritas pelos cabeçalhos das colunas da tabela.

Tabela 1 – Atributos de equipamentos

Identificação	Manutenção	Condição Atual
Classificação ABC	Abertura automática de notas	Status
Área	Última data de manutenção	Corrente
Número da área	Status de manutenção	Velocidade
Fabricante	Última nota criada automaticamente	Temperatura
Número do local de instalação do SAP	Horas de operação esperadas	Torque
Número do equipamento do SAP	Horas de operação reais	
Nome do equipamento		

Fonte: Produzido pela autora.

Os atributos de identificação foram realizados de forma manual com informações presentes no *software* de gerenciamento de manutenção SAP, as quais identificam unicamente um ativo no sistema de manutenção da fábrica.

Na [Tabela 2](#) é possível observar um exemplo do preenchimento dos atributos de identificação. Esses atributos são o nome do equipamento, sua classificação quanto a importância para o processo, a área e o número da área onde o equipamento se encontra, o fabricante do equipamento, o número do seu local de instalação, que identifica unicamente onde esse equipamento está localizado na fábrica, e o número do equipamento, que identifica unicamente um ativo.

Tabela 2 – Atributos de identificação

Identificação	
Nome do equipamento	Motor do agitador do tanque de máquina tela capa
Classificação ABC	A
Área	PM4
Número da área	45
Fabricante	WEG
Número do local de instalação do SAP	45.92.1006
Número do equipamento do SAP	10006366

Fonte: Produzido pela autora.

Os atributos de manutenção foram preenchidos de diferentes formas: há os que foram preenchidos de forma manual, como o de "abertura de notas automáticas", o qual

pode ativar ou não o mecanismo desenvolvido neste projeto e o de "horas de operação esperadas" coletadas com informações do fabricante do ativo. Além disso, há os atributos que foram preenchidos de forma automática com informações do SAP e por último há os que são análises feitas com o auxílio do *PI Analytics*, como especificado na [Tabela 3](#).

Na [Tabela 3](#) é possível observar quais informações são necessárias para o correto preenchimento dos atributos de manutenção.

Tabela 3 – Atributos de manutenção

Manutenção	
Abertura automática de notas	True/False
Horas de operação esperadas	Informação do fabricante
Última data de manutenção	Informação automática do SAP
Horas de operação reais	Análise
Status de manutenção	Análise
Última nota criada automaticamente	Informação automática do SAP

Fonte: Produzido pela autora.

A [Tabela 4](#) descreve os atributos de condição atual, os quais coletam as informações de tempo real diretamente de tags do sistema supervisório presente no sistema digital de controle distribuído (SDCD).

Tabela 4 – Atributos de condição atual

Condição Atual	
Status	Informação do SDCD
Corrente	Informação do SDCD
Velocidade	Informação do SDCD
Temperatura	Informação do SDCD
Torque	Informação do SDCD

Fonte: Produzido pela autora.

3.2 Atualização automática da última data de manutenção

O equipamento deve ser verificado pela última vez quanto as suas condições operacionais, para atestar se está em boas condições de continuar exercendo sua função ou quando foi realizada alguma intervenção que o deixou em condições de continuar seu trabalho.

Assim, o primeiro passo seria manter sempre atualizada sua última data de manutenção. O fluxo de informação pode ser visualizado na figura 5.

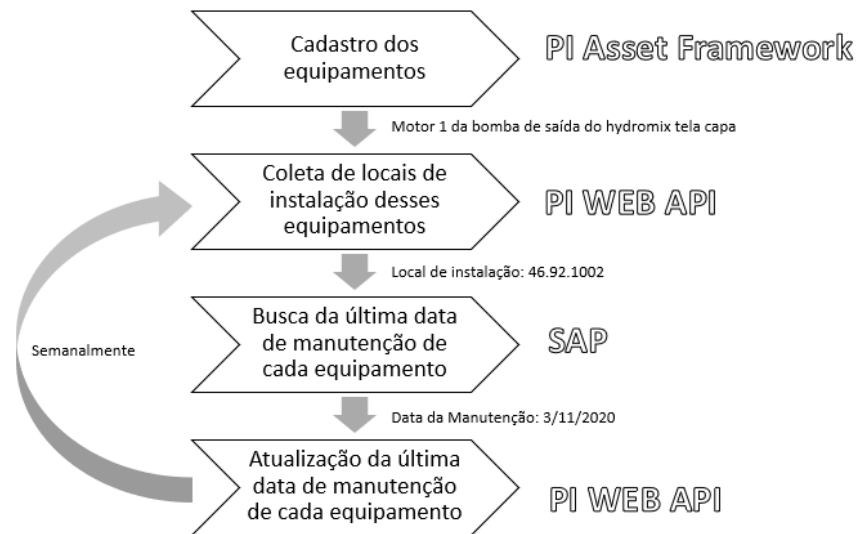


Figura 5 – Fluxo de informação

Fonte: Produzido pela autora com PowerPoint

3.2.1 Coleta de informações

O número do local de instalação identifica unicamente um ativo no SAP. Dessa forma, todos os números dos locais de instalação, que foram cadastrados anteriormente no PI AF, foram coletados automaticamente por meio do desenvolvimento de algoritmos em linguagem de programação Python.

A extração desses dados foi realizada por meio da plataforma *PI Web API*, com a utilização do método *GET* presente no protocolo HTTP da API em questão. [subseção A.1.1](#) Além disso, para cada número de local de instalação anteriormente coletado, foi realizada uma busca automática no SAP da sua última data de manutenção por meio de *scripts* também desenvolvidos em Python. [subseção A.2.1](#)

3.2.2 Atualização de informações

Após a busca, para cada última data de manutenção coletada do SAP, foi atualizado o campo "última data de manutenção" em seu determinado equipamento no PI AF, por meio da plataforma *PI Web API*, com a utilização do método *PUT* presente no protocolo HTTP da API em questão. [subseção A.1.2](#)

3.2.3 Fluxo de execução

Utilizando o *Power Automate*, foi possível a criação de procedimentos automáticos, denominados fluxos, os quais foram agendados para executar semanalmente os códigos da

coleta do número dos locais de instalação, da coleta das últimas data de manutenção e de atualização dessa data em cada equipamento mapeado.

O fluxo agendado é um fluxo de nuvem presente na figura 6 que ativa um fluxo de área de trabalho presente na figura 7, o qual executa os algoritmos na máquina utilizada para a aplicação. [subseção A.3.1](#)

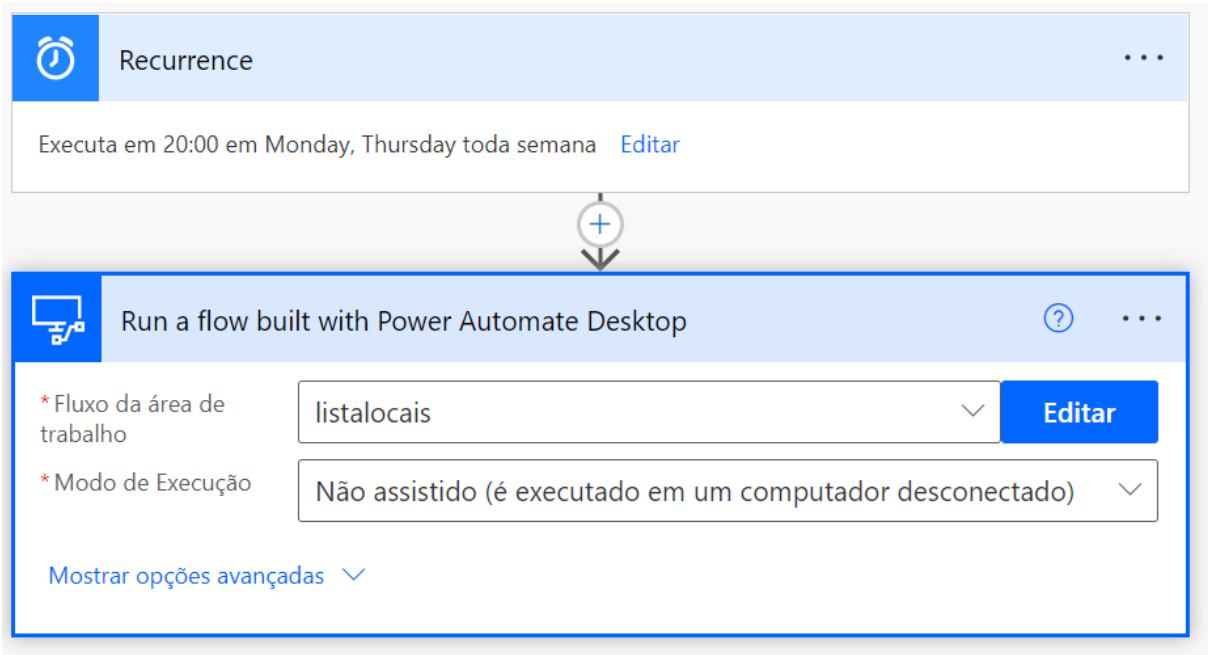


Figura 6 – Fluxo de nuvem

Fonte: Power Automate

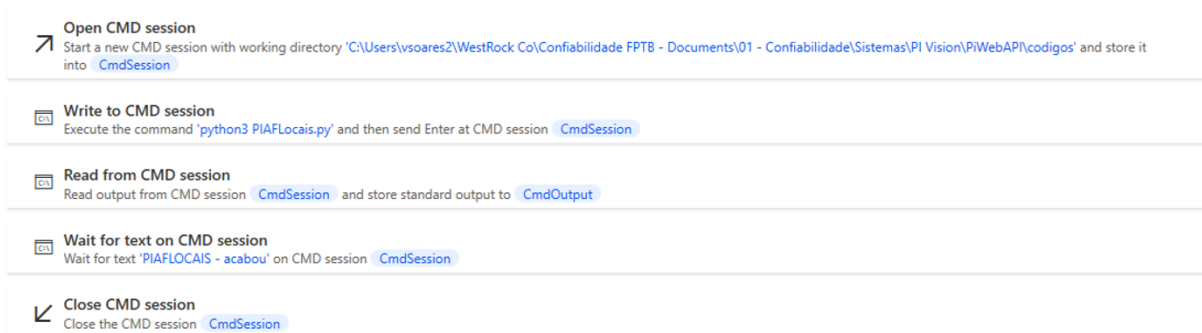


Figura 7 – Fluxo de área de trabalho

Fonte: Power Automate

3.3 Criação automática de nota de manutenção

Uma vez que já se dispõe da última data de manutenção dos equipamentos, o próximo passo é conhecer o tempo de operação em horas desses equipamentos a partir da ultima data

de manutenção. Dessa forma, é possível definir quando deve haver uma nova manutenção nesse equipamento. O fluxo de informação pode ser visualizado na figura 8.

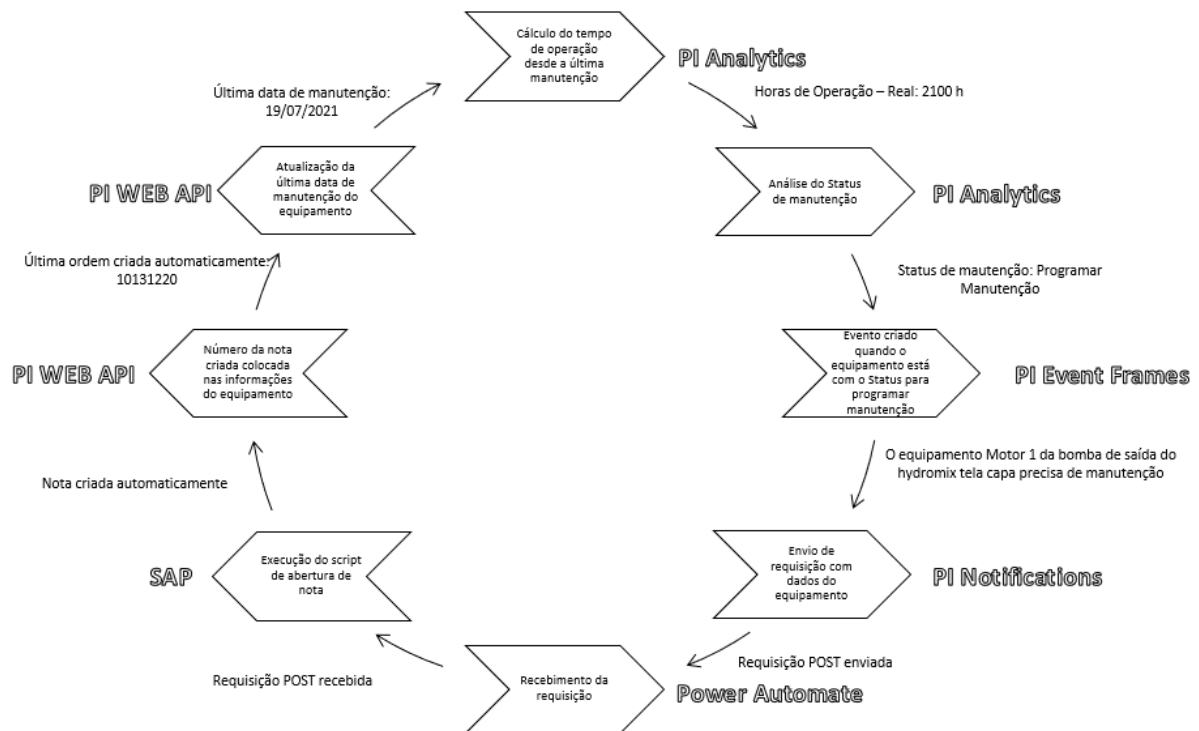


Figura 8 – Fluxo de informação

Fonte: Produzido pela autora com PowerPoint

3.3.1 Análises

Para isso, com o auxílio de ferramentas do *PI Analytics*, foram desenvolvidas as seguintes análises.

3.3.1.1 Tempo de operação desde a última manutenção

Para calcular o tempo em horas de operação desde a última data de manutenção, foi utilizada a informação em tempo real de status do equipamento. Esse status é descrito por uma *tag*, a qual retorna o valor *True* quando o equipamento está ligado e retorna o valor *False* quando o equipamento está desligado.

Esse cálculo foi realizado utilizando uma função, a qual retorna o valor de tempo em segundos que uma variável permaneceu em um determinado valor. A função em questão necessita da variável que se deseja analisar, do tempo de início da análise, do tempo de final da análise e do valor a ser comparado. Assim, foi possível calcular quanto tempo o equipamento permaneceu em *True*, com o tempo de início sendo sua última data de manutenção e o tempo final o instante atual. Além disso, essa análise é ativada sempre que o status ou a última data de manutenção são atualizados.


```
1 TimeEq('Status SDCD or Analysis', 'Last Maintenance Date', '*',
        1)/(60*60)
```

3.3.1.2 Status de manutenção

A partir do cálculo de horas efetivas de operação do equipamento, realizou-se uma análise que compara esse valor com o valor recomendado pelo fabricante entre manutenções para gerar um status de manutenção.

O status de manutenção do equipamento seria "Atrasado"(0), caso o tempo de operação ultrapasse o valor recomendado citado acima, caso as horas de operação cheguem a 90% do valor recomendado pelo fabricante, o status de manutenção é atualizado para "Programar manutenção"(1) e por fim, se as horas de operação estiverem abaixo de 90% do valor limite, seu status é atualizado para "Ok"(2).

```
1 If 'Operating time since maintenance - Real' >= 'Operating time
  since maintenance - Expected Table'
2   Then 0
3 Else If 'Operating time since maintenance - Real' >= 'Operating
  time since maintenance - Expected Table'*0.9
4   Then 1
5 Else 2
```

3.3.2 Abertura de nota

Posteriormente, utilizando o status de manutenção gerado e o *PI Event Frames*, foi criado um evento que é disparado quando o equipamento está com esse status em "Programar Manutenção" e ao criar o evento, foi configurado com auxílio do *PI Notifications* o envio de uma notificação. Essa notificação é enviada por meio de um *Web Service* do tipo REST, o qual envia uma requisição *POST* com os dados do equipamento que disparou o evento. Essa requisição é enviada para que sejam executados os algoritmos que realizam *scripts* do SAP de abertura notas de manutenção para os equipamentos requisitados. [subseção A.2.2](#)

3.3.2.1 Atualização do número da nota

Após a criação da nota de manutenção ocorre a atualização do atributo "Última nota criada automaticamente" em seu determinado equipamento no PI AF, por meio da plataforma *PI Web API*, com a utilização do método *PUT* presente no protocolo HTTP da API em questão. [subseção A.1.3](#)

3.3.3 Fluxo de execução

A requisição da notificação gerada pela análise de status de manutenção é recebida por um fluxo de nuvem do *Power Automate* presente na figura 9, o qual está conectado com um fluxo desktop presente na figura 10, o qual executa os algoritmos na máquina utilizada para a aplicação.

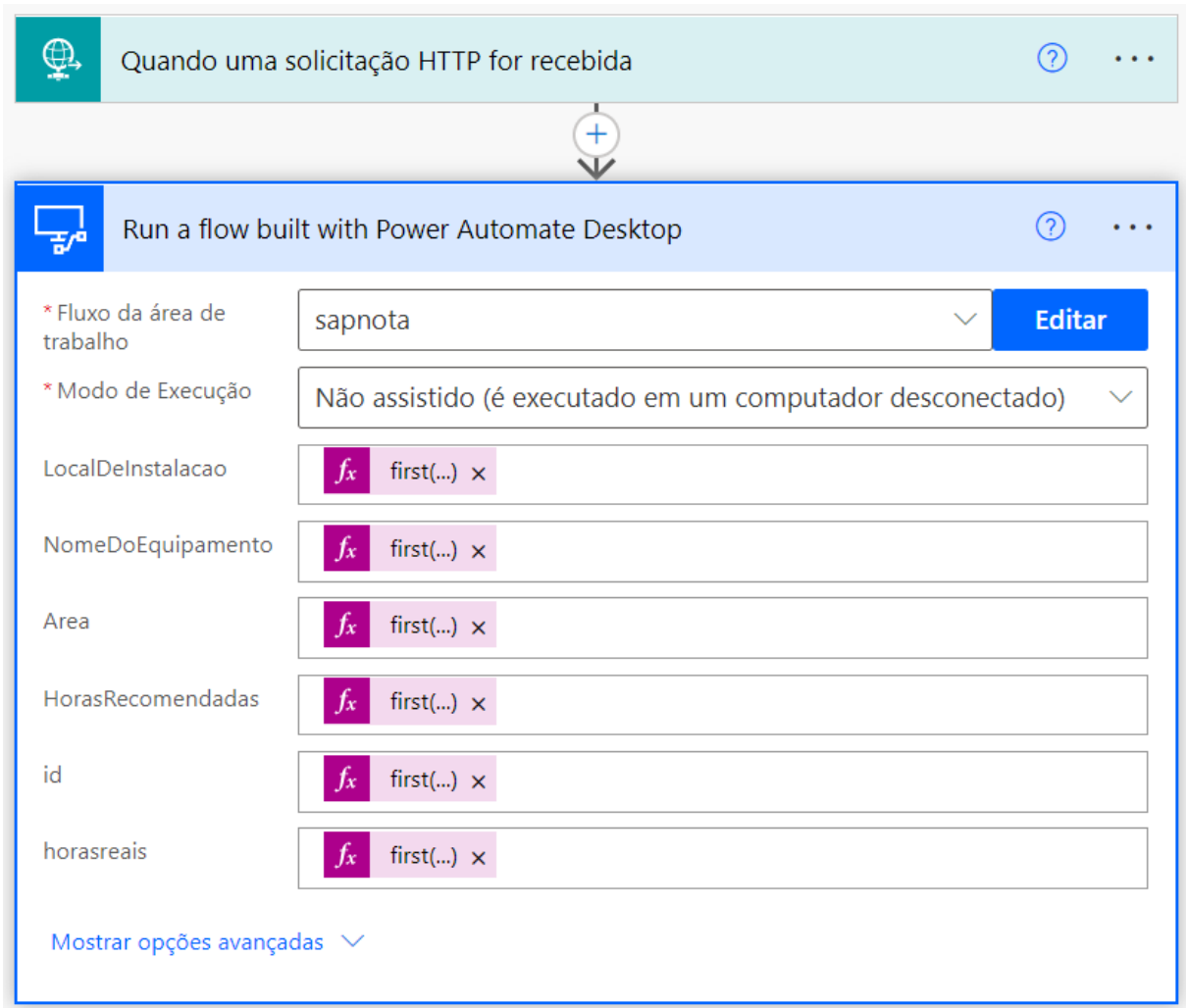


Figura 9 – Fluxo de nuvem

Fonte: Power Automate

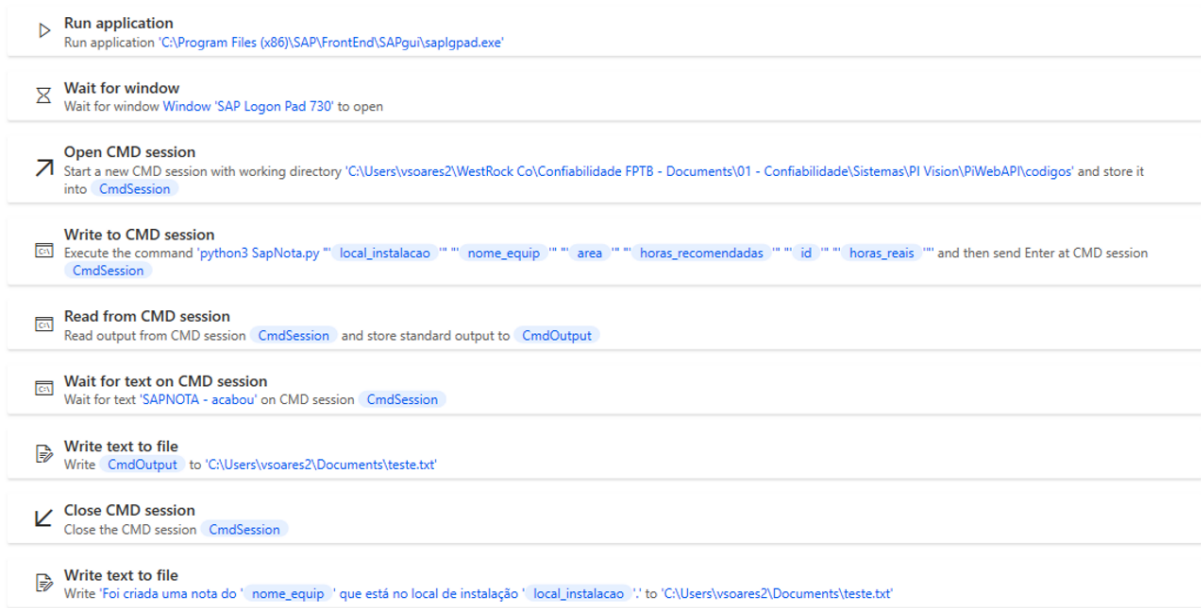


Figura 10 – Fluxo de área de trabalho

Fonte: Power Automate

3.4 Tela de acompanhamento

Utilizando o *PI Vision*, foi desenvolvida uma tela a qual lista os 75 equipamentos escolhidos para a aplicação, onde é possível observar o nome do equipamento, onde ele se localiza, qual foi sua última data de manutenção, as horas de operação recomendadas, as horas de operação realizadas, seu status de manutenção, qual sua classificação de acordo com sua importância para a fábrica e o atributo de abertura de notas. Essa tela tem como objetivo auxiliar os planejadores de manutenção em suas tomadas de decisão quanto ao planejamento e pode ser visualizada nas figuras 11 e 12.

Preparo de Massa							Secagem							Rebobinadeira							
Equipamento	Local de instalação	Última data de manutenção	Horas recomendadas	Status de operação	Classificação ABC	Abertura de Notas	Equipamento	Local de instalação	Última data de manutenção	Horas recomendadas	Status de operação	Classificação ABC	Abertura de Notas	Equipamento	Local de instalação	Última data de manutenção	Horas recomendadas	Status de operação	Classificação ABC	Abertura de Notas	
Máquina 1	Máquina 2	Máquina 3

Figura 11 – Tela de acompanhamento

Fonte: PI Vision

Preparo de Massa							
Equipamento	Local de instalação	Última data de manutenção	Horas recomendadas	Horas de operação	Status de manutenção	Classificação ABC	Abertura de Notas
Motor do 1º estágio de depuração tela base	46.92.1027	11/9/2021 12:00:00 PM	8,760 h	10,587.28 h	Ok	C	True
Motor do 2º estágio de depuração	46.92.1028	3/27/2020 12:00:00 PM	8,760 h	16,217.25 h	Atrasado	C	True
Bomba de entrada do 2º estágio de depuração	46.93.1123	3/8/2021 12:00:00 PM	4,000 h	9,069.42 h	Atrasado	B	True
Bomba de saída do hydromix tela base	46.93.1122	10/5/2021 12:00:00 PM	4,000 h	4,110.71 h	Atrasado	A	True
Motor 1 da bomba de saída do hydromix tela base	46.92.1003	8/19/2021 12:00:00 PM	8,760 h	5,248.21 h	Ok	A	True
Motor 2 da bomba de saída do hydromix tela base	46.92.1199	9/18/2020 12:00:00 PM	8,760 h	8,376.67 h	Programar Manutenção	A	True
Motor do agitador do tanque de máquina tela base	45.92.1008	10/1/2019 12:00:00 PM	8,760 h	20,735.5 h	Atrasado	C	True
Bomba de saída do tanque de máquina tela base	46.93.1145	12/9/2021 12:00:00 PM	4,000 h	2,587.55 h	Ok	C	True
Motor da bomba de saída do tanque de máquina tela base	46.92.1019	10/5/2021 12:00:00 PM	8,760 h	4,092.71 h	Ok	C	True
Motor do agitador do tanque de mistura tela base	45.92.6006	Pt Created	8,760 h	9,341.12 h	Atrasado	C	True
Bomba de saída do tanque de mistura tela base	45.93.1120	12/9/2021 12:00:00 PM	4,000 h	4,832.38 h	Atrasado	C	True
Motor da bomba de saída do tanque de mistura tela base	45.92.1003	9/2/2021 12:00:00 PM	8,760 h	4,832.38 h	Ok	C	True
Bomba de entrada do depurador do módulo jet	46.93.1124	1/18/2017 1:00:00 PM	4,000 h	6,384.32 h	Atrasado	B	True
Motor da bomba de entrada do depurador do módulo jet	46.92.1005	3/8/2021 12:00:00 PM	8,760 h	6,384.32 h	Ok	B	True
Motor do depurador do módulo jet	46.92.1029	10/15/2021 12:00:00 PM	8,760 h	3,930.66 h	Ok	B	True
Motor do Refinador 1	45.92.1015	12/30/2021 12:00:00 PM	8,760 h	2,126.42 h	Ok	B	True
Motor do refinador 2	45.92.1017	4/7/2021 12:00:00 PM	8,760 h	4,868.76 h	Ok	B	True
Motor do refinador 3	45.92.1019	11/20/2018 1:00:00 PM	8,760 h	32,183.56 h	Atrasado	B	True
Motor do 1º estágio de depuração tela capa	46.92.1026	11/20/2018 1:00:00 PM	8,760 h	27,264.41 h	Atrasado	C	True
Bomba de saída do hydromix tela capa	46.93.1121	10/5/2021 12:00:00 PM	4,000 h	4,062.45 h	Programar Manutenção	A	True
Motor 1 da bomba de saída do hydromix tela capa	46.92.1002	9/22/2021 12:00:00 PM	8,760 h	4,357.01 h	Ok	A	True

Figura 12 – Tela de acompanhamento

Fonte: PI Vision

3.5 Análise de confiabilidade

Uma análise de confiabilidade dos equipamentos foi realizada para a determinação de suas disponibilidades com base no histórico de dados de manutenções do *software* de gerenciamento de manutenção SAP e com base tempos de operação calculados por meio dos dados em tempo real. Após a coleta dos dados de manutenção, essas informações foram filtradas e foi possível definir tempos médios de funcionamento e de parada.

3.5.1 Coleta dos dados

Primeiramente, foram selecionados 39 equipamentos dos que estão sendo monitorados pelo sistema que foi construído para realizar a coleta dos dados.

No sistema SAP existem dados de histórico de manutenção desde o ano de 2015. Dessa forma, foram coletadas todas as ações de manutenção sofridos por esses equipamentos desde essa data, totalizando 670 ações de manutenção.

Entre as informações colhidas estão presentes, o número da ordem serviço, o número de identificação do equipamento, o tipo de manutenção, a classificação do equipamento quanto a sua importância no processo, data do início da manutenção, data do final da

manutenção e o tempo de duração da manutenção.

3.5.2 Filtragem dos dados

Após a coleta dos dados, analisando cada ordem de serviço, quanto à realização da ação de serviço e à completude das informações, uma filtragem dos dados foi realizada. Dos 39 equipamentos inicialmente selecionados, sobraram 23 equipamentos com informações satisfatórias para o estudo de confiabilidade, totalizando 256 ações de manutenção.

Utilizando as datas de manutenção, foi realizado o cálculo do tempo de operação desses equipamentos entre manutenções com o advento dos dados em tempo real dos equipamentos presentes no *PI System*.

Dessa forma, os dados coletados foram organizados da seguinte forma em uma planilha.

Ordem	Loc.instalação	Denominação	Tipo de manutenção	Código ABC	Data inicio conf	Data final conf	Horas de manutenção	Ultima data	Horas de operação
936071	45.92.1001	Motor Bba Tq 2 Fibra Longa Não Refinada	Lubrificação	Criticidade média	04/05/2016	04/05/2016	0,08	07/03/2016	3614,8
7004891	45.92.1001	Motor Bba Tq 2 Fibra Longa Não Refinada	Lubrificação	Criticidade média	05/05/2017	05/05/2017	0,30	04/05/2016	8429,0
7032190	45.92.1001	Motor Bba Tq 2 Fibra Longa Não Refinada	Corretiva	Criticidade média	01/08/2017	01/08/2017	2,50	05/05/2017	2081,9
7078646	45.92.1001	Motor Bba Tq 2 Fibra Longa Não Refinada	Lubrificação	Criticidade média	02/05/2018	02/05/2018	0,25	01/08/2017	6302,2
7144288	45.92.1001	Motor Bba Tq 2 Fibra Longa Não Refinada	Lubrificação	Criticidade média	02/05/2019	02/05/2019	0,10	02/05/2018	8367,9
7134121	45.92.1001	Motor Bba Tq 2 Fibra Longa Não Refinada	Preventiva	Criticidade média	04/02/2020	04/02/2020	3	02/05/2019	6491,8
7197399	45.92.1001	Motor Bba Tq 2 Fibra Longa Não Refinada	Preventiva	Criticidade média	11/03/2020	11/03/2020	0,45	04/02/2020	849,0
7204615	45.92.1001	Motor Bba Tq 2 Fibra Longa Não Refinada	Lubrificação	Criticidade média	05/05/2020	05/05/2020	0,20	11/03/2020	1284,9
7252264	45.92.1001	Motor Bba Tq 2 Fibra Longa Não Refinada	Corretiva	Criticidade média	16/12/2020	16/12/2020	0,50	05/05/2020	4602,6

Figura 13 – Informações filtradas

Fonte: Produzido pela autora com Excel

3.5.3 Cálculos de métricas de confiabilidade

Para os cálculos de métricas de confiabilidade foram escolhidos 9 equipamentos que formam um sistema do tipo paralelo-série como explicitado na figura 14.

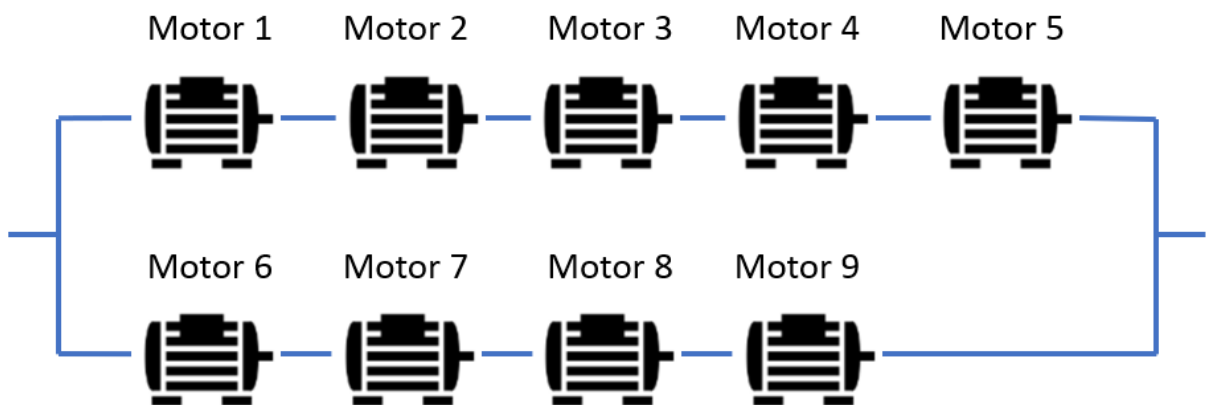


Figura 14 – Sistema de motores

Fonte: Produzido pela autora com PowerPoint

Para realizar os cálculos de tempo médio de operação (MTTF) e de parada (MTTR), primeiramente é necessário identificar em qual distribuição de probabilidade cada amostra dos equipamentos se encaixa. Para isso, foi utilizado o *software* de análises estatísticas chamado Minitab [Minitab \(2023\)](#) que utiliza o teste de Anderson-Darling e também foi utilizado para validação o *software* de confiabilidade chamado ProConf 2000 que utiliza os testes qui-quadrado e de Kolmogorov-Smirnov.

A partir das amostras dos tempos de operação entre manutenções e dos tempos de reparo foi feito o teste de identificação de distribuição individual e escolhida a distribuição em que os dados possuem melhor ajuste nos gráficos de probabilidade e que passam no teste probabilístico. O tempo médio até falha e o tempo médio até reparo foram calculados utilizando a equação da distribuição escolhida para cada caso, de acordo com as equações descritas na seção [2.5.3](#).

Os tempos médios encontrados foram utilizados para o cálculo da disponibilidade de cada equipamento utilizando a equação [2.1](#). Logo após, a disponibilidade do sistema da figura [14](#) também foi obtida a partir da disponibilidade individual dos equipamentos e utilizando a equação [2.5](#).

4 Resultados

Atualmente, 75 equipamentos estão sendo monitorados pelo sistema, onde 65 são motores e 10 são bombas.

4.1 Atualização automática da última data de manutenção

No *Power Automate* é possível visualizar uma lista dos fluxos executados, na figura 15 é possível observar essa lista do fluxo o qual realiza a atualização automática das últimas datas de manutenção, bem como se o fluxo ocorreu 100% de forma satisfatória ou não por meio do seu status.

listalocais > Hist. de ex.

Solicitado	Duração	Status
15 de set. 20:00 (2 d atrás)	06:04:11	Êxito
12 de set. 20:00 (5 d atrás)	00:05:38	Êxito
8 de set. 20:00 (1 sem atrás)	06:14:15	Êxito
5 de set. 20:00 (1 sem atrás)	06:19:43	Êxito
1 de set. 20:00 (2 sem atrás)	06:19:07	Êxito
29 de ago. 20:00 (2 sem atrás)	06:08:04	Êxito
25 de ago. 20:00 (3 sem atrás)	06:22:28	Êxito
22 de ago. 20:00 (3 sem atrás)	05:56:18	Falha
18 de ago. 20:00 (1 mês atrás)	00:02:04	Falha
15 de ago. 20:00 (1 mês atrás)	00:02:06	Falha
11 de ago. 20:00 (1 mês atrás)	00:02:07	Falha
8 de ago. 20:00 (1 mês atrás)	05:36:25	Falha
4 de ago. 20:00 (1 mês atrás)	04:52:53	Falha
1 de ago. 20:00 (1 mês atrás)	04:50:28	Falha
28 de jul. 20:00 (1 mês atrás)	04:59:35	Falha

Figura 15 – Histórico fluxo de atualização de datas

Fonte: Power Automate

Na figura 16 encontra-se uma solicitação de serviço Web recebida pelo fluxo de

atualização de datas. Dessa forma, o fluxo de área de serviço foi realizado e as últimas datas de manutenção dos equipamentos cadastrados foram atualizadas com sucesso.

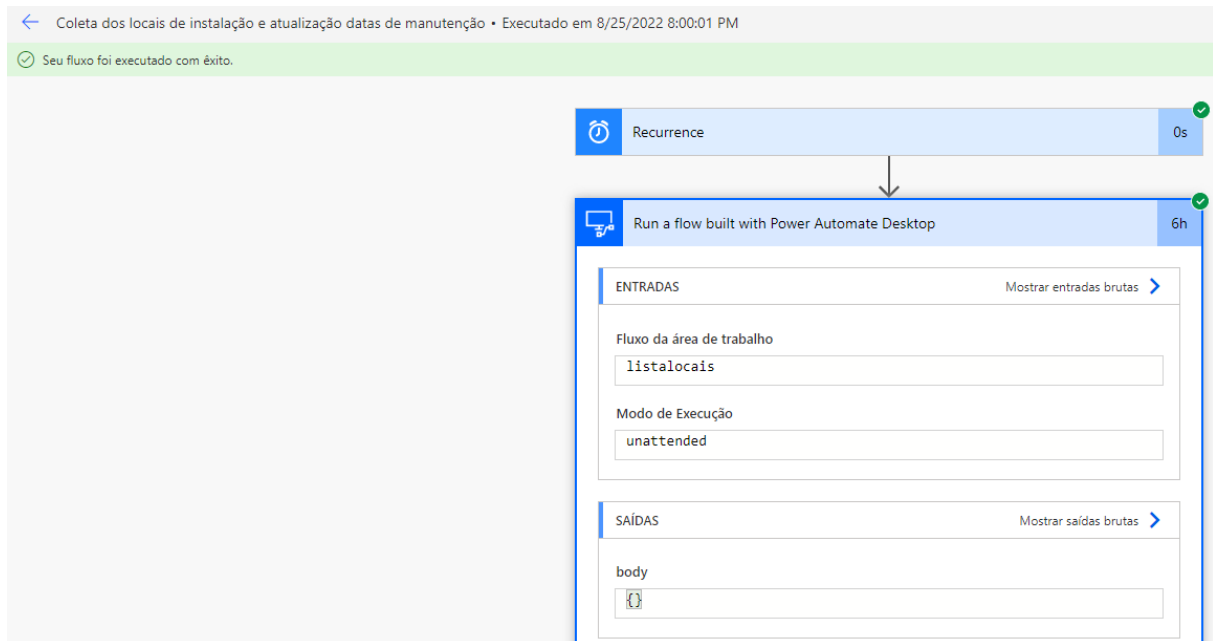


Figura 16 – Execução fluxo de atualização de datas

Fonte: Power Automate

Na figura 17 visualiza-se a tela de acompanhamento criada com as últimas datas de manutenção atualizadas pelo sistema.

Preparo de Massa							
Equipamento	Local de instalação	Última data de manutenção	Horas recomendadas	Horas de operação	Status de manutenção	Classificação ABC	Abertura de Notas
Motor do 1º estágio de depuração tela base	46.92.1027	11/9/2021 12:00:00 PM	8,760 h	10,587.28 h	Ok	C	True
Motor do 2º estágio de depuração	46.92.1028	3/27/2020 12:00:00 PM	8,760 h	16,217.25 h	Atrasado	C	True
Bomba de entrada do 2º estágio de depuração	46.93.1123	3/8/2021 12:00:00 PM	4,000 h	9,069.42 h	Atrasado	B	True
Bomba de saída do hydromix tela base	46.93.1122	10/5/2021 12:00:00 PM	4,000 h	4,110.71 h	Atrasado	A	True
Motor 1 da bomba de saída do hydromix tela base	46.92.1003	8/19/2021 12:00:00 PM	8,760 h	5,248.21 h	Ok	A	True
Motor 2 da bomba de saída do hydromix tela base	46.92.1199	9/18/2020 12:00:00 PM	8,760 h	8,376.67 h	Programar Manutenção	A	True
Motor do agitador do tanque de máquina tela base	45.92.1008	10/1/2019 12:00:00 PM	8,760 h	20,735.5 h	Atrasado	C	True
Bomba de saída do tanque de máquina tela base	46.93.1145	12/9/2021 12:00:00 PM	4,000 h	2,587.55 h	Ok	C	True
Motor da bomba de saída do tanque de máquina tela base	46.92.1019	10/5/2021 12:00:00 PM	8,760 h	4,092.71 h	Ok	C	True
Motor do agitador do tanque de mistura tela base	45.92.6006	Pt Created	8,760 h	9,341.12 h	Atrasado	C	True
Bomba de saída do tanque de mistura tela base	45.93.1120	12/9/2021 12:00:00 PM	4,000 h	4,832.38 h	Atrasado	C	True
Motor da bomba de saída do tanque de mistura tela base	45.92.1003	9/2/2021 12:00:00 PM	8,760 h	4,832.38 h	Ok	C	True
Bomba de entrada do depurador do módulo jet	46.93.1124	1/18/2017 1:00:00 PM	4,000 h	6,384.32 h	Atrasado	B	True
Motor da bomba de entrada do depurador do módulo jet	46.92.1005	3/8/2021 12:00:00 PM	8,760 h	6,384.32 h	Ok	B	True
Motor do depurador do módulo jet	46.92.1029	10/15/2021 12:00:00 PM	8,760 h	3,930.66 h	Ok	B	True
Motor do Refinador 1	45.92.1015	12/30/2021 12:00:00 PM	8,760 h	2,126.42 h	Ok	B	True
Motor do refinador 2	45.92.1017	4/7/2021 12:00:00 PM	8,760 h	4,868.76 h	Ok	B	True
Motor do refinador 3	45.92.1019	11/20/2018 1:00:00 PM	8,760 h	32,183.56 h	Atrasado	B	True
Motor do 1º estágio de depuração tela capa	46.92.1026	11/20/2018 1:00:00 PM	8,760 h	27,264.41 h	Atrasado	C	True
Bomba de saída do hydromix tela capa	46.93.1121	10/5/2021 12:00:00 PM	4,000 h	4,062.45 h	Programar Manutenção	A	True
Motor 1 da bomba de saída do hydromix tela capa	46.92.1002	9/22/2021 12:00:00 PM	8,760 h	4,357.01 h	Ok	A	True

Figura 17 – Tela de acompanhamento

Fonte: PI Vision

4.2 Criação automática de nota de manutenção

No *Power Automate* é possível visualizar uma lista dos fluxos executados, na figura 18 é possível observar essa lista do fluxo o qual realiza a criação automática de notas, bem como se o fluxo ocorreu 100% de forma satisfatória ou não por meio do seu status.

sapnota > Hist. de ex.

Solicitado	Duração	Status
18 de set. 09:00 (7 h atrás)	00:05:04	Êxito
15 de set. 10:12 (3 d atrás)	00:05:52	Êxito
15 de set. 09:13 (3 d atrás)	00:34:39	Falha
7 de set. 22:00 (1 sem atrás)	00:03:43	Êxito
28 de jul. 22:00 (1 mês atrás)	00:02:37	Êxito
27 de jul. 15:36 (1 mês atrás)	00:01:15	Êxito
27 de jul. 14:09 (1 mês atrás)	00:30:45	Falha
27 de jul. 11:53 (1 mês atrás)	00:02:12	Falha
25 de jul. 15:00 (1 mês atrás)	00:02:14	Falha
18 de jul. 01:00 (2 mês atrás)	00:03:50	Êxito
25 de jun. 17:00 (2 mês atrás)	00:05:05	Êxito
10 de jun. 11:00 (3 mês atrás)	00:11:11	Êxito

Figura 18 – Histórico fluxo de notas

Fonte: Power Automate

Na figura 19 encontra-se uma solicitação de serviço Web recebida pelo fluxo de criação de notas.

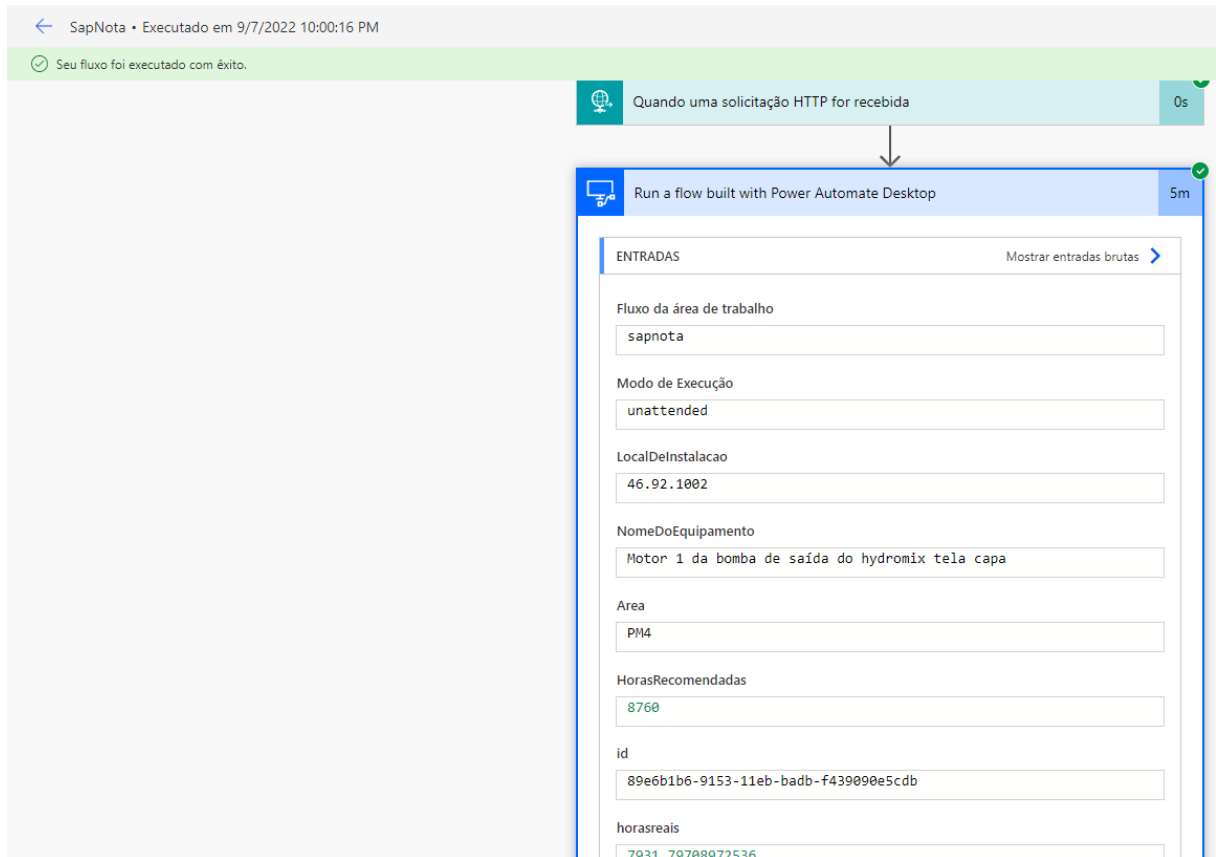


Figura 19 – Execução fluxo de notas

Fonte: Power Automate

O sistema até o presente momento criou automaticamente 9 notas, na figura 20 pode-se visualizar uma das notas criadas correspondente à requisição recebida mostrada na figura 16.

Exibir nota PM: Nota do mantenedor

Nota: 10355970 T1 Realizar ensaio para verificar as condiç

Status: MSPR ORDA A013

Ordem: 7385240

Dados Administrativos | Dados de localização | Síntese de datas

Objeto de referência

Local instal.	46.92.1002	MOTOR #1 BBA MISTR CAPA MP4 (LA)
Equipamento	10029680	MOTOR WEG / 560 / 1150 CV / 12P / 690V
Conjunto		

Situação

Codificação: B103 1 em parada (fora de serviço)

Descrição: Realizar ensaio para verificar as condiç

Txt.descr.situação

ões do equipamento Motor 1 da bomba de saída do hydromix tela capa, pois está perto de operar/operou mais que o recomendado sem manutenção. Horas de operação recomendada pelo fabricante entre manutenções: 8760 horas, porém operou 7931.79708972536 horas. Nota criada automaticamente pelo

Responsabilidades

Grn.plni PM: 001 / B103 Elétrica

Figura 20 – Nota de serviço de manutenção

Fonte: SAP

4.3 Ciclo de execução

Duas notas de serviço já foram executadas pelos mantenedores da fábrica e na figura 22 é possível observar a confirmação da nota da figura 21 que foi criada automaticamente pelo sistema. A data da realização da inspeção do equipamento está presente na confirmação da nota de serviço no campo *Início trabalho* e essa data foi atualizada pelo fluxo de atualização de última data de manutenção no equipamento correspondente no campo *Last Maintenance Date*, como é possível visualizar na figura 23.

Exibir nota PM: Nota do mantenedor

Nota: 10320831 T1 Realizar ensaio para verificar as condiç

Status: MSEN ORDA A013

Ordem: 7357415

Dados Administrativos | Dados de localização | Síntese de datas

Objeto de referência

Local instal.: 46.92.1005 MOTOR BBA MODULE JET

Equipamento: 10022182 Motor WEG / 355M/L / 300CV / 4P / 690V

Conjunto:

Situação

Codificação: B103 1 em parada (fora de serviço)

Descrição: Realizar ensaio para verificar as condiç

Txt.descr.situação

ões do equipamento Motor da bomba de entrada do depurador do módulo jet, pois está perto de operar/operou mais que o recomendado sem manutenção. Horas de operação recomendada pelo fabricante entre manutenções: 8760 h oras, porém operou 7886.32670528406 horas. Nota criada automaticamente

Responsabilidades

Gen. plni PM: 001 / B103 Elétrica

Figura 21 – Nota de serviço de manutenção

Fonte: SAP

Confirmação para ordem PM exibir: Dados reais

Mensagem | Lista de objetos | Documentos de medição | Administração

Ordem: 7357415 Realizar ensaio para verificar as condiç

Operação: 0010 Realizar ensaio para verificar as condiç

Status sistema: CNPA ENTE IMPR

Dados de confirmação

Confirmação: 11204750 / 1

Centro trabalho: ELEA1 B103 ELETRICISTA A1 - PÁTIO/MP3/MP4/OCC

Nº pessoal: 364139 Bruno Beira RubrSalar.

Trabalho real: 1 H Tipo ativid. Data lançamento: 11.08.2022

Conf.final S/trab.restante Critério p/calc

Dar baixa res. Trab.restante: 0 H

Início trabalho: 02.08.2022 07:30:00 Duraç.real conf: 0 H

Fim do trabalho: 02.08.2022 07:30:00 Fim previsão: 24:00:00

Causa desvio:

Txt.confirmação:

Dados de confirmação - total

Trab.real acum.: 1 H Duraç.real: 0 H

Trabalho prev.: 1 H Duração roteiro: 0,0 H

Início real: 02.08.2022 07:30:00 Fim real: 02.08.2022 07:30:00

Figura 22 – Confirmação da nota de serviço de manutenção

Fonte: SAP

■	ABC Classification	B
■	Area	PM4
■	Area Number	45
■	Asset Name	ModuleJet Screen Inlet Pump Motor
■	Asset Type	Motor
■	Drive SAP Local Number	46.0363.33
✎	JDE Asset Number	46921005
■	Manufacturer	WEG
■	Model	355M/L
■	Nominal Electric Current	0,00 A
■	PI Vision Dashboard URL	https://vision-3801/PIVision/#/Displays/426/Motores?Asset=\\PKG-TRE1-PIAP2...
■	Portuguese Asset Name	Motor da bomba de entrada do depurador do módulo jet
■	SAP Equipment Code	10022182
■	SAP Local Number	46.92.1005
■	Specified Speed	1785,00 rpm
■	Voltage	690,00 V
📁 Category: Manutenção		
■	Automatic work order openture	True
■	Instalation date	07/12/2016 13:00:00
✎	Last Maintenance Date	02/08/2022 12:00:00
■	Last work order created auto...	10320831/10320832

Figura 23 – Informações do equipamento

Fonte: PI AF

4.4 Análise de confiabilidade

Foi realizada a análise de confiabilidade dos equipamentos escolhidos para a determinação de suas disponibilidades individuais e do sistema que eles compõem como explicitado na figura 14. Além disso, as equações de confiabilidade de cada equipamento também foram obtidas.

Primeiramente, foram coletadas informações do histórico de dados de manutenções do software de gerenciamento de manutenção SAP, essas informações foram filtradas e tempos médios de funcionamento e de parada foram definidos para a obtenção das disponibilidades e equações de confiabilidade.

A tabela 5 exibe os tempos de operação entre manutenções dos equipamentos escolhidos.

Tabela 5 – Tempos de operação entre manutenções

Tempo em horas								
Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 5	Motor 6	Motor 7	Motor 8	Motor 9
11605,2	18643,0	2124,5	264,4	8998,2	3614,8	4176,1	7582,4	3819,8
10855,5	6775,6	2622,4	421,3	1252,9	8428,9	3429,1	11652,0	3251,6
1709,8	10160,2	602,3	469,6	119,7	2081,9	12165,9	774,7	11436,1
12489,4	11980,2	37,7	598,6	248,6	6302,1	6801,8	5830,2	704,4
120,0		2487,3	699,5	599,8	8367,9	10196,5	10043,3	5749,4
849,6		4325,6	809,3	28,6	6491,8	850,3	809,6	9586,1
5917,4		11,9	942,1	1299,1	848,9	11378,4	1713,8	850,2
4341,7		1,7	965,4		1284,9	2840,5	6123,1	1681,6
		5886,3	1016,2		4602,6		1949,4	9484,5
		768,3	1802,6		2456,3		2976,9	2845,3
		5616,0	2210,4		7206,7			2110,2
		9625,5	2325,6		1597,1			2547,8
		849,3	3111,1		816,3			
		10707,1	3701,5		183,4			
		2764,5	4140,0		834,3			
			5930,3		116,9			
			7549,3		441,6			
			9931,1		71,7			

Fonte: Produzido pela autora.

A tabela 6 exibe os tempos de reparo dos equipamentos escolhidos.

Tabela 6 – Tempos de reparo

Tempo em horas								
Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4	Motor 5	Motor 6	Motor 7	Motor 8	Motor 9
0,2	1	2	0,5	1,5	0,1	0,17	0,25	0,17
1	0,5	1	0,5	0,5	0,3	0,25	1	0,25
0,25	0,5	2	0,5	0,5	2,5	1	0,5	1
0,3	0,5	2	0,5	0,17	0,25	0,5	0,5	0,5
3		4	0,5	0,5	0,1	0,5	0,5	0,5
0,25		2	0,5	1	3	0,5	0,5	0,5
0,5		2	1	0,25	0,45	0,5	0,5	0,5
0,3		4	1		0,2	0,35	0,5	0,5
		1	1		1,5		0,5	0,5
		0,5	1		0,5		0,5	0,35
		0,5	1		1			0,5
		0,5	1		0,3			0,5
		0,5	1,5		0,5			
		0,5	2		0,5			
		0,5	2		1			
			2		0,16			
			2		1			
			3,5		1,3			

Fonte: Produzido pela autora.

4.4.1 Equipamento Motor 1

Utilizando os valores de tempo de operação para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 24, tabela 7 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 9 com os parâmetros de cada distribuição.

O Minitab utiliza o teste de Anderson-Darling descrito na seção 2.5.3, foi definido um nível de confiança de 95% e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Dessa forma, para que a hipótese nula não seja rejeitada, o p-valor deve ser maior que 0,05.

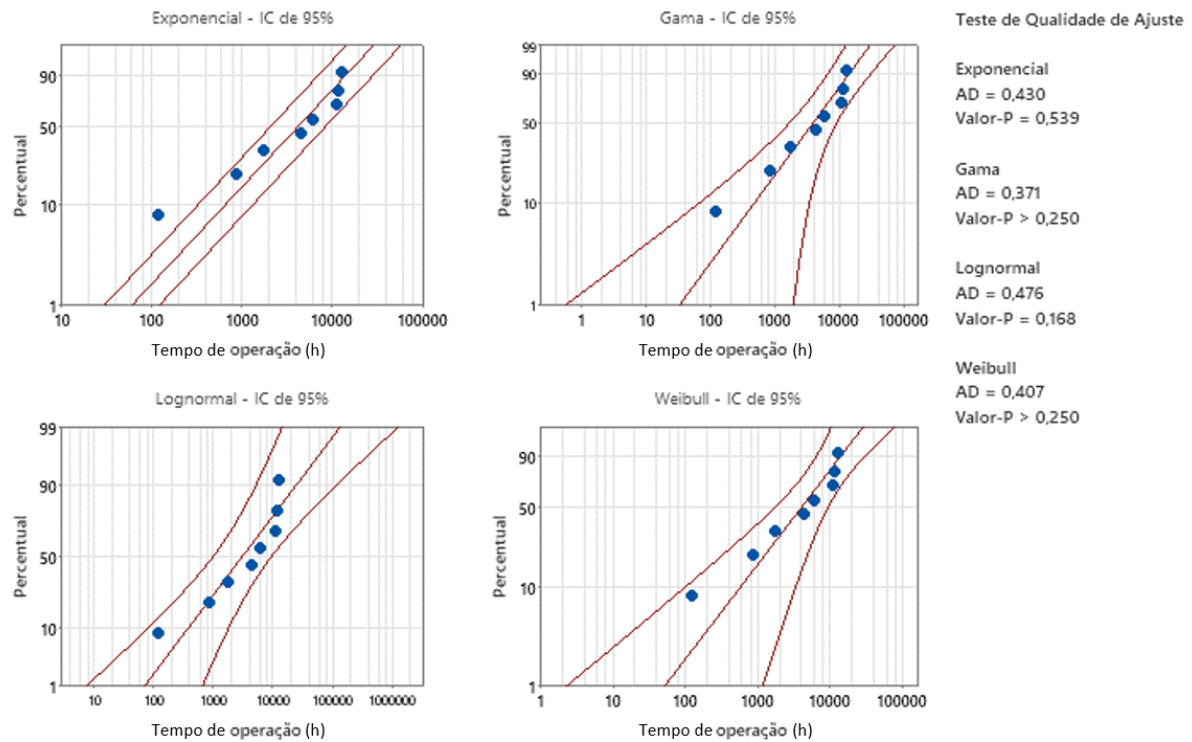


Figura 24 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 7 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	0,43	0,539	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,371	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,476	0,168	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull	0,407	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 25, tabela 8 com os valores dos testes de probabilidade.

O ProConf utiliza os testes de Kolmogorov-Smirnov e o teste qui-quadrado descritos na seção 2.5.3 e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Além disso, esse software já fornece no resultado se o teste rejeita ou não a hipótese nula.

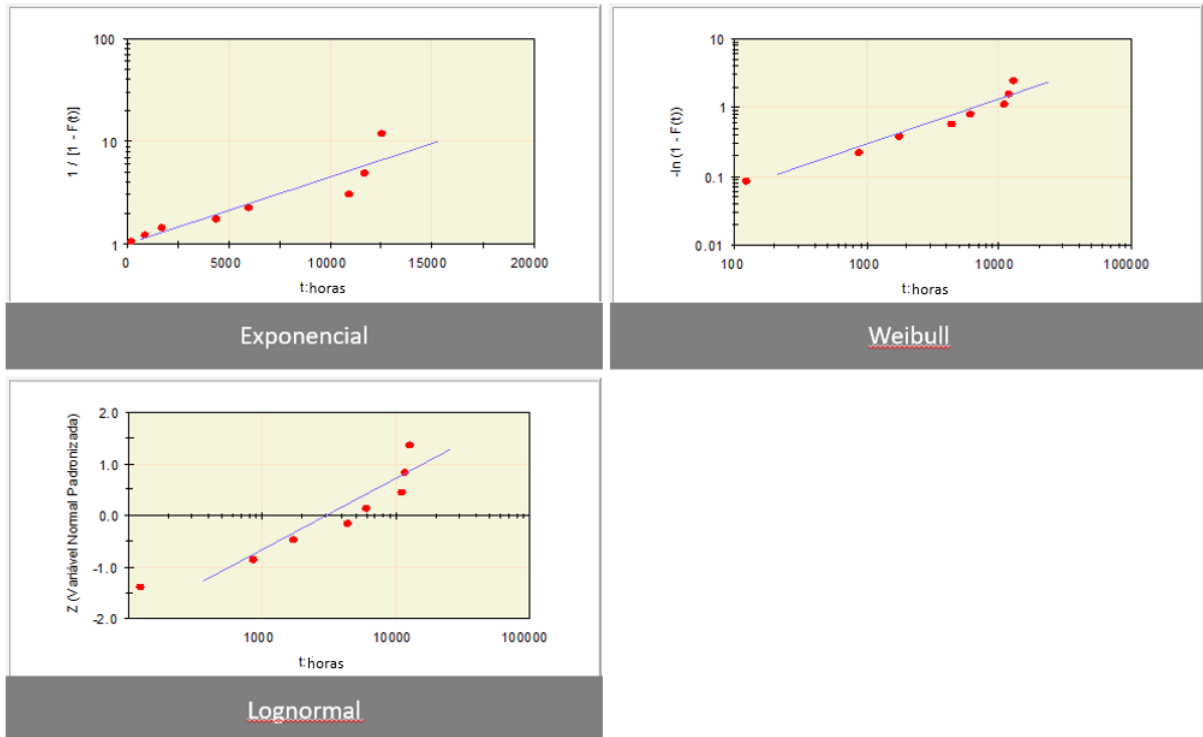


Figura 25 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 8 – Testes de aderência

Distribuição	Parâmetros dos testes		Conclusão
	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	
Exponencial	0,2724	0,2174	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,2174	0,2206	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,1397	0,2043	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull	0,1268	0,2497	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, em ambos os programas, todas as distribuições passaram no teste estatístico, ou seja, podem ser ajustadas aos dados. Dessa forma, analisando os gráficos de probabilidade, a distribuição exponencial foi escolhida para essa amostra descrita na figura 26.

O MTTF 4.1 e a equação da confiabilidade 4.2 foram calculados utilizando as equações 2.10, 2.8 e o parâmetro da distribuição da tabela 9.

Tabela 9 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 5986,07466$	
Gama		$\gamma = 0,86198$	$\lambda = 6944,53521$	
Lognormal	$\mu = 8,01529$		$\sigma = 1,62062$	
Weibull		$\gamma = 0,96502$	$\theta = 5908,25143$	

Fonte: Produzido pela autora.

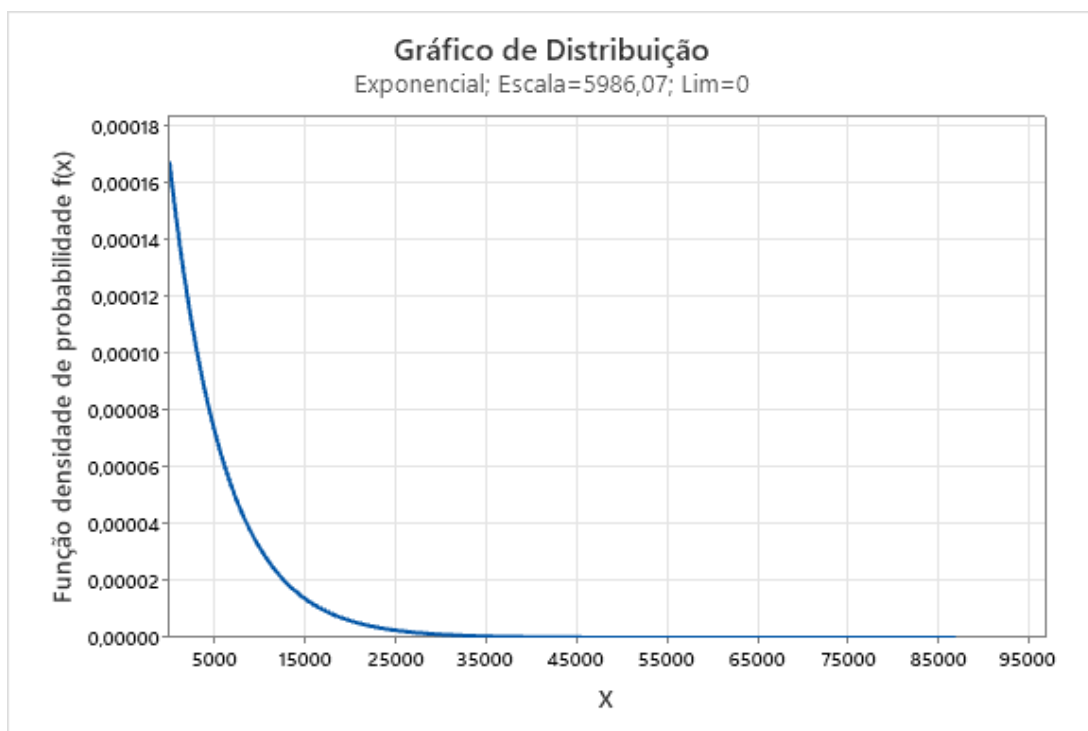


Figura 26 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTF = \frac{1}{1/5986,1} = 5986,1h \quad (4.1)$$

$$R(t) = e^{-0,000167 \cdot t} \quad (4.2)$$

A equação de confiabilidade depende do tempo e pode ser descrita pelo gráfico 27.

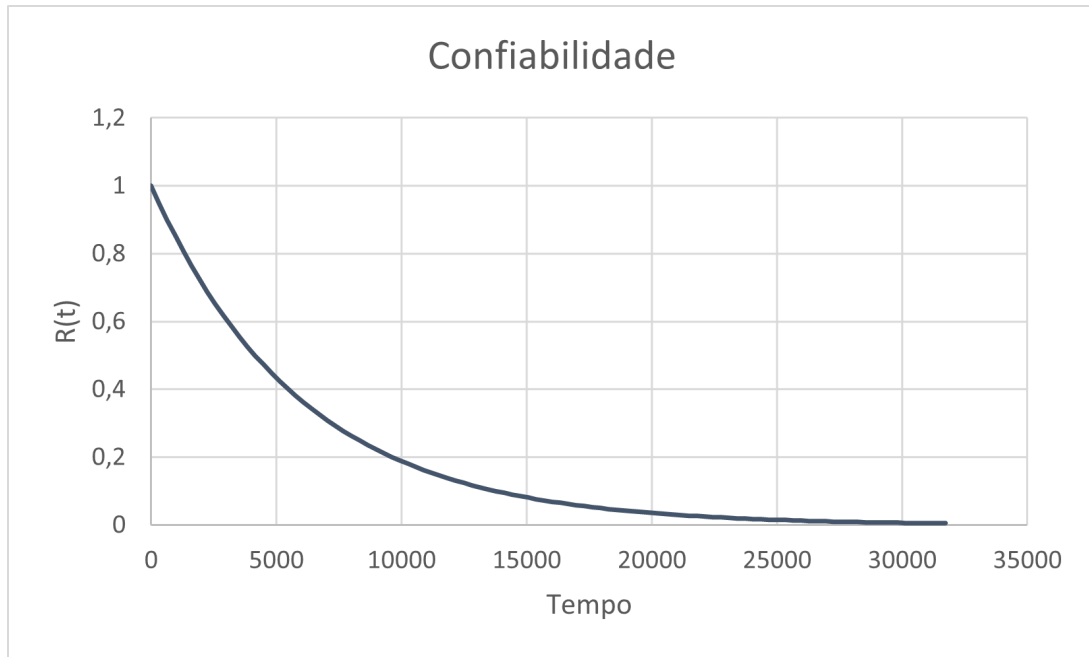


Figura 27 – Gráfico da confiabilidade

Fonte: Excel

Logo após, utilizando os valores de tempo de reparo para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 28, a tabela 10 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 12 com os parâmetros de cada distribuição.

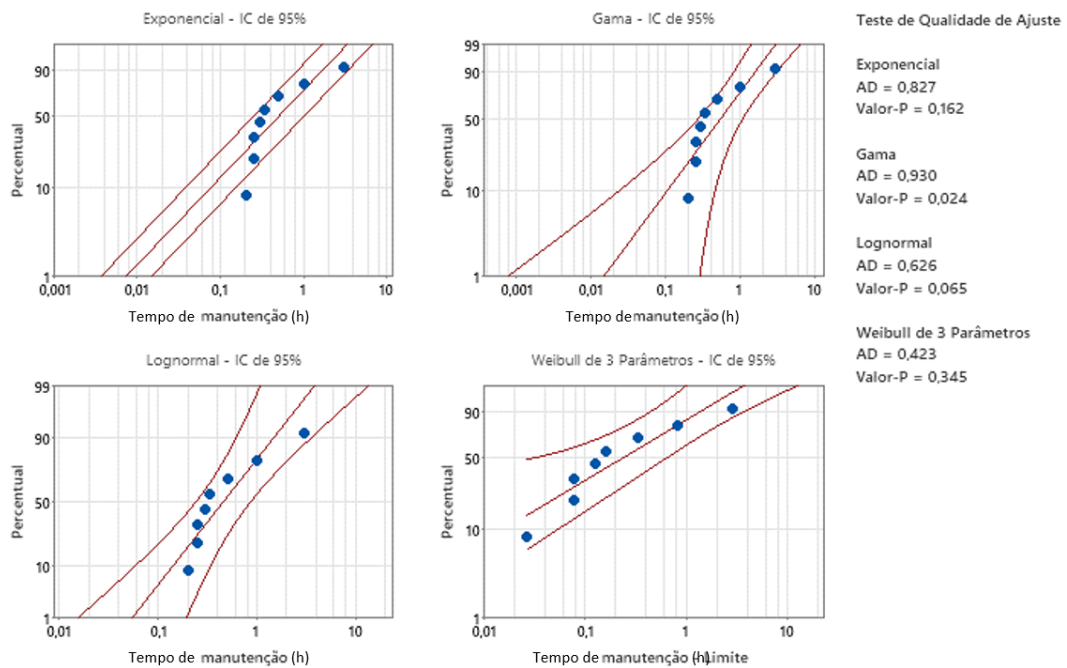


Figura 28 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 10 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	0,827	0,162	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,93	0,024	A hipótese nula é rejeitada
Lognormal	0,626	0,065	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull de 3 Parâmetros	0,423	0,345	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 29, tabela 11 com os valores dos testes de probabilidade.

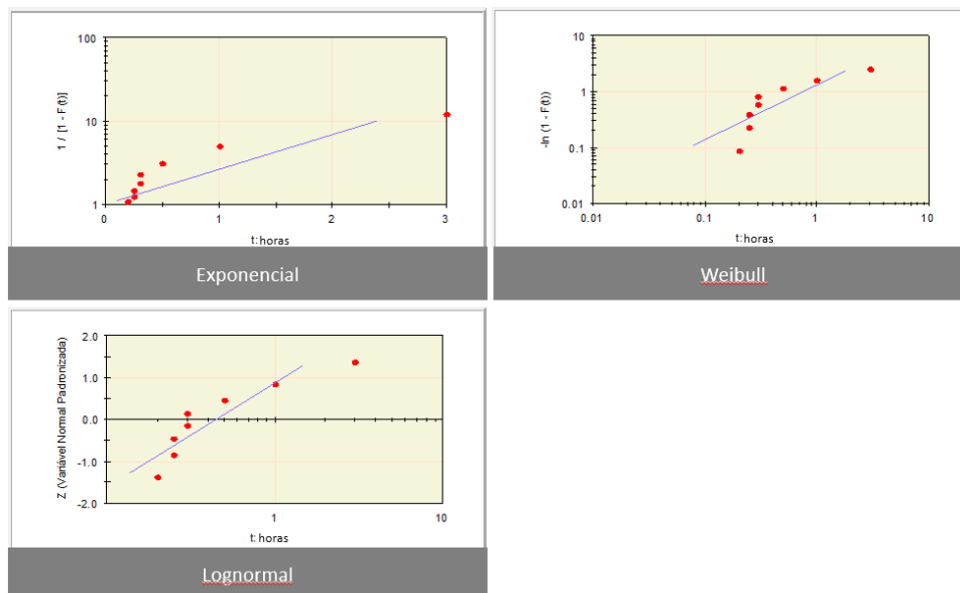


Figura 29 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 11 – Testes de aderência

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	Conclusão
Exponencial	0,1387	0,0527	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,2446	0,0491	A hipótese nula é rejeitada
Lognormal	0,0687	0,026	A hipótese nula é rejeitada
Weibull	0,255	0,0187	A hipótese nula é rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, somente a distribuição gama não passou no teste estatístico no Minitab e somente a distribuição exponencial passou no teste no ProConf. Entretanto, o ProConf não possui o teste para a distribuição weibull de 3 parâmetros.

Analisando os gráficos de probabilidade, a distribuição weibull de 3 parâmetros foi escolhida para essa amostra descrita na figura 30. Dessa forma, o MTTR 4.3 foi calculado utilizando a equação 2.18 e os parâmetros da distribuição da tabela 12.

Tabela 12 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 0,72917$	
Gama		$\gamma = 1,20537$	$\lambda = 0,60493$	
Lognormal	$\mu = -0,78489$		$\sigma = 0,91412$	
Weibull de 3 Parâmetros		$\gamma = 0,68783$	$\theta = 0,40866$	$\alpha = 0,1744$

Fonte: Produzido pela autora.

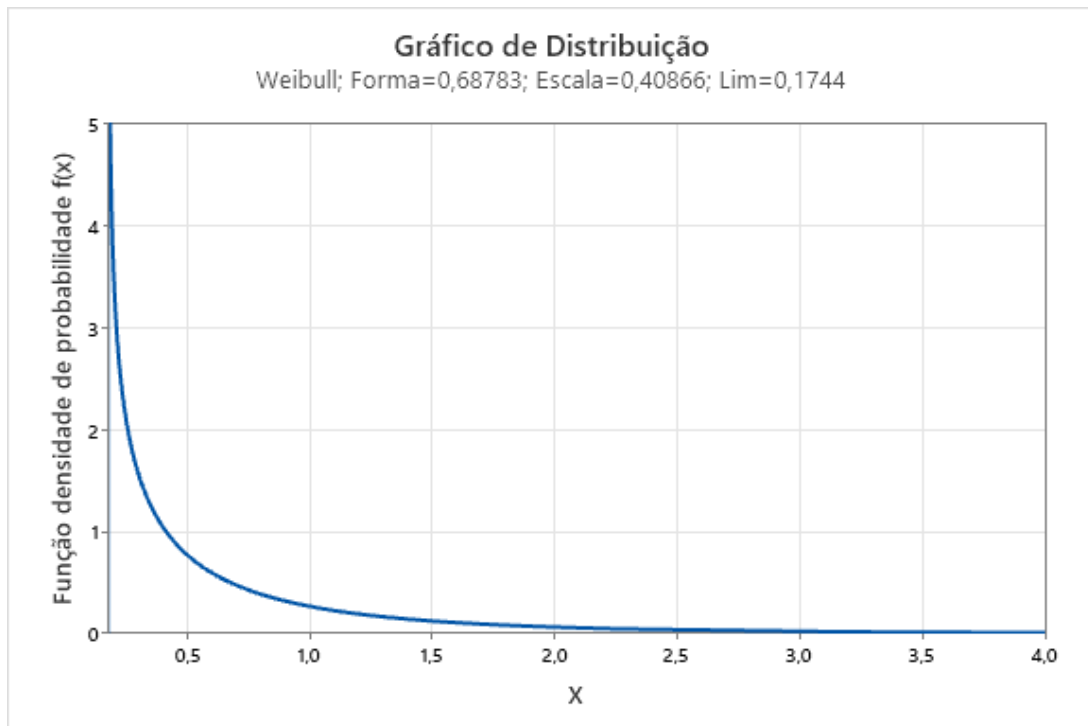


Figura 30 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTR = 0,2 + 0,4 \cdot \Gamma\left(\frac{1}{0,7}\right) = 0,7h \quad (4.3)$$

Utilizando a equação 2.1 e os tempos médios anteriormente calculados, a disponibilidade do equipamento foi calculada.

$$A = \frac{5986,1}{5986,1 + 0,7} = 0,9999 = 99,99\% \quad (4.4)$$

4.4.2 Equipamento Motor 2

Utilizando os valores de tempo de operação para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 31, tabela 13 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 15 com os parâmetros de cada distribuição.

O Minitab utiliza o teste de Anderson-Darling descrito na seção 2.5.3, foi definido um nível de confiança de 95% e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Dessa forma, para que a hipótese nula não seja rejeitada, o p-valor deve ser maior que 0,05.

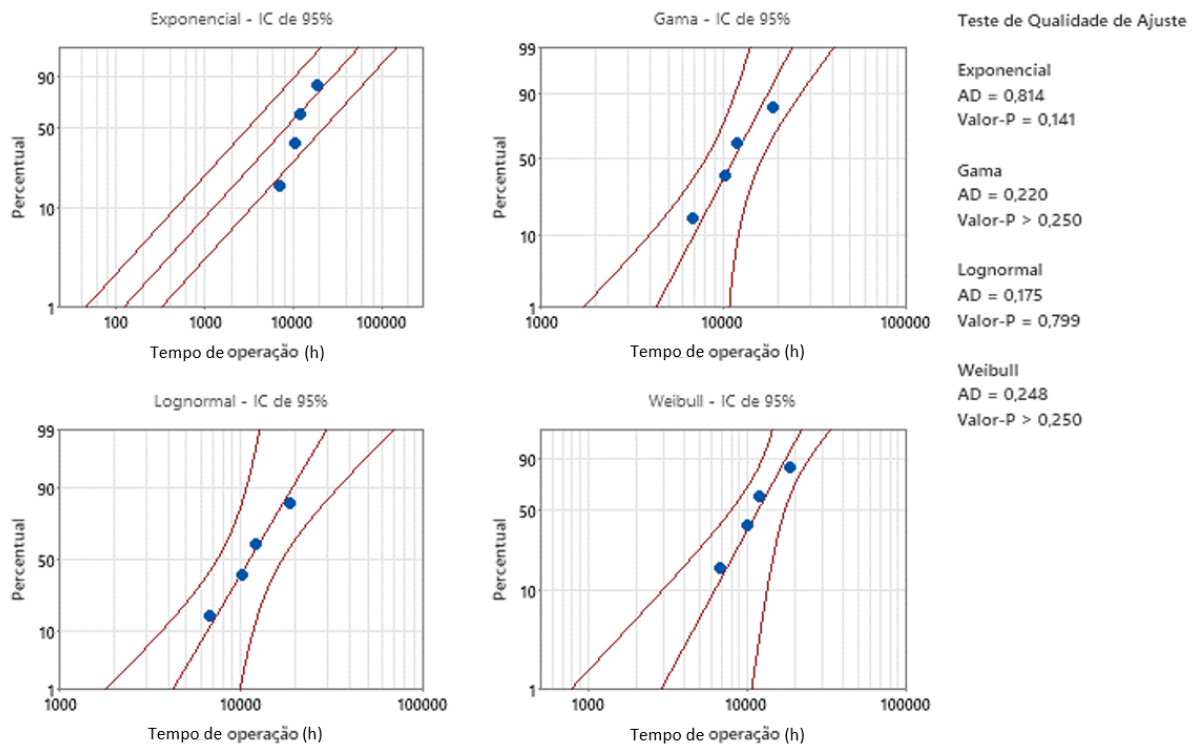


Figura 31 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 13 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	1	0,141	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,22	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,175	0,799	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull	0,248	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 32, tabela 14 com os valores dos testes de probabilidade.

O ProConf utiliza os testes de Kolmogorov-Smirnov e o teste qui-quadrado descritos na seção 2.5.3 e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Além disso, esse software já fornece no resultado se o teste rejeita ou não a hipótese nula.

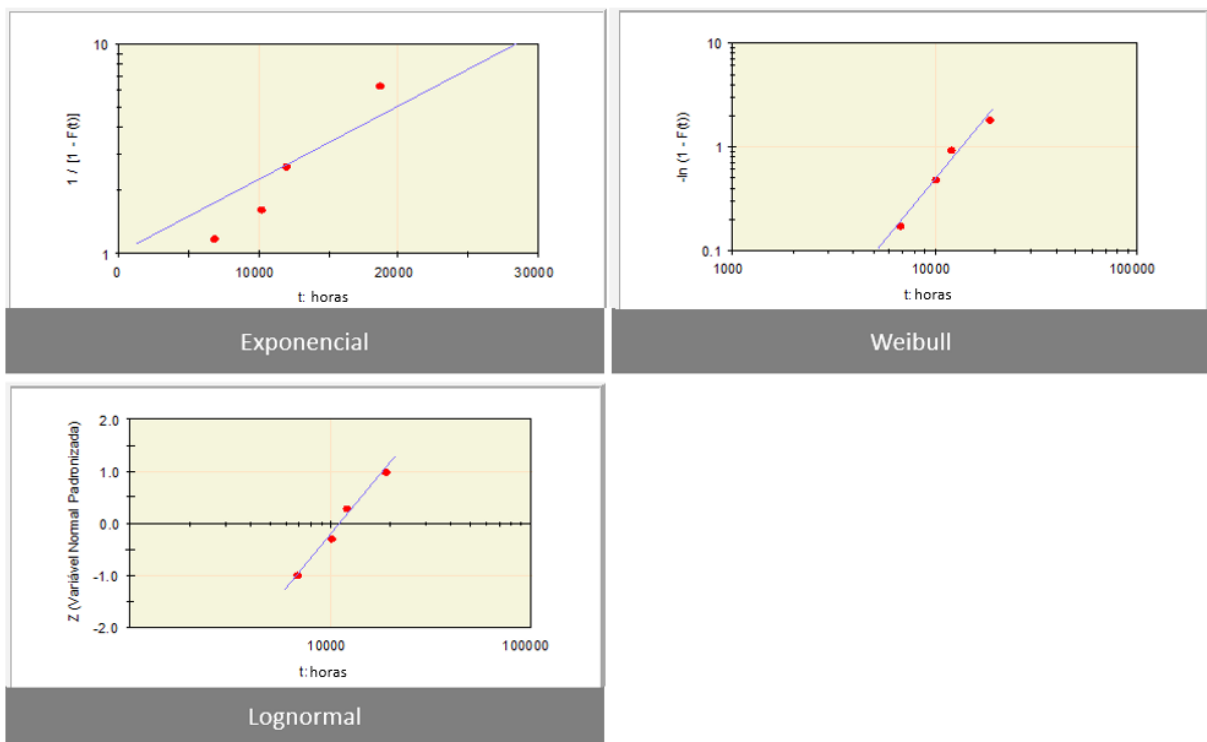


Figura 32 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 14 – Testes de aderência

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	Conclusão
Exponencial	0,4566	0,0082	A hipótese nula é rejeitada
Gama	0,0526	0,2679	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal*	-	-	-
Weibull	0,0859	0,2365	A hipótese nula não pode ser rejeitada

*Erro no software

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, no Minitab todas as distribuições passaram no teste estatístico, ou seja, podem ser ajustadas aos dados, mas no ProConf somente as distribuições gama e weibull não foram rejeitadas. Dessa forma, analisando os gráficos de probabilidade, a distribuição weibull foi escolhida para essa amostra descrita na figura 33.

O MTTF 4.5 e a equação da confiabilidade 4.6 foram calculados utilizando as equações 2.14, 2.12 e o parâmetro da distribuição da tabela 15.

Tabela 15 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 11889,7501$	
Gama		$\gamma = 7,79132$	$\lambda = 1526,0242$	
Lognormal	$\mu = 9,3179$		$\sigma = 0,4188$	
Weibull		$\gamma = 2,9845$	$\theta = 13358,9586$	

Fonte: Produzido pela autora.

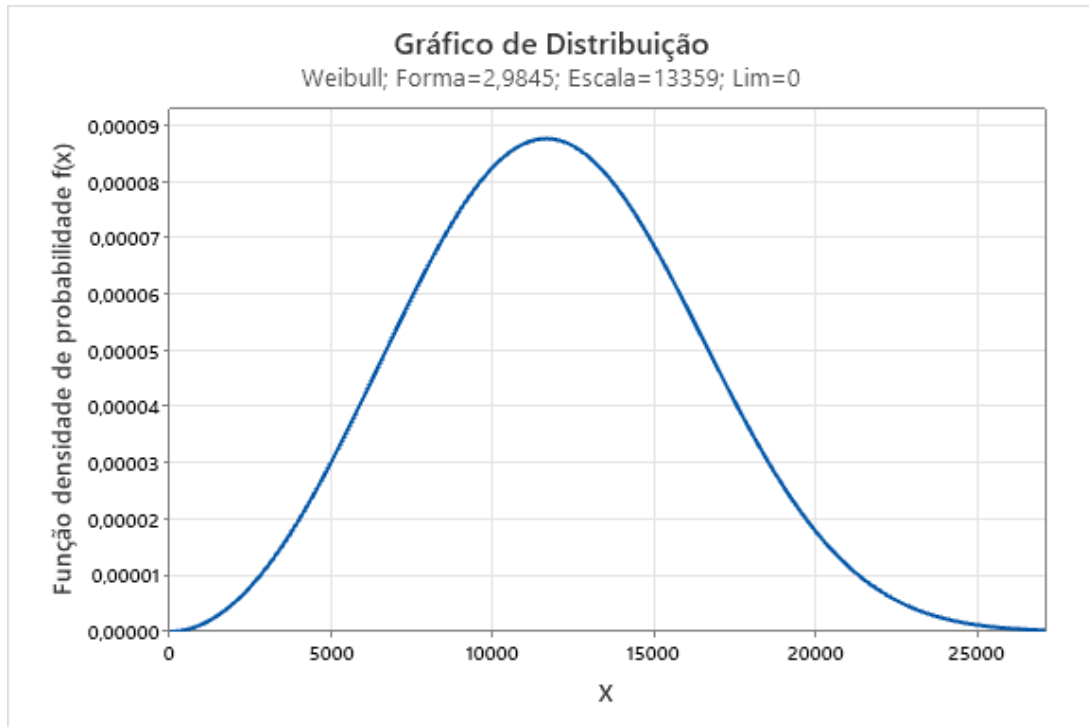


Figura 33 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTF = 13358,9586 \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,9845}\right) = 11926,5695h \quad (4.5)$$

$$R(t) = e^{\frac{-t^{2,9845}}{13358,9586}} \quad (4.6)$$

A equação de confiabilidade depende do tempo e pode ser descrita pelo gráfico 34.

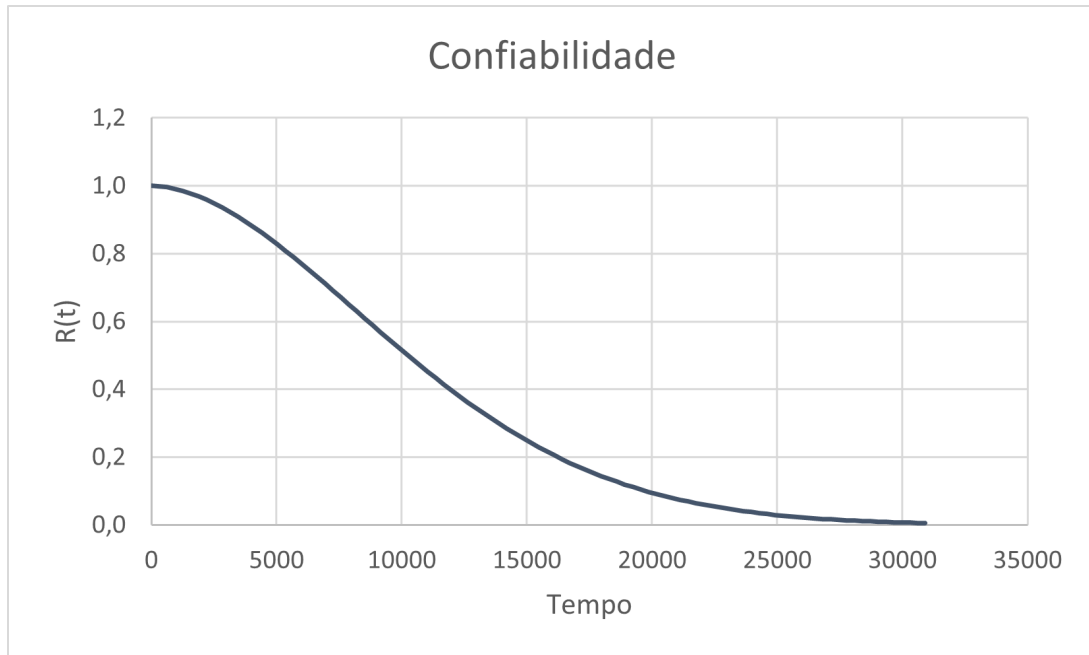


Figura 34 – Gráfico da confiabilidade

Fonte: Excel

Logo após, utilizando os valores de tempo de reparo para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 35, a tabela 16 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 18 com os parâmetros de cada distribuição.

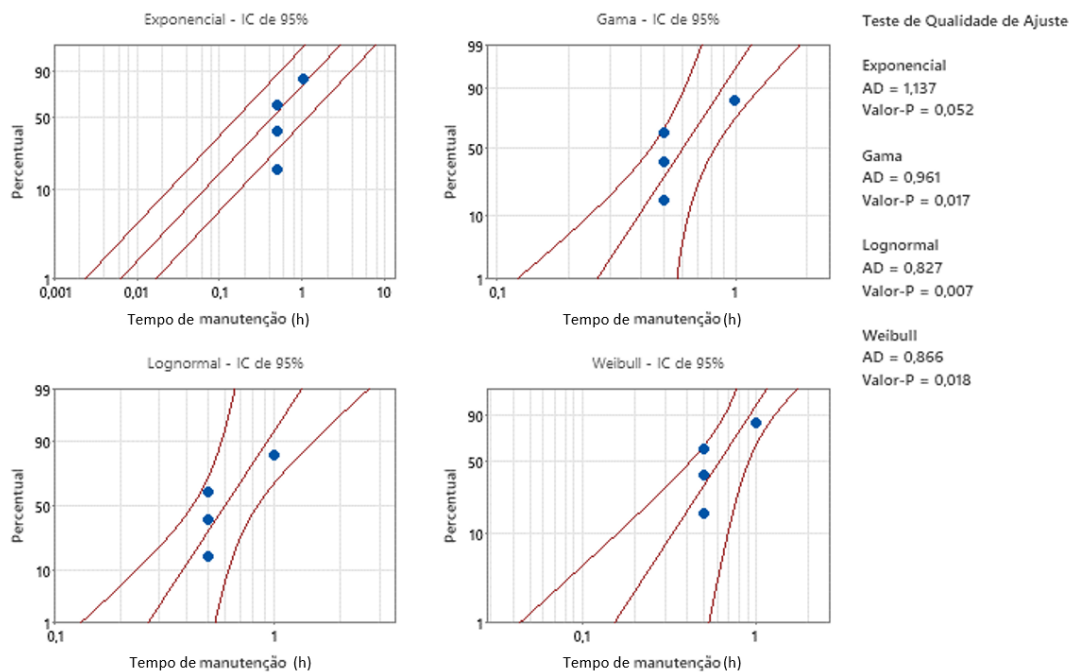


Figura 35 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 16 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	1,137	0,052	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,961	0,017	A hipótese nula é rejeitada
Lognormal	0,827	0,007	A hipótese nula é rejeitada
Weibull	0,866	0,018	A hipótese nula é rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 36, tabela 17 com os valores dos testes de probabilidade.

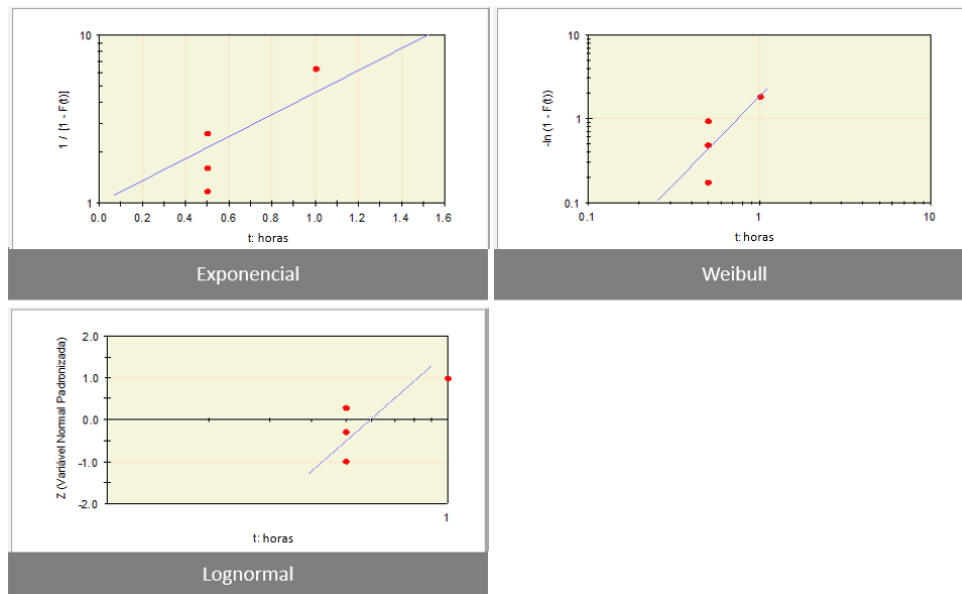


Figura 36 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 17 – Testes de aderência

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	Conclusão
Exponencial	0,5189	0,0001	A hipótese nula é rejeitada
Gama	0,2377	0,0381	A hipótese nula é rejeitada
Lognormal	0,0876	0,0025	A hipótese nula é rejeitada
Weibull	0,2592	0,004	A hipótese nula é rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, no Minitab somente a distribuição exponencial não foi rejeitada e no Proconf todas as distribuições foram rejeitadas. Assim, a distribuição exponencial foi escolhida para essa amostra descrita na figura 37. Dessa forma, o MTTR 4.7 foi calculado utilizando a equação 2.10 e os parâmetros da distribuição da tabela 18.

Tabela 18 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 0,625$	
Gama		$\gamma = 10,19256$	$\lambda = 0,06132$	
Lognormal	$\mu = -0,51986$		$\sigma = 0,34657$	
Weibull		$\gamma = 3,01221$	$\theta = 0,70099$	

Fonte: Produzido pela autora.

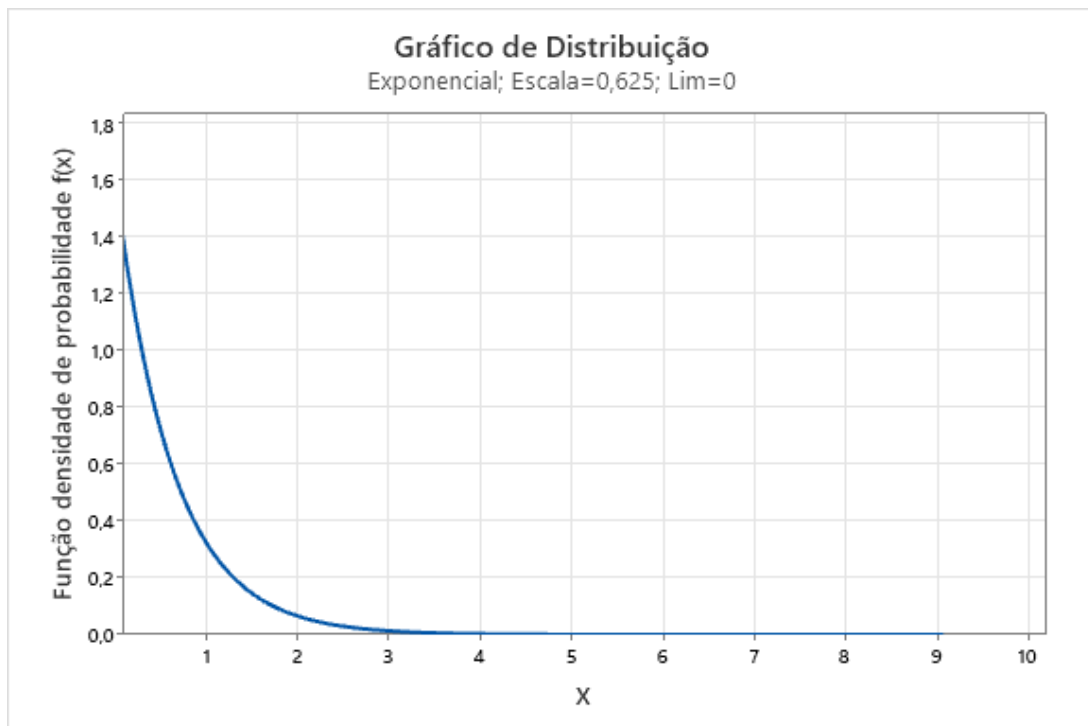


Figura 37 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTR = \frac{1}{1/0,625} = 0,625h \quad (4.7)$$

Utilizando a equação 2.1 e os tempos médios anteriormente calculados, a disponibilidade do equipamento foi calculada.

$$A = \frac{11926,6}{11926,6 + 0,6} = 0,9999 = 99,99\% \quad (4.8)$$

4.4.3 Equipamento Motor 3

Utilizando os valores de tempo de operação para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 38, tabela 19 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 21 com os parâmetros de cada distribuição.

O Minitab utiliza o teste de Anderson-Darling descrito na seção 2.5.3, foi definido um nível de confiança de 95% e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Dessa forma, para que a hipótese nula não seja rejeitada, o p-valor deve ser maior que 0,05.

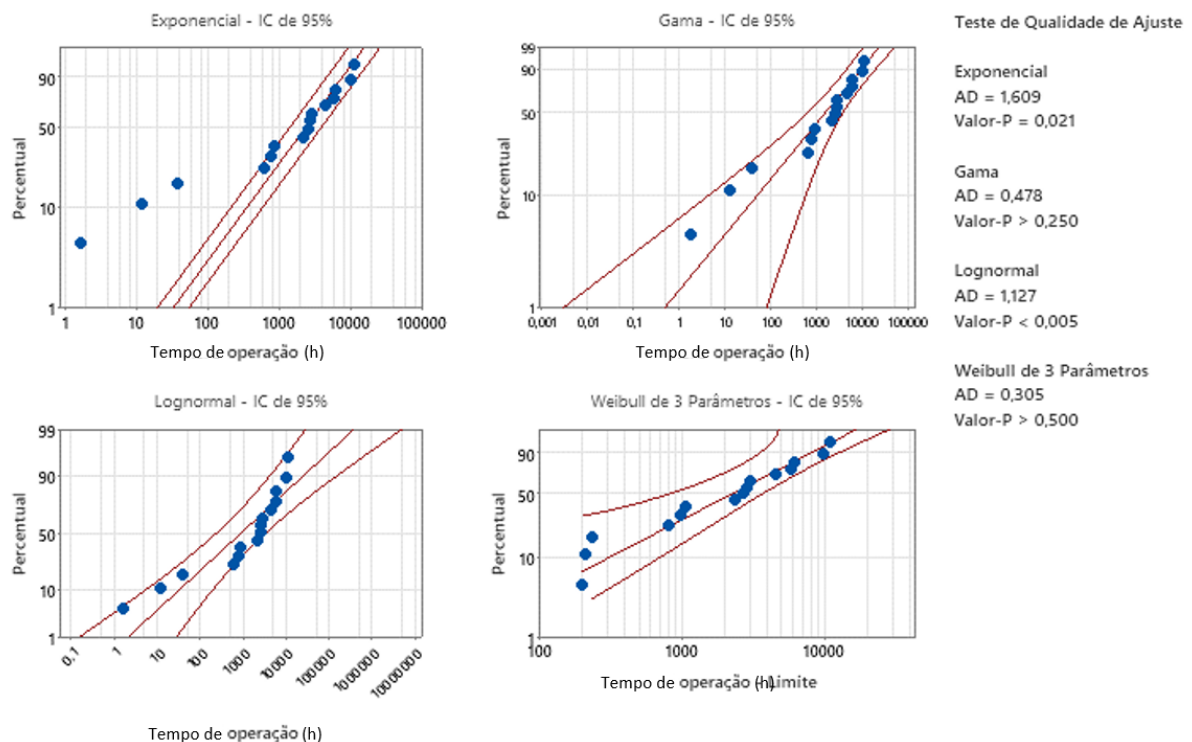


Figura 38 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 19 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	2	0,021	A hipótese nula é rejeitada
Gama	0,478	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	1,127	<0,005	A hipótese nula é rejeitada
Weibull de 3 Parâmetros	0,305	>0,500	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 39, tabela 20 com os valores dos testes de probabilidade.

O ProConf utiliza os testes de Kolmogorov-Smirnov e o teste qui-quadrado descritos na seção 2.5.3 e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Além disso, esse software já fornece no resultado se o teste rejeita ou não a hipótese nula.

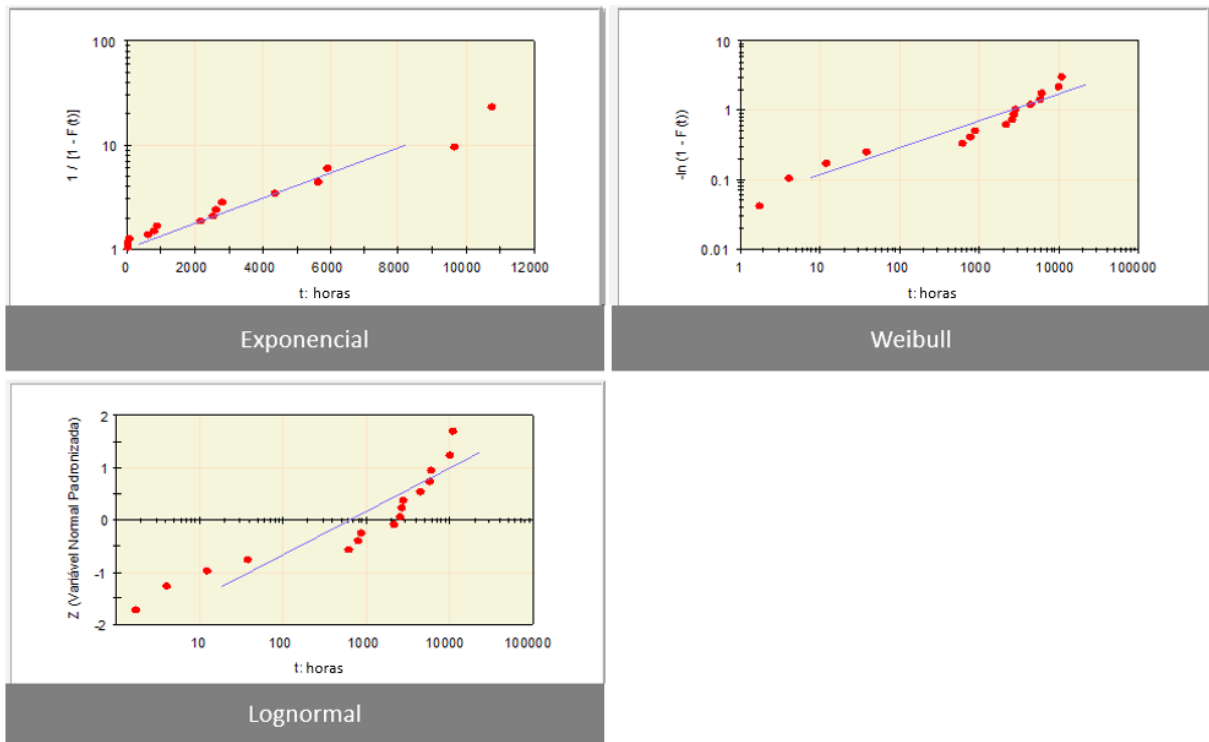


Figura 39 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 20 – Testes de aderência

Distribuição	Nível de Significância Qui-Quadrado	Parâmetros dos testes		Conclusão
		Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov		
Exponencial	0,4532	0,0162		A hipótese nula é rejeitada
Gama	0,135	0,1774		A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,011	0,0126		A hipótese nula é rejeitada
Weibull	0,1194	0,0656		A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, em ambos os programas, as distribuições gama e weibull passaram no teste estatístico, ou seja, podem ser ajustadas aos dados. Dessa forma, analisando os gráficos

e o p-valor, a distribuição weibull de 3 parâmetros foi escolhida para essa amostra descrita na figura 40.

O MTTF 4.9 e a equação da confiabilidade 4.10 foram calculados utilizando as equações 2.18, 2.16 e o parâmetro da distribuição da tabela 21.

Tabela 21 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 3228,7068$	
Gama		$\gamma = 0,49326$	$\lambda = 6545,6651$	
Lognormal	$\mu = 6,7894$		$\sigma = 2,5850$	
Weibull de 3 Parâmetros		$\gamma = 0,94534$	$\theta = 3338,2201$	$\alpha = -193,5066$

Fonte: Produzido pela autora.

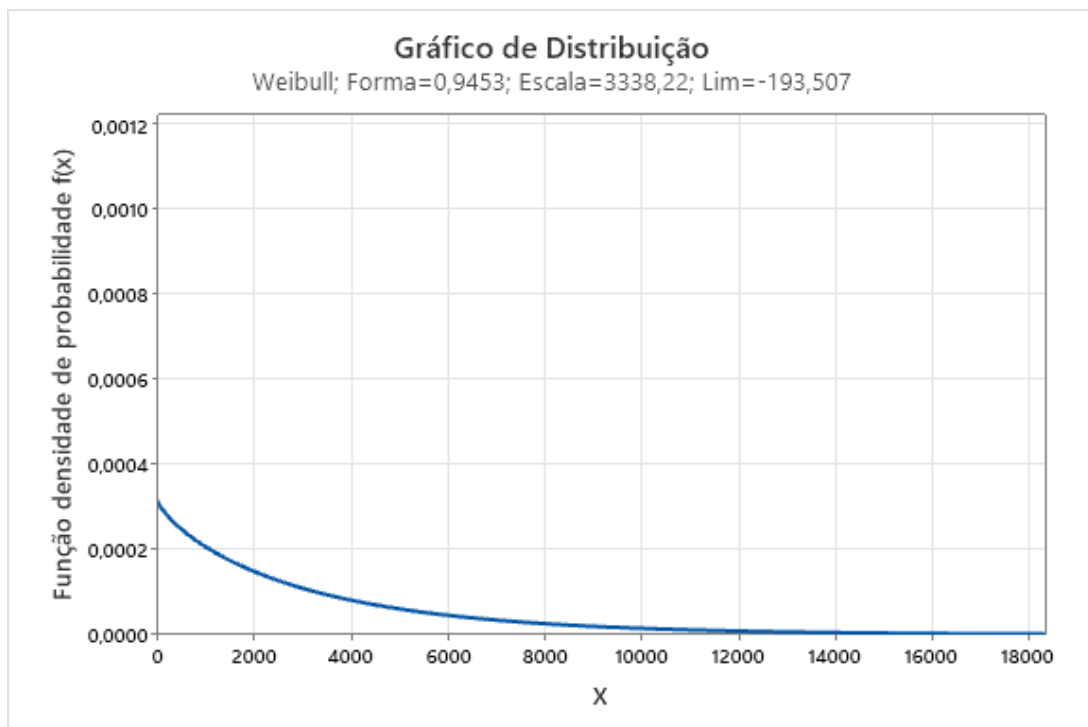


Figura 40 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTF = -193,5 + 3338,2\Gamma\left(1 + \frac{1}{0,9}\right) = 3231,0h \quad (4.9)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t + 193,5}{3338,2}\right)^{0,9}} \quad (4.10)$$

A equação de confiabilidade depende do tempo e pode ser descrita pelo gráfico 41.



Figura 41 – Gráfico da confiabilidade

Fonte: Excel

Logo após, utilizando os valores de tempo de reparo para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 42, a tabela 22 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 24 com os parâmetros de cada distribuição.

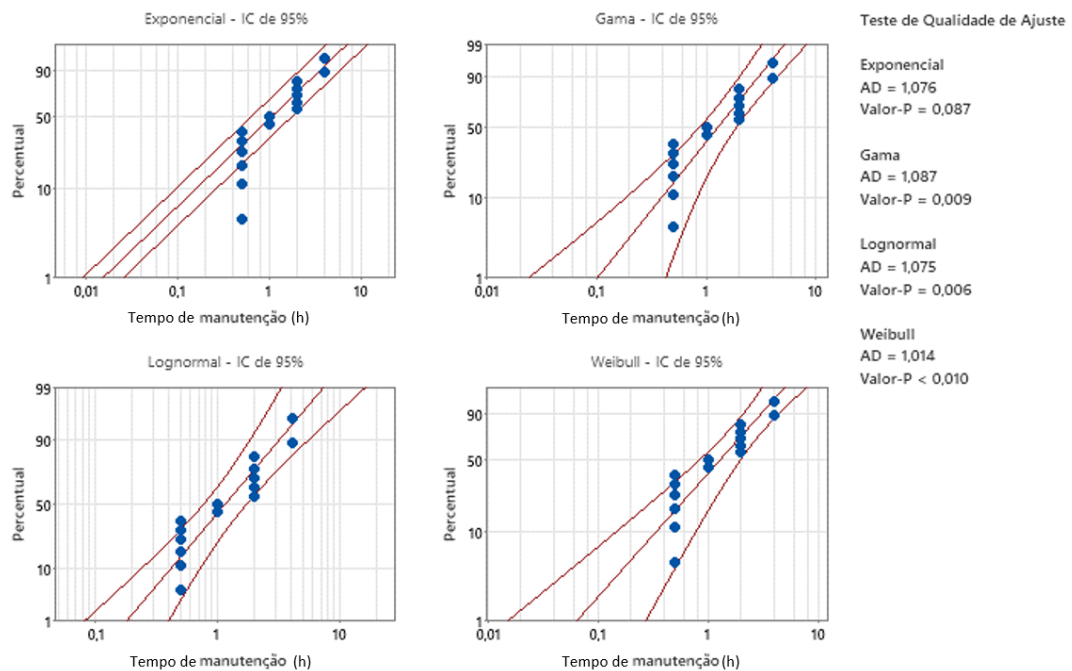


Figura 42 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 22 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	1,076	0,087	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	1,087	0,009	A hipótese nula é rejeitada
Lognormal	1,075	0,006	A hipótese nula é rejeitada
Weibull	1,014	<0,010	A hipótese nula é rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 43, tabela 23 com os valores dos testes de probabilidade.

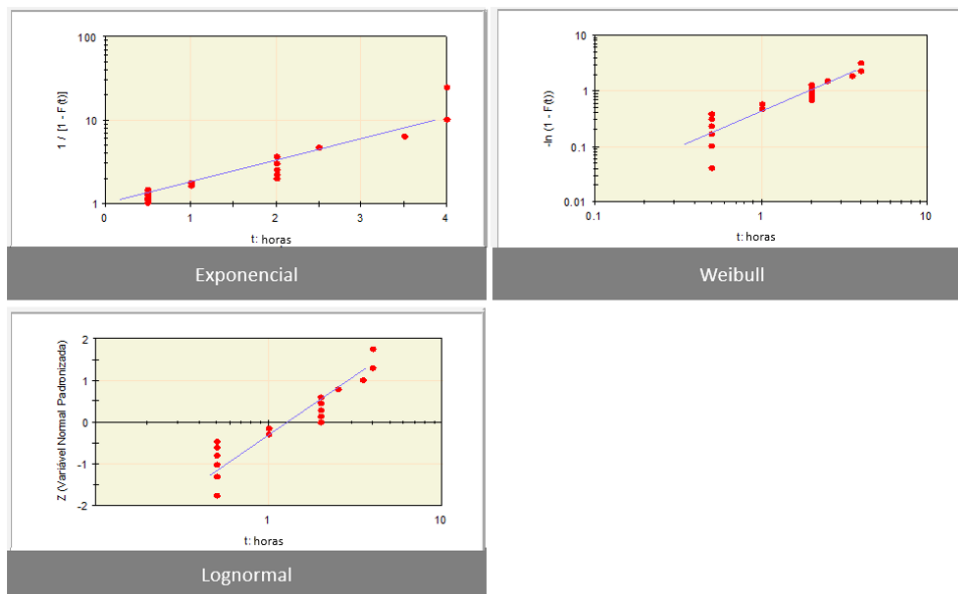


Figura 43 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 23 – Testes de aderência

Distribuição	Parâmetros dos testes		Conclusão
	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	
Exponencial	0,2282	0,0027	A hipótese nula é rejeitada
Gama	0,1212	0,0432	A hipótese nula é rejeitada
Lognormal*	-	-	-
Weibull	0,1123	0,1052	A hipótese nula não pode ser rejeitada

*Erro no software

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, no Minitab somente a distribuição exponencial não foi rejeitada e no Proconf somente a distribuição de weibull não foi rejeitada. Fazendo uma análise qualitativa dos gráficos de probabilidade, a distribuição weibull foi escolhida para essa amostra descrita na figura 44. Dessa forma, o MTTR 4.11 foi calculado utilizando a equação 2.14 e os parâmetros da distribuição da tabela 24.

Tabela 24 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 1,53333$	
Gama		$\gamma = 1,88076$	$\lambda = 0,81528$	
Lognormal	$\mu = 0,13863$		$\sigma = 0,79464$	
Weibull		$\gamma = 1,39632$	$\theta = 1,69344$	

Fonte: Produzido pela autora.

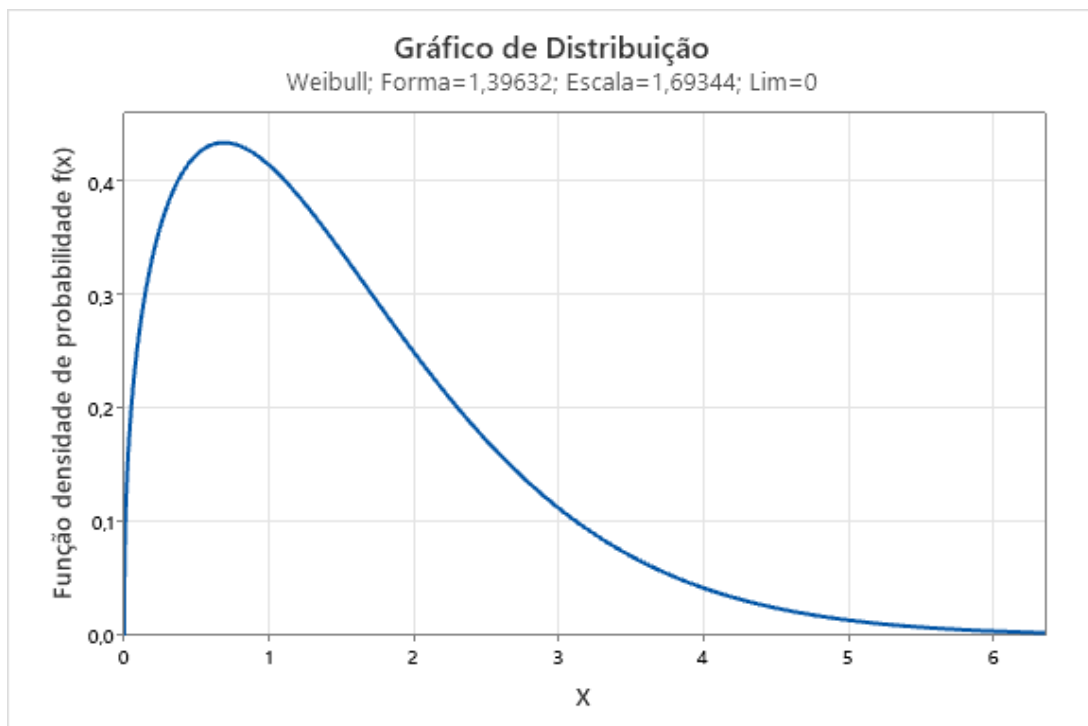


Figura 44 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTR = 1,7 \cdot \Gamma\left(\frac{1}{1,4}\right) = 1,5h \quad (4.11)$$

Utilizando a equação 2.1 e os tempos médios anteriormente calculados, a disponibilidade do equipamento foi calculada.

$$A = \frac{3231,0}{3231,0 + 1,5} = 0,9995 = 99,95\% \quad (4.12)$$

4.4.4 Equipamento Motor 4

Utilizando os valores de tempo de operação para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 45, tabela 25 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 27 com os parâmetros de cada distribuição.

O Minitab utiliza o teste de Anderson-Darling descrito na seção 2.5.3, foi definido um nível de confiança de 95% e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Dessa forma, para que a hipótese nula não seja rejeitada, o p-valor deve ser maior que 0,05.

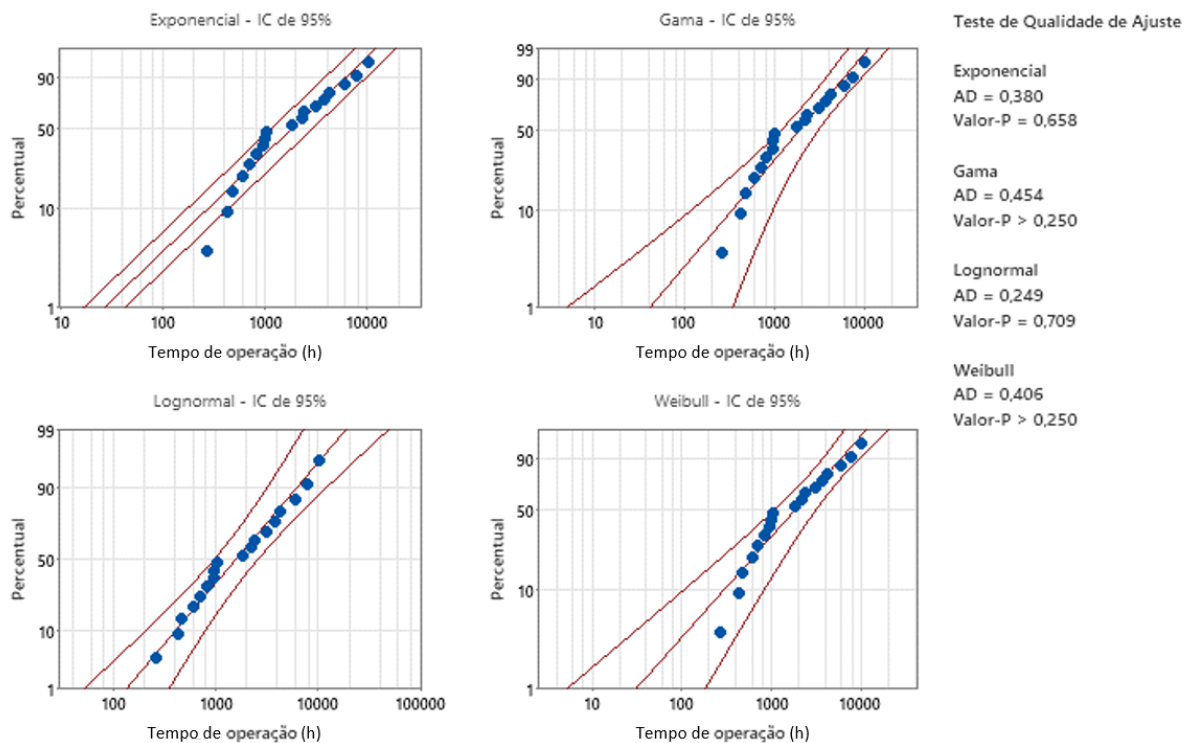


Figura 45 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 25 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	0,38	0,658	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,454	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,249	0,709	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull	0,406	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 46, tabela 26 com os valores dos testes de probabilidade.

O ProConf utiliza os testes de Kolmogorov-Smirnov e o teste qui-quadrado descritos na seção 2.5.3 e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Além disso, esse software já fornece no resultado se o teste rejeita ou não a hipótese nula..

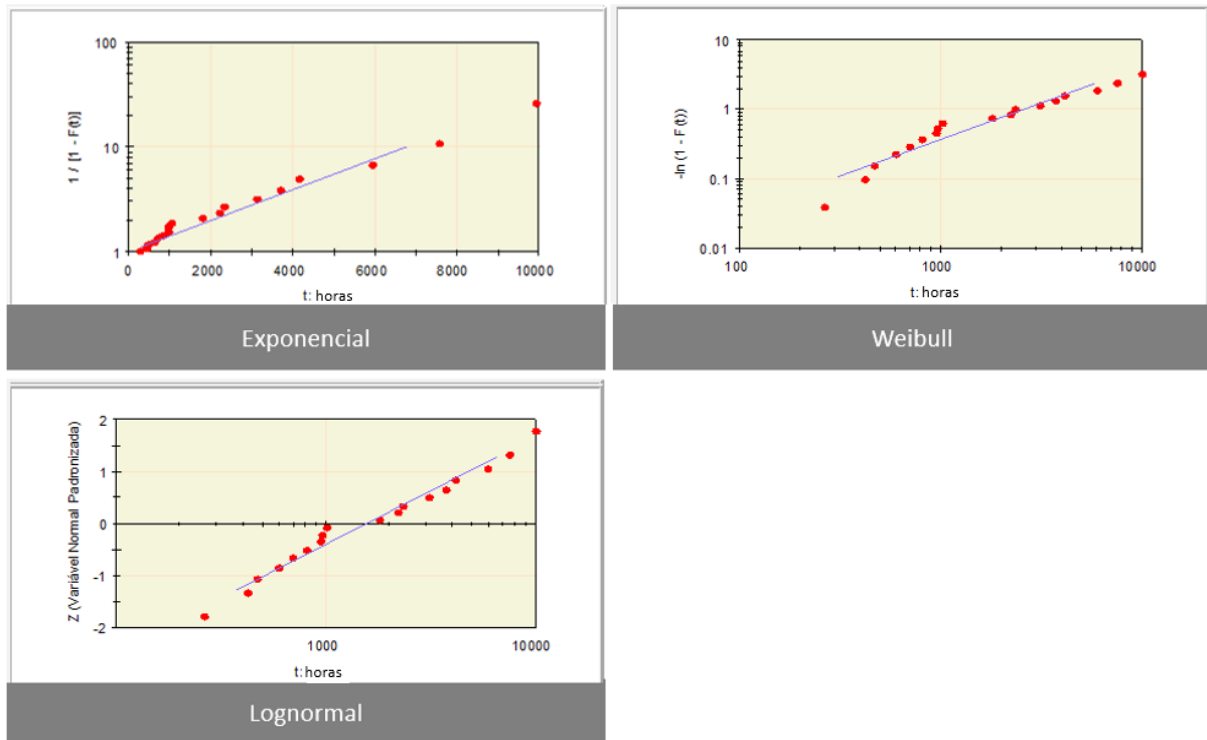


Figura 46 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 26 – Testes de aderência

Distribuição	Parâmetros dos testes		Conclusão
	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	
Exponencial	0,8788	0,1428	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,7154	0,1003	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,7139	0,2392	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull	0,7282	0,1847	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, em ambos os programas, todas as distribuições passaram no teste estatístico, ou seja, podem ser ajustadas aos dados. Dessa forma, analisando os gráficos de probabilidade, a distribuição weibull foi escolhida para essa amostra descrita na figura 47.

O MTTF 4.13 e a equação da confiabilidade 4.14 foram calculados utilizando as equações 2.14, 2.12 e o parâmetro da distribuição da tabela 27.

Tabela 27 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 2604,92541$	
Gama		$\gamma = 1,12017$	$\lambda = 2325,46378$	
Lognormal	$\mu = 7,35646$		$\sigma = 1,06102$	
Weibull		$\gamma = 1,02732$	$\theta = 2636,64955$	

Fonte: Produzido pela autora.

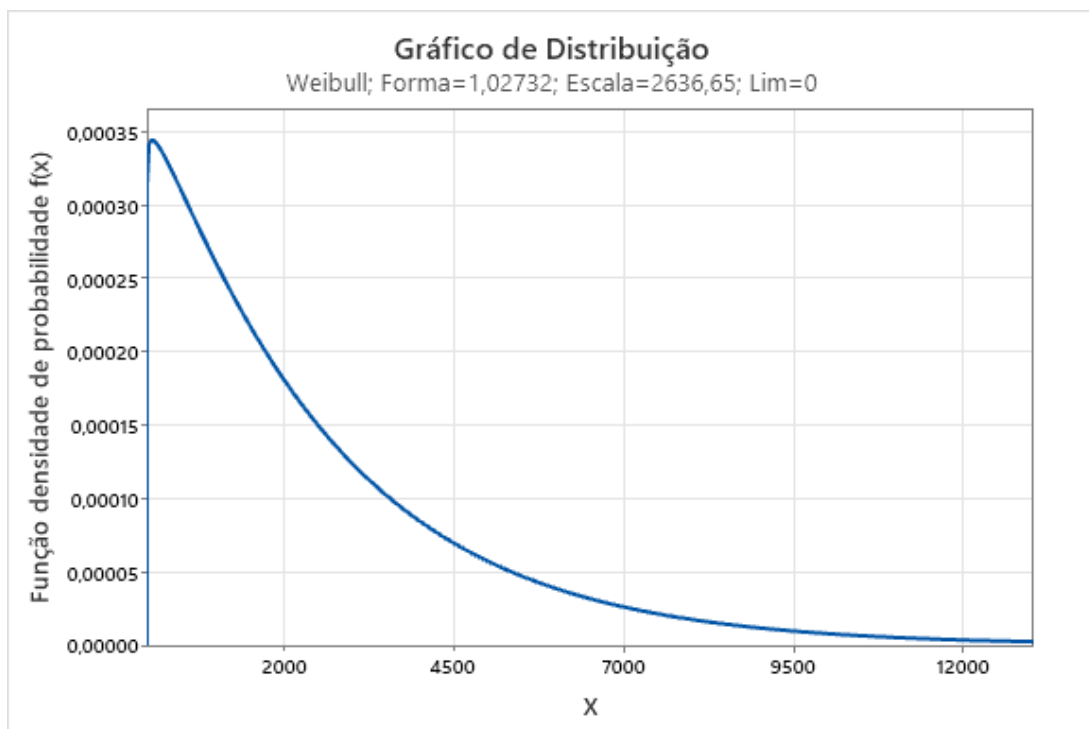


Figura 47 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTF = 2636,6495 \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,0273}\right) = 2607,7689h \quad (4.13)$$

$$R(t) = e^{-\frac{t^{1,0273}}{2636,6495}} \quad (4.14)$$

A equação de confiabilidade depende do tempo e pode ser descrita pelo gráfico 48.

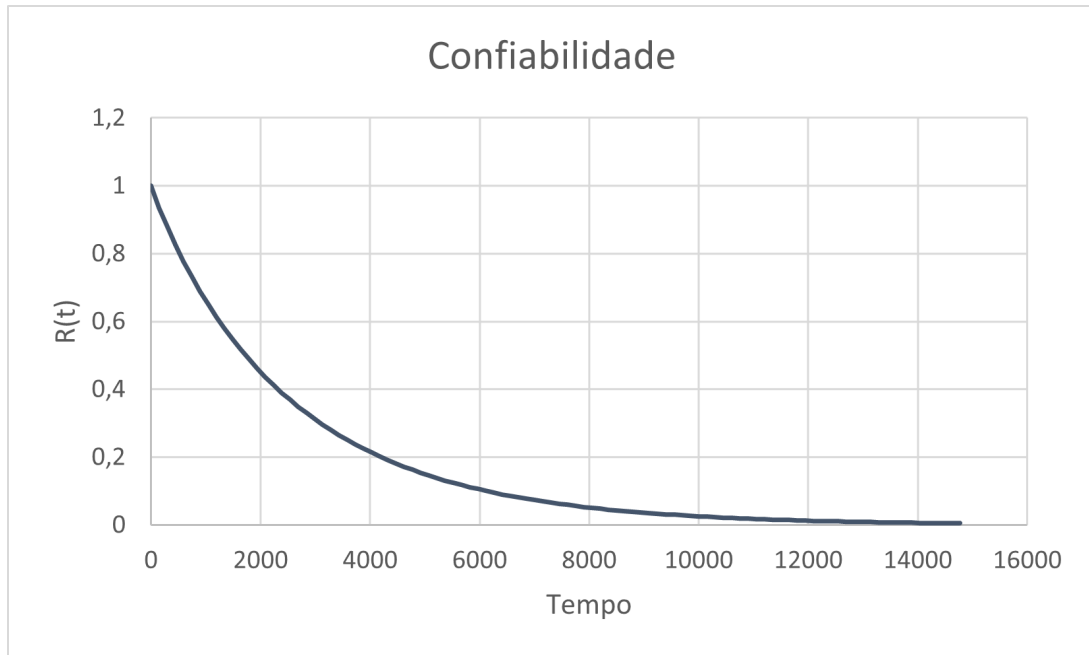


Figura 48 – Gráfico da confiabilidade

Fonte: Excel

Logo após, utilizando os valores de tempo de reparo para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 49, a tabela 28 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 30 com os parâmetros de cada distribuição.

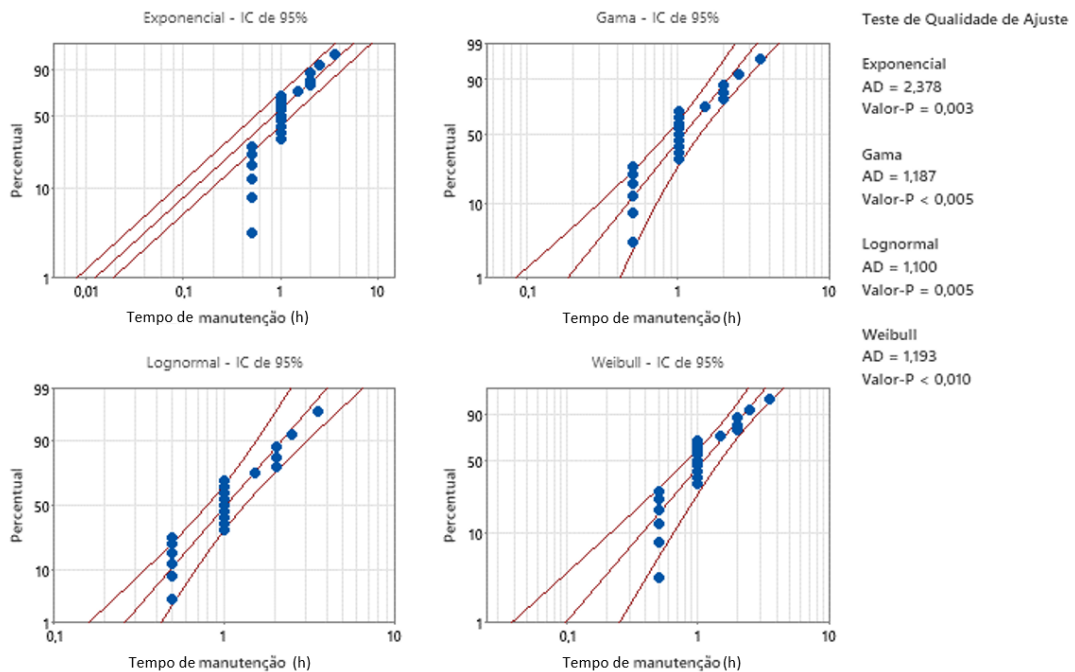


Figura 49 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 28 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	2,378	0,003	A hipótese nula é rejeitada
Gama	1,187	<0,005	A hipótese nula é rejeitada
Lognormal	1,1	0,005	A hipótese nula é rejeitada
Weibull	1,193	<0,010	A hipótese nula é rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 50, tabela 29 com os valores dos testes de probabilidade.

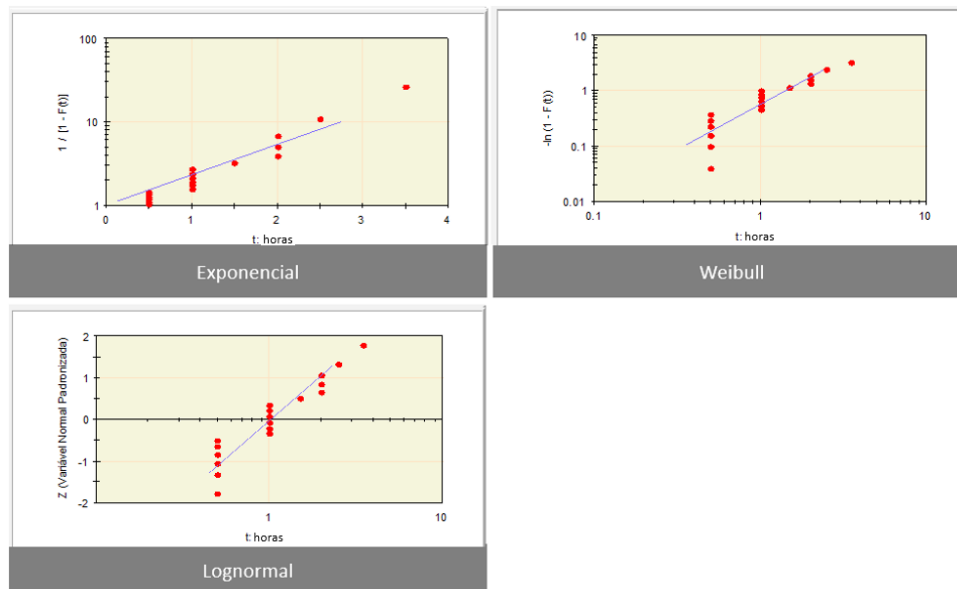


Figura 50 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 29 – Testes de aderência

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	Conclusão
Exponencial	0,4145	0,0001	A hipótese nula é rejeitada
Gama	0,0707	0,0212	A hipótese nula é rejeitada
Lognormal	0,0811	0,0326	A hipótese nula é rejeitada
Weibull	0,0838	0,0375	A hipótese nula é rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, todos os testes foram rejeitados em ambos os programas. Entretanto, para ser possível fazer a análise completa do sistema, fazendo uma análise qualitativa dos gráficos de probabilidade, a distribuição weibull foi escolhida para essa amostra descrita na figura 51. Dessa forma o MTTR 4.15 foi calculado utilizando a equação 2.14 e os parâmetros da distribuição da tabela 30.

Tabela 30 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 1,21429$	
Gama		$\gamma = 3,08779$	$\lambda = 0,39325$	
Lognormal	$\mu = 0,02358$		$\sigma = 0,58676$	
Weibull		$\gamma = 1,73078$	$\theta = 1,3743$	

Fonte: Produzido pela autora.

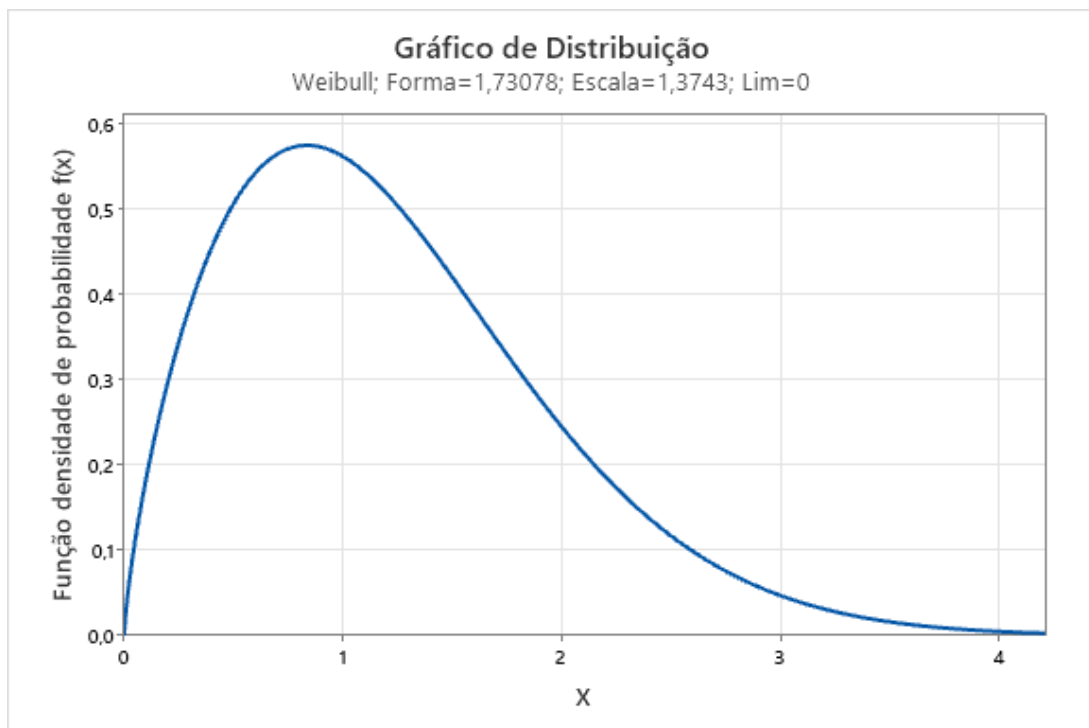


Figura 51 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTR = 1,4 \cdot \Gamma\left(\frac{1}{1,7}\right) = 1,2h \quad (4.15)$$

Utilizando a equação 2.1 e os tempos médios anteriormente calculados, a disponibilidade do equipamento foi calculada.

$$A = \frac{2607,8}{2607,8 + 1,2} = 0,9995 = 99,95\% \quad (4.16)$$

4.4.5 Equipamento Motor 5

Utilizando os valores de tempo de operação para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 52, tabela 31 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 33 com os parâmetros de cada distribuição.

O Minitab utiliza o teste de Anderson-Darling descrito na seção 2.5.3, foi definido um nível de confiança de 95% e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Dessa forma, para que a hipótese nula não seja rejeitada, o p-valor deve ser maior que 0,05.

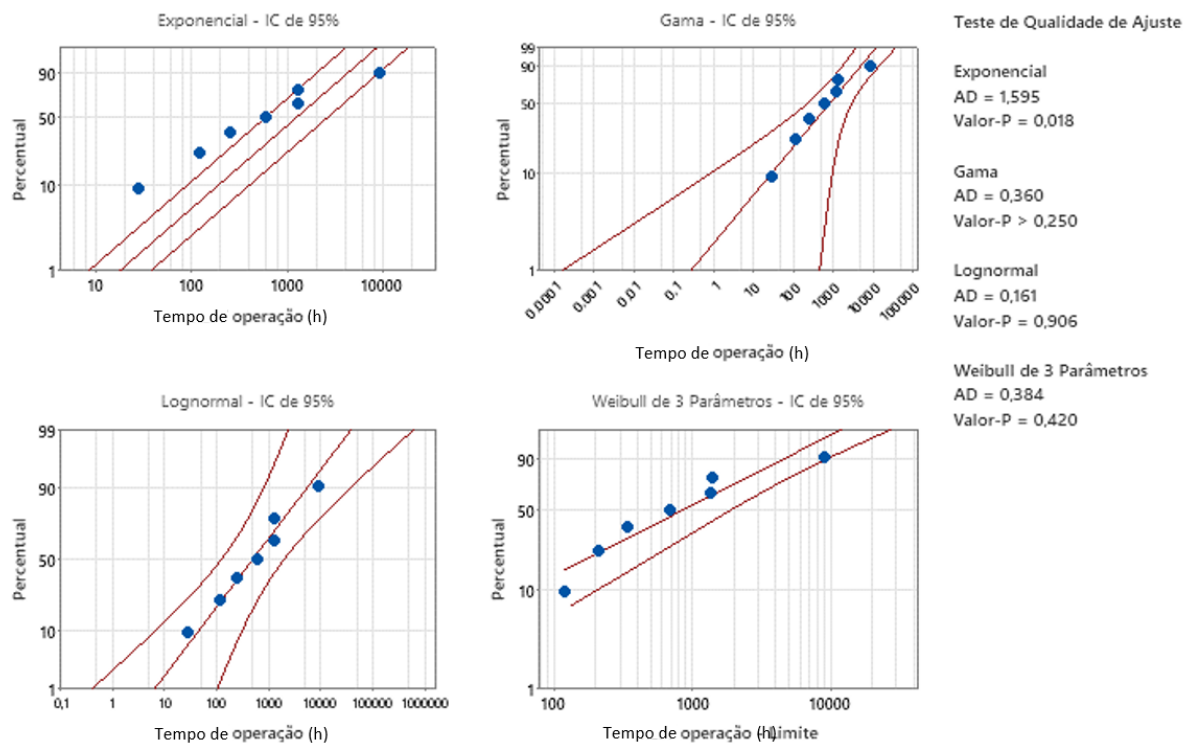


Figura 52 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 31 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	2	0,018	A hipótese nula é rejeitada
Gama	0,36	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,161	0,906	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull	0,241	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 53, tabela 32 com os valores dos testes de probabilidade.

O ProConf utiliza os testes de Kolmogorov-Smirnov e o teste qui-quadrado descritos na seção 2.5.3 e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Além disso, esse software já fornece no resultado se o teste rejeita ou não a hipótese nula.

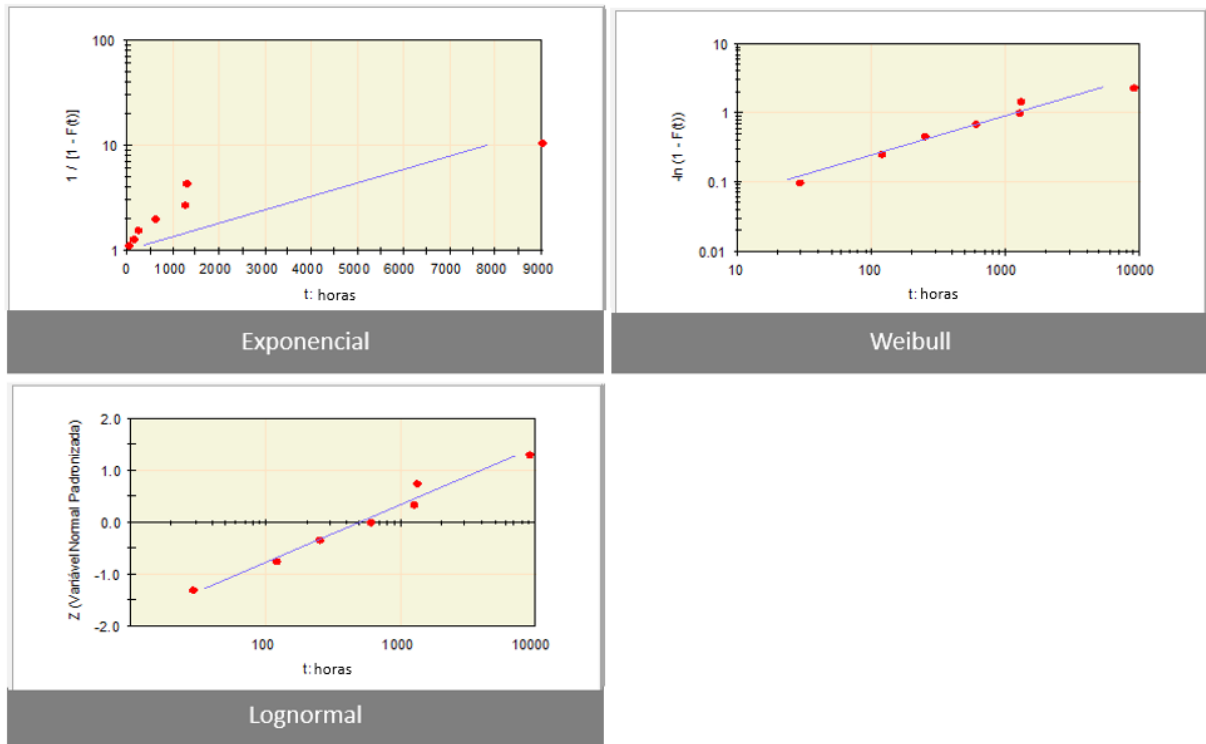


Figura 53 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 32 – Testes de aderência

Distribuição	Parâmetros dos testes		Conclusão
	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	
Exponencial	0,0452	0,0134	A hipótese nula é rejeitada
Gama	0,1477	0,0099	A hipótese nula é rejeitada
Lognormal	0,205	0,3702	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull	0,2201	0,3053	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, no Minitab somente a distribuição exponencial foi rejeitada e no ProConf somente as distribuições lognormal e weibull não foram rejeitadas. Dessa forma, analisando

os gráficos de probabilidade, a distribuição weibull foi escolhida para essa amostra descrita na figura 54.

O MTTF 4.17 e a equação da confiabilidade 4.18 foram calculados utilizando as equações 2.14, 2.12 e o parâmetro da distribuição da tabela 33.

Tabela 33 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 1792,4011$	
Gama		$\gamma = 0,49569$	$\lambda = 3615,9800$	
Lognormal	$\mu = 6,2082$		$\sigma = 1,8649$	
Weibull		$\gamma = 0,61621$	$\theta = 1175,2305$	

Fonte: Produzido pela autora.

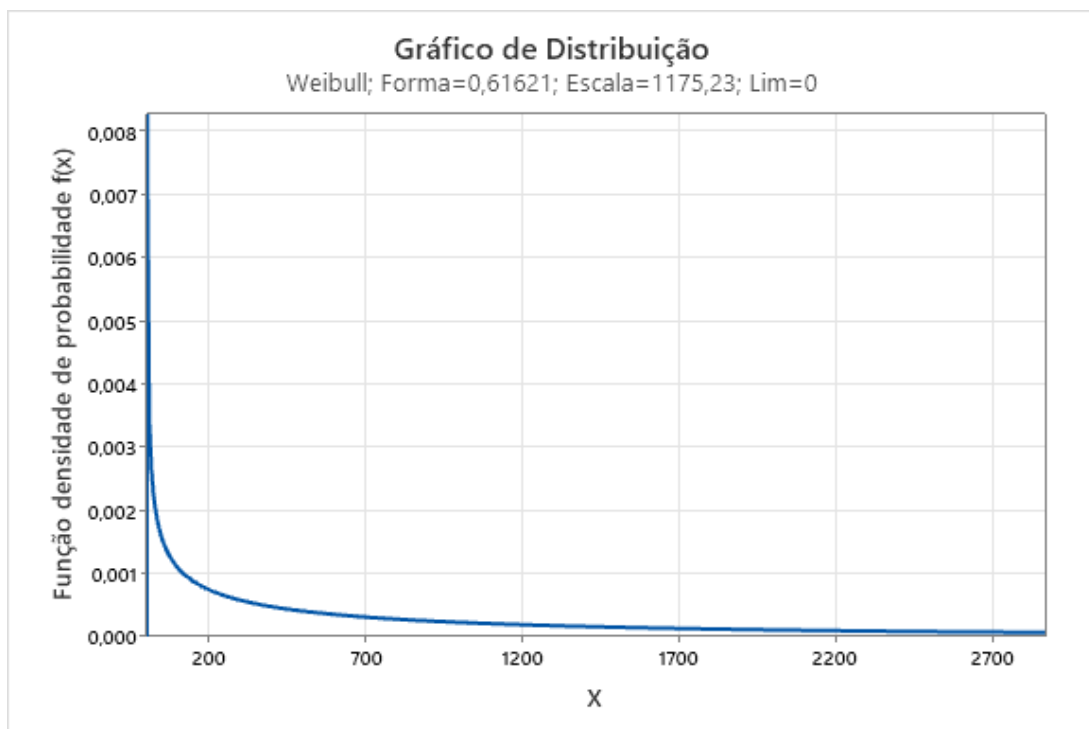


Figura 54 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTF = 1175,2305 \Gamma \left(1 + \frac{1}{0,6162} \right) = 1709,3942h \quad (4.17)$$

$$R(t) = e^{-\frac{t^{0,6162}}{1175,2305}} \quad (4.18)$$

A equação de confiabilidade depende do tempo e pode ser descrita pelo gráfico 55.

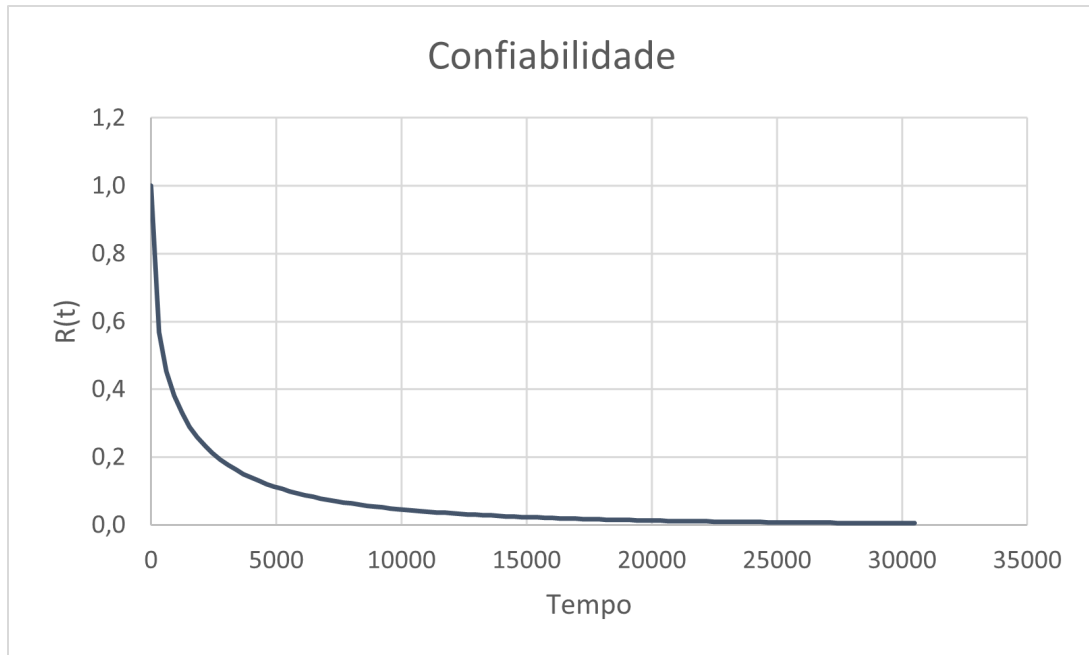


Figura 55 – Gráfico da confiabilidade

Fonte: Excel

Logo após, utilizando os valores de tempo de reparo para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 56, a tabela 34 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 36 com os parâmetros de cada distribuição.

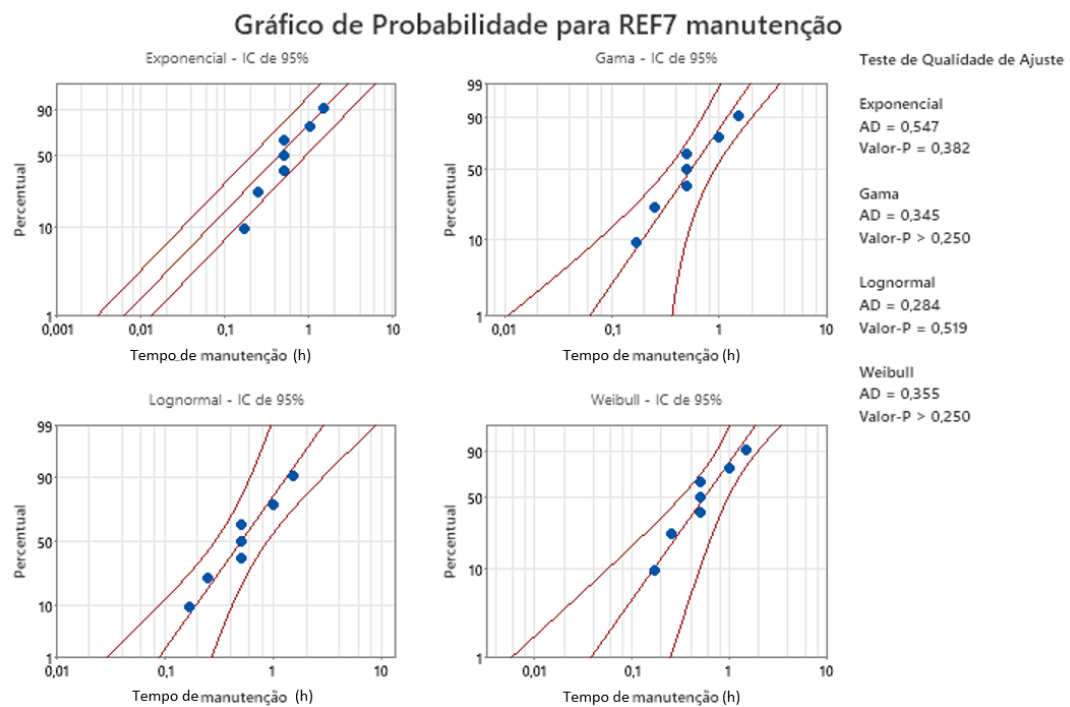


Figura 56 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 34 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	0,547	0,382	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,345	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,284	0,519	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull	0,355	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 57, tabela 35 com os valores dos testes de probabilidade.

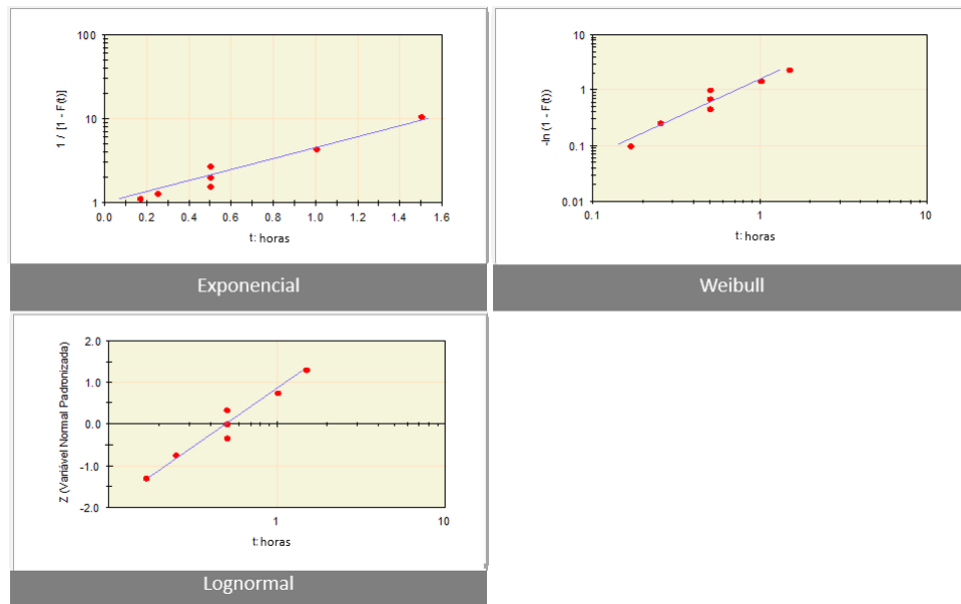


Figura 57 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 35 – Testes de aderência

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	Conclusão
Exponencial	0,0555	0,1729	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,2649	0,2298	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,3408	0,237	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull	0,2443	0,2254	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, em ambos os programas, todas as distribuições não foram rejeitadas.

Analisando os gráficos de probabilidade, a distribuição weibull foi escolhida para essa amostra descrita na figura 58. Dessa forma, o MTTR 4.19 foi calculado utilizando a equação 2.14 e os parâmetros da distribuição da tabela 36.

Tabela 36 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 0,63095$	
Gama		$\gamma = 2,30229$	$\lambda = 0,27405$	
Lognormal	$\mu = -0,69315$		$\sigma = 0,74998$	
Weibull		$\gamma = 1,55948$	$\theta = 0,70697$	

Fonte: Produzido pela autora.

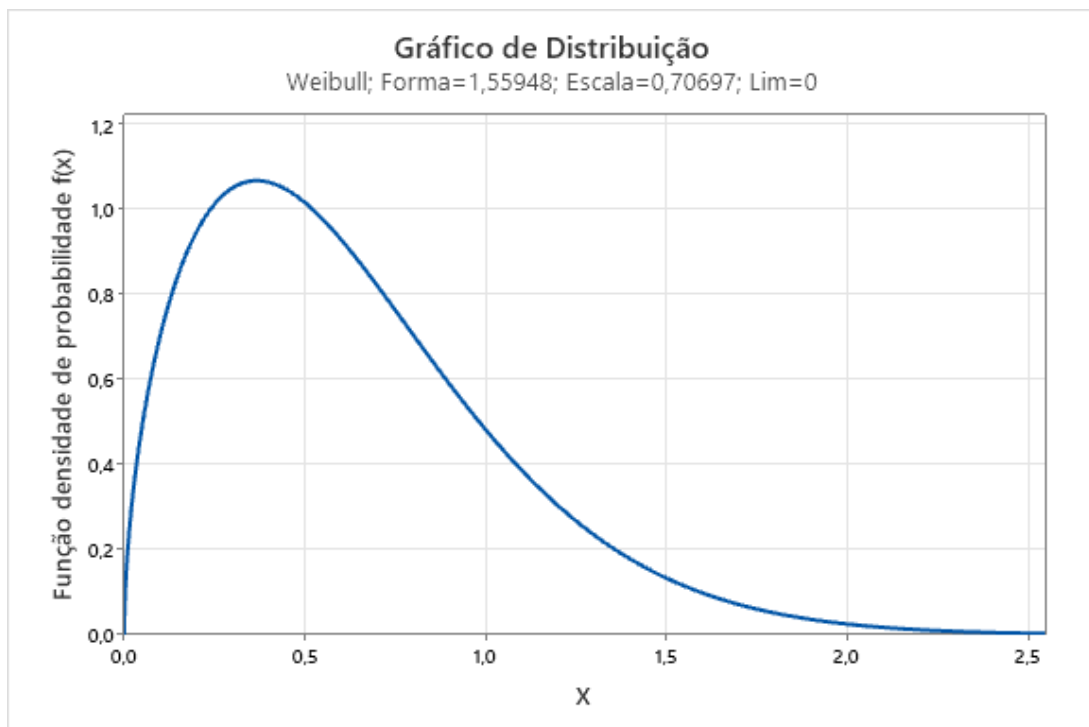


Figura 58 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTR = 0,7070 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,5595}\right) = 0,6354h \quad (4.19)$$

Utilizando a equação 2.1 e os tempos médios anteriormente calculados, a disponibilidade do equipamento foi calculada.

$$A = \frac{1709,4}{1709,4 + 0,6} = 0,9996 = 99,96\% \quad (4.20)$$

4.4.6 Equipamento Motor 6

Utilizando os valores de tempo de operação para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 59, tabela 37 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 39 com os parâmetros de cada distribuição.

O Minitab utiliza o teste de Anderson-Darling descrito na seção 2.5.3, foi definido um nível de confiança de 95% e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Dessa forma, para que a hipótese nula não seja rejeitada, o p-valor deve ser maior que 0,05.

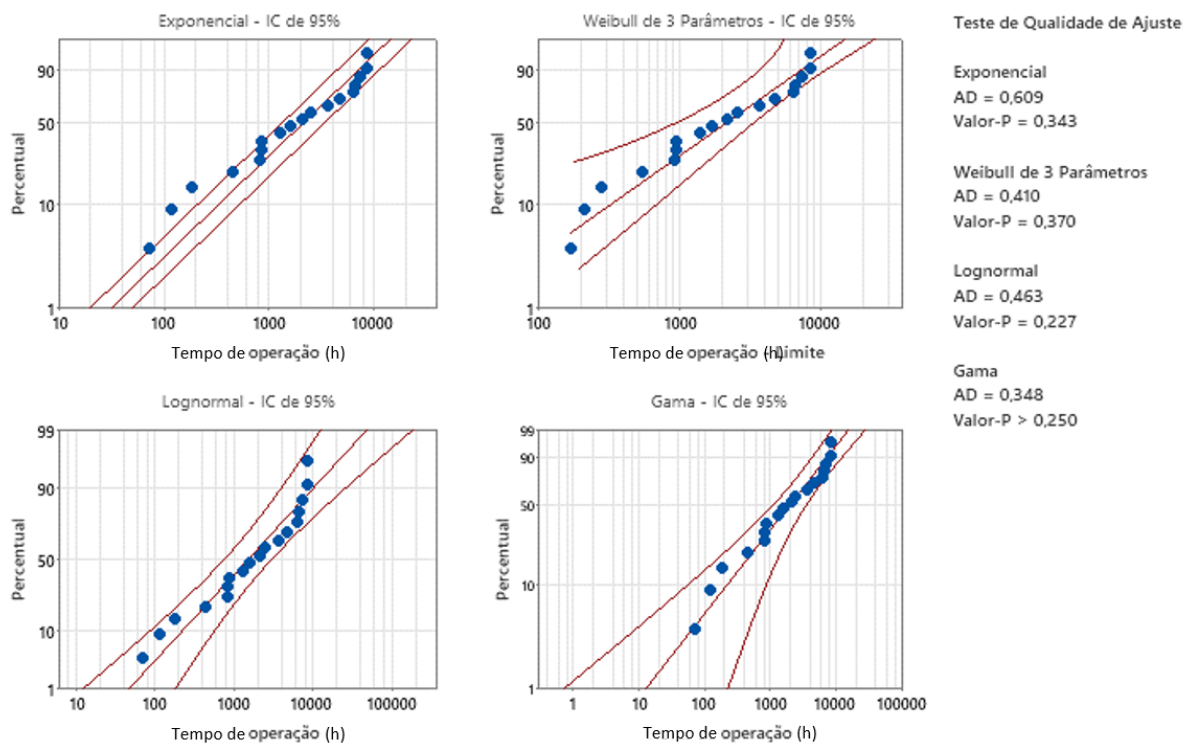


Figura 59 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 37 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	0,609	0,343	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,348	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,463	0,227	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull de 3 Parâmetros	0,410	0,370	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 60, tabela 38 com os valores dos testes de probabilidade.

O ProConf utiliza os testes de Kolmogorov-Smirnov e o teste qui-quadrado descritos na seção 2.5.3 e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Além disso, esse software já fornece no resultado se o teste rejeita ou não a hipótese nula.

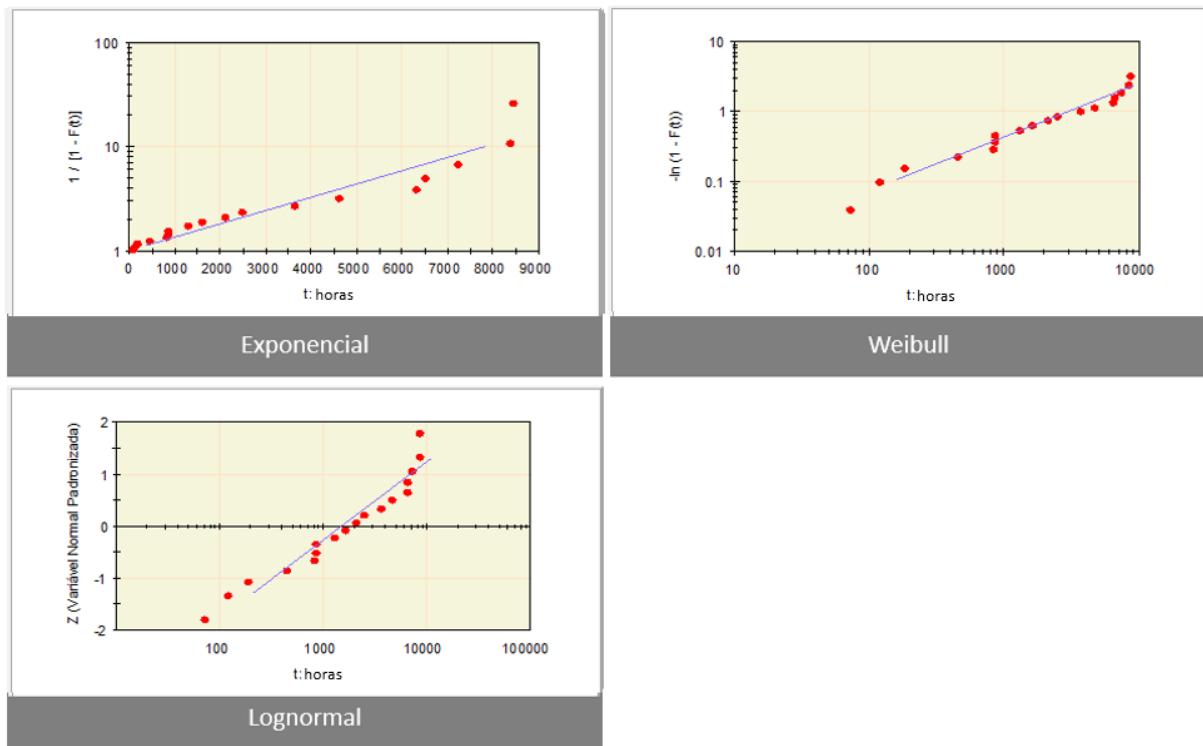


Figura 60 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 38 – Testes de aderência

Distribuição	Parâmetros dos testes		Conclusão
	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	
Exponencial	0,4588	0,2073	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,5509	0,3273	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal*	-	-	-
Weibull	0,444	0,2534	A hipótese nula não pode ser rejeitada

*Erro no software

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, em ambos os programas todas as distribuições que puderam ser calculadas não foram rejeitadas. Dessa forma, analisando os gráficos de probabilidade, a distribuição

weibull de 3 parâmetros foi escolhida para essa amostra descrita na figura 61.

O MTTF 4.21 e a equação da confiabilidade 4.22 foram calculados utilizando as equações 2.18, 2.16 e o parâmetro da distribuição da tabela 39.

Tabela 39 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 3097,1398$	
Gama		$\gamma = 0,81445$	$\lambda = 3802,7600$	
Lognormal	$\mu = 7,3112$		$\sigma = 1,4896$	
Weibull de 3 Parâmetros		$\gamma = 0,97855$	$\theta = 3162,6436$	$\alpha = -94,7824$

Fonte: Produzido pela autora.

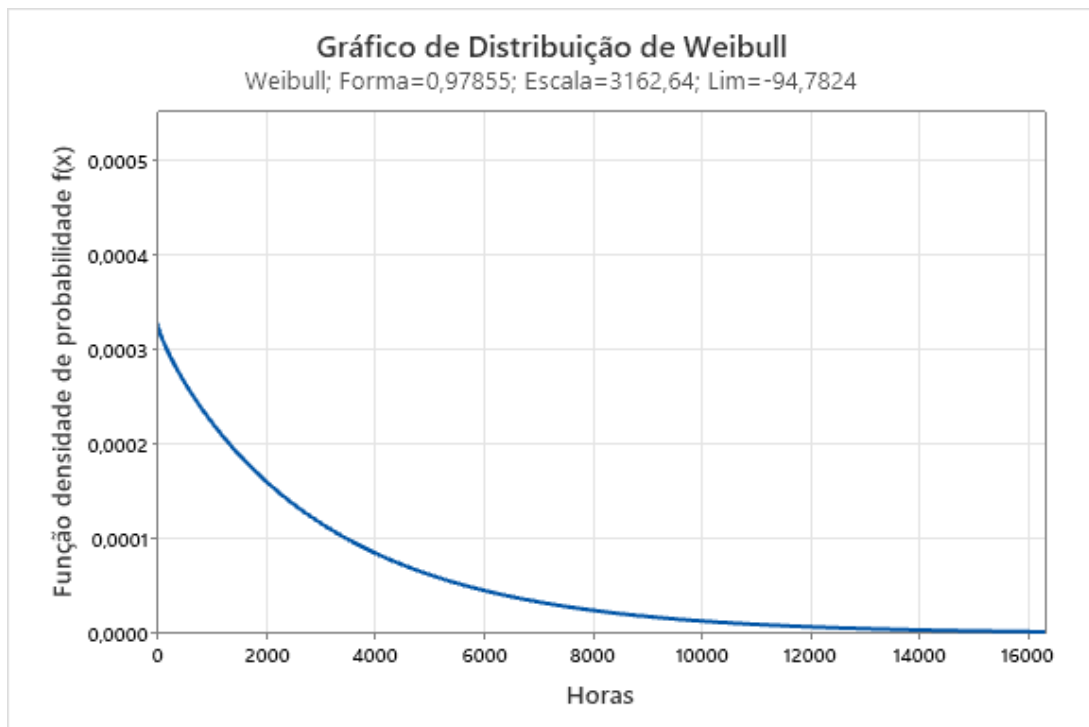


Figura 61 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTF = -94,7824 + 3162,6436\Gamma\left(1 + \frac{1}{0,97855}\right) = 3097,79968h \quad (4.21)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t + 94,7824}{3162,6436}\right)^{0,97855}} \quad (4.22)$$

A equação de confiabilidade depende do tempo e pode ser descrita pelo gráfico 62.

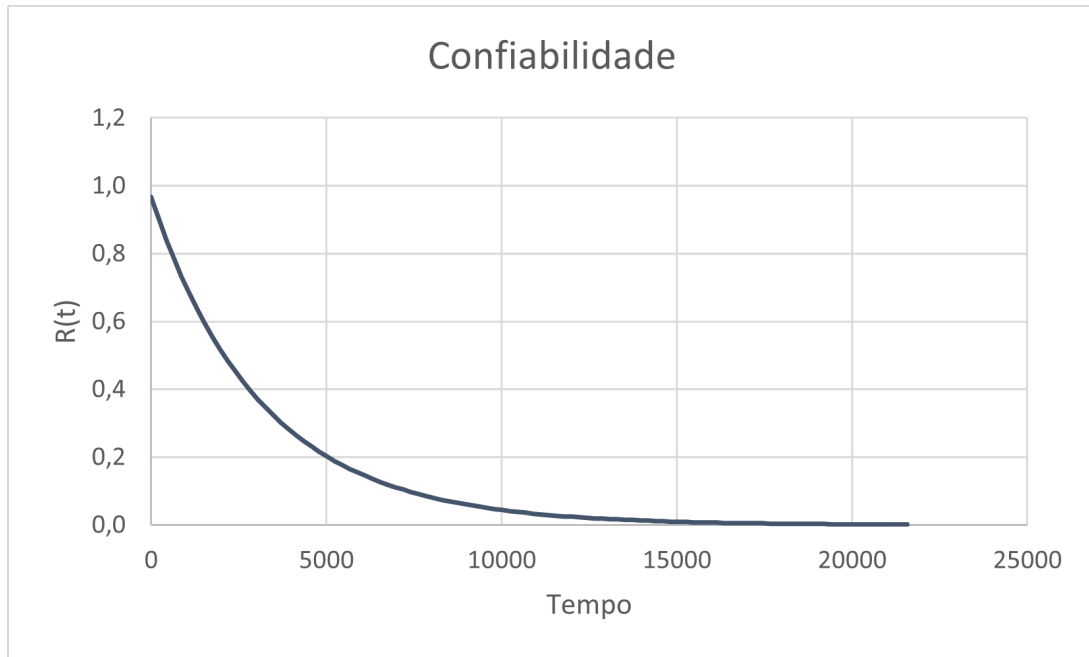


Figura 62 – Gráfico da confiabilidade

Fonte: Excel

Logo após, utilizando os valores de tempo de reparo para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 63, a tabela 40 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 42 com os parâmetros de cada distribuição.

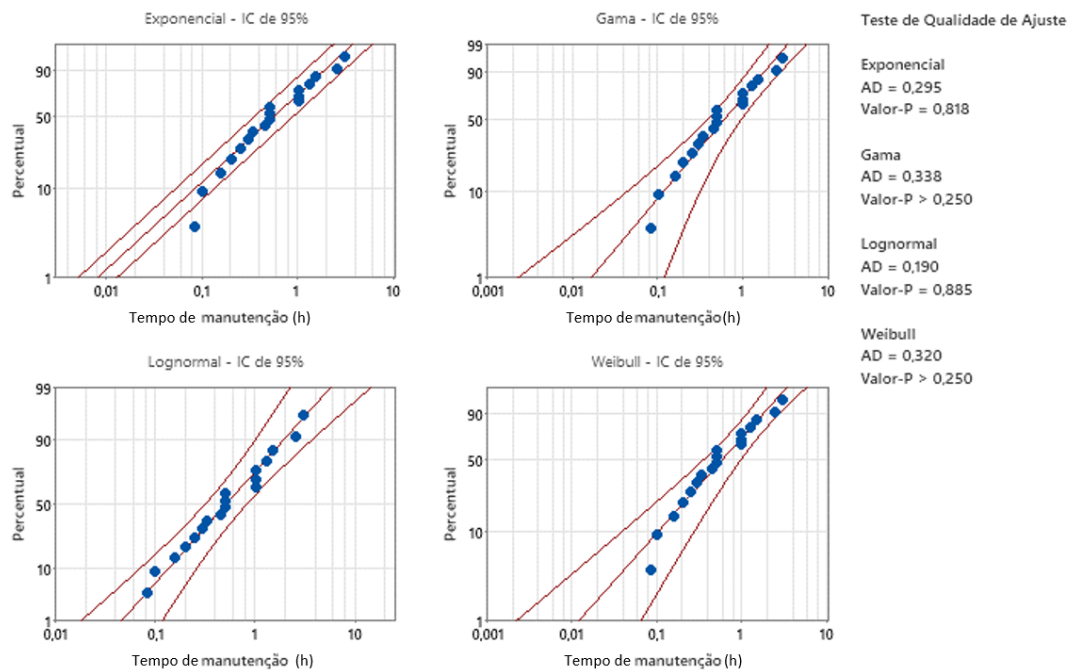


Figura 63 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 40 – Teste de Qualidade de Ajuste

Distribuição	Parâmetros dos testes		
	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	0,295	0,818	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,338	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,19	0,885	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull	0,32	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 64, tabela 41 com os valores dos testes de probabilidade.

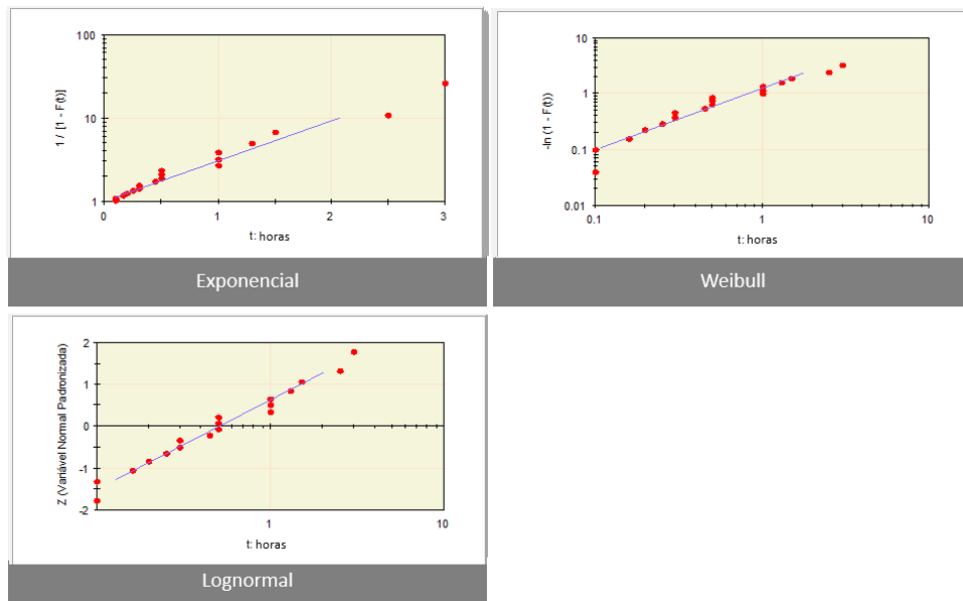


Figura 64 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 41 – Testes de aderência

Distribuição	Parâmetros dos testes		Conclusão
	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	
Exponencial	0,8713	0,1989	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,624	0,1341	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal*	-	-	-
Weibull	0,7069	0,2013	A hipótese nula não pode ser rejeitada

*Erro no software

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, em ambos os programas todas as distribuições que puderam ser calculadas não foram rejeitadas.

Analisando os gráficos de probabilidade, a distribuição lognormal foi escolhida para essa amostra descrita na figura 65. Dessa forma, o MTTR 4.23 foi calculado utilizando a equação 2.26 e os parâmetros da distribuição da tabela 42.

Tabela 42 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 0,81537$	
Gama		$\gamma = 1,20578$	$\lambda = 0,67622$	
Lognormal	$\mu = -0,67298$		$\sigma = 1,03498$	
Weibull		$\gamma = 1,07703$	$\theta = 0,84111$	

Fonte: Produzido pela autora.

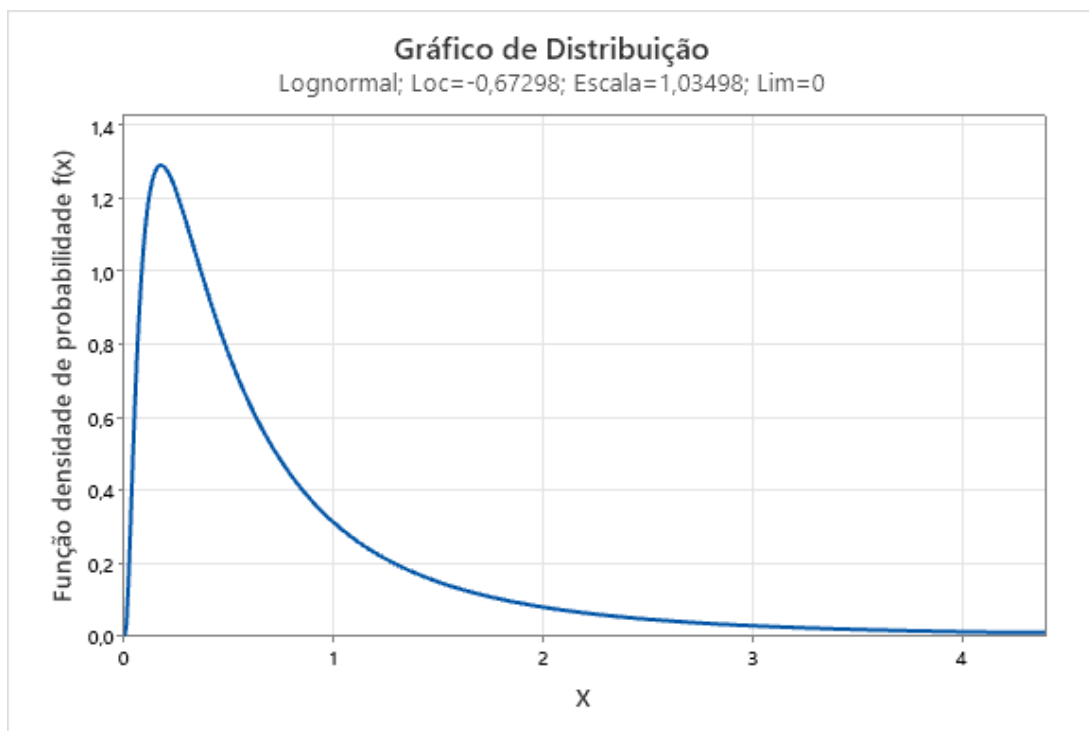


Figura 65 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTR = e^{(-0,6730+1,0350^2)/2} = 1,2203h \quad (4.23)$$

Utilizando a equação 2.1 e os tempos médios anteriormente calculados, a disponibilidade do equipamento foi calculada.

$$A = \frac{3097,8}{3097,8 + 1,2} = 0,9996 = 99,96\% \quad (4.24)$$

4.4.7 Equipamento Motor 7

Utilizando os valores de tempo de operação para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 66, tabela 43 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 45 com os parâmetros de cada distribuição.

O Minitab utiliza o teste de Anderson-Darling descrito na seção 2.5.3, foi definido um nível de confiança de 95% e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Dessa forma, para que a hipótese nula não seja rejeitada, o p-valor deve ser maior que 0,05.

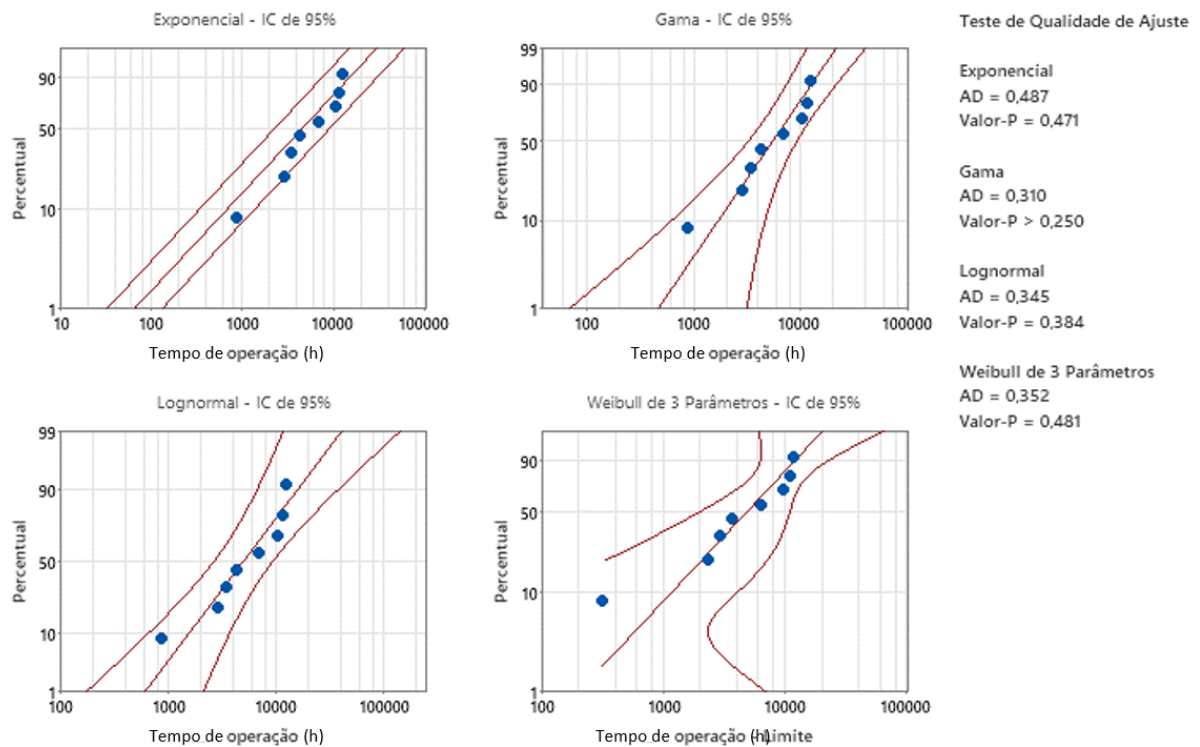


Figura 66 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 43 – Teste de Qualidade de Ajuste

Distribuição	Parâmetros dos testes		Resultado
	Anderson-Darling	P-valor	
Exponencial	0,487	0,471	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,31	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,345	0,384	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull de 3 Parâmetros	0,352	0,481	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 67, tabela 44 com os valores dos testes de probabilidade.

O ProConf utiliza os testes de Kolmogorov-Smirnov e o teste qui-quadrado descritos na seção 2.5.3 e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Além disso, esse software já fornece no resultado se o teste rejeita ou não a hipótese nula.

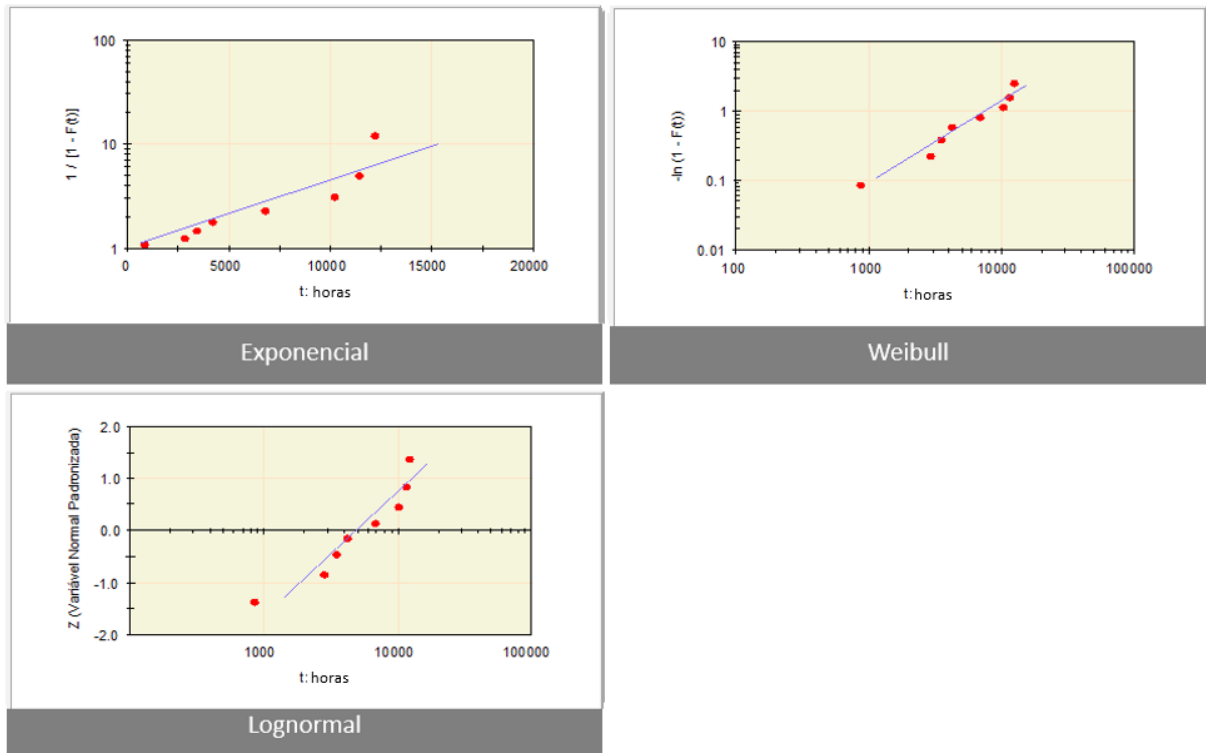


Figura 67 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 44 – Testes de aderência

Distribuição	Parâmetros dos testes		Conclusão
	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	
Exponencial	0,3739	0,1848	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,4295	0,2939	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal*	-	-	-
Weibull	0,2523	0,2649	A hipótese nula não pode ser rejeitada

*Erro no software

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, em ambos os programas todas as distribuições que puderam ser calculadas não foram rejeitadas. Dessa forma, analisando os gráficos e o p-valor, a distribuição weibull

de 3 parâmetros foi escolhida para essa amostra descrita na figura 68.

O MTTF 4.25 e a equação da confiabilidade 4.26 foram calculados utilizando as equações 2.18, 2.16 e o parâmetro da distribuição da tabela 45.

Tabela 45 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 6479,82888$	
Gama		$\gamma = 1,93866$	$\lambda = 3342,42468$	
Lognormal	$\mu = 8,4969$		$\sigma = 0,90228$	
Weibull de 3 Parâmetros		$\gamma = 1,31669$	$\theta = 6394,97063$	$\alpha = 539,11654$

Fonte: Produzido pela autora.

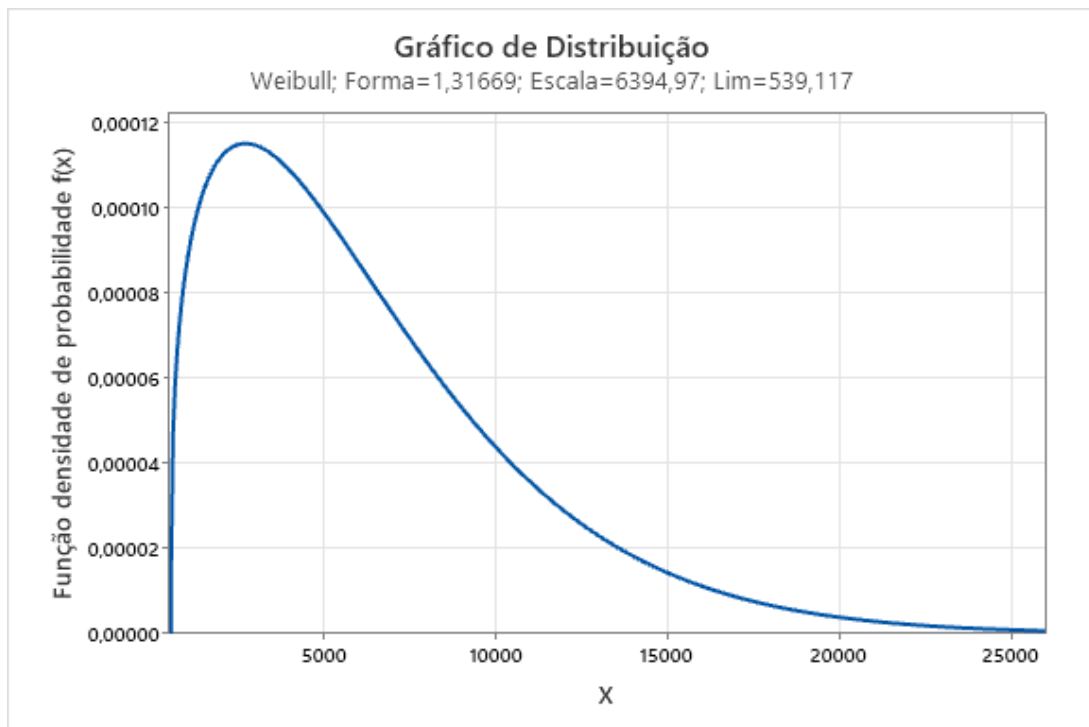


Figura 68 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTF = 539,1165 + 6394,9706 \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,3167}\right) = 6430,5013h \quad (4.25)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t - 539,1165}{6394,9706}\right)^{1,3167}} \quad (4.26)$$

A equação de confiabilidade depende do tempo e pode ser descrita pelo gráfico 69.

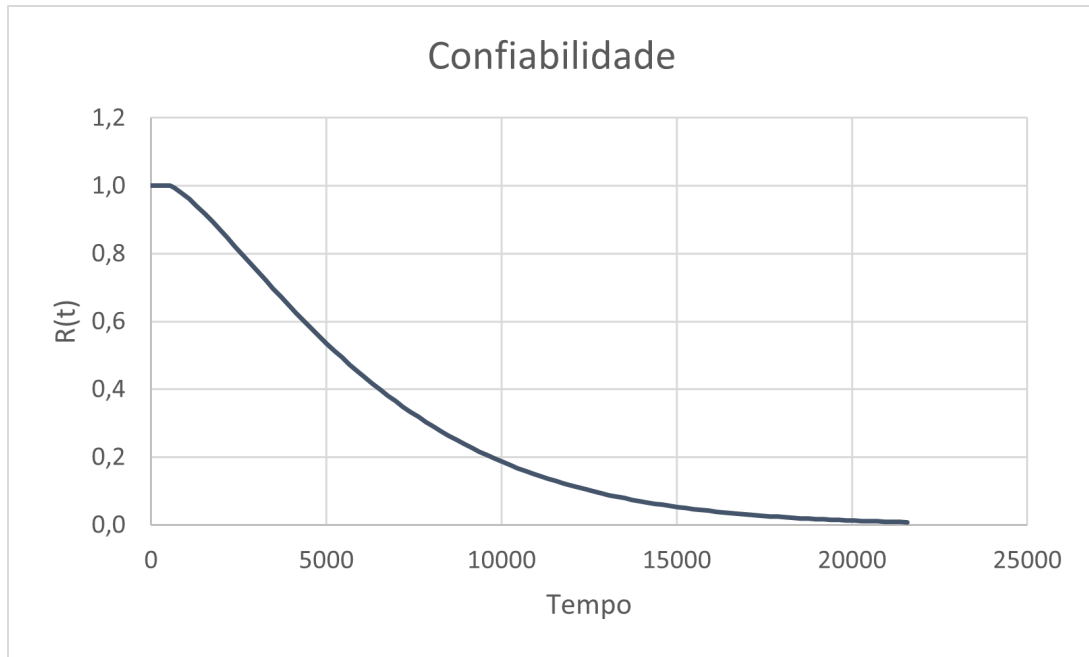


Figura 69 – Gráfico da confiabilidade

Fonte: Excel

Logo após, utilizando os valores de tempo de reparo para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 70, a tabela 46 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 48 com os parâmetros de cada distribuição.

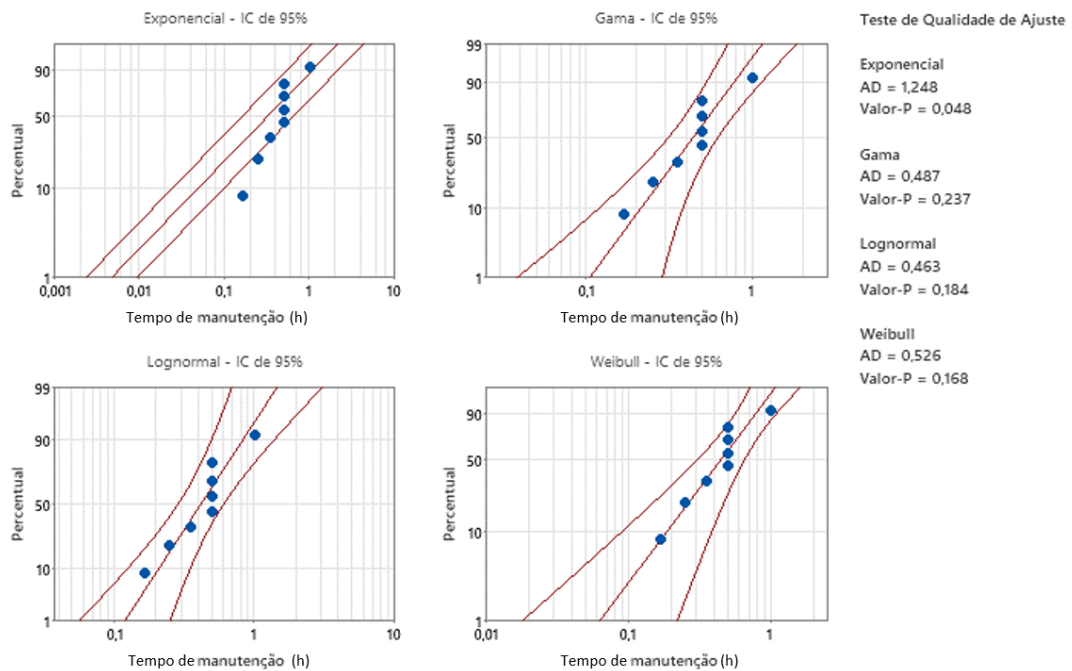


Figura 70 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 46 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	1,248	0,048	A hipótese nula é rejeitada
Gama	0,487	0,237	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,463	0,184	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull	0,526	0,168	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 71, tabela 47 com os valores dos testes de probabilidade.

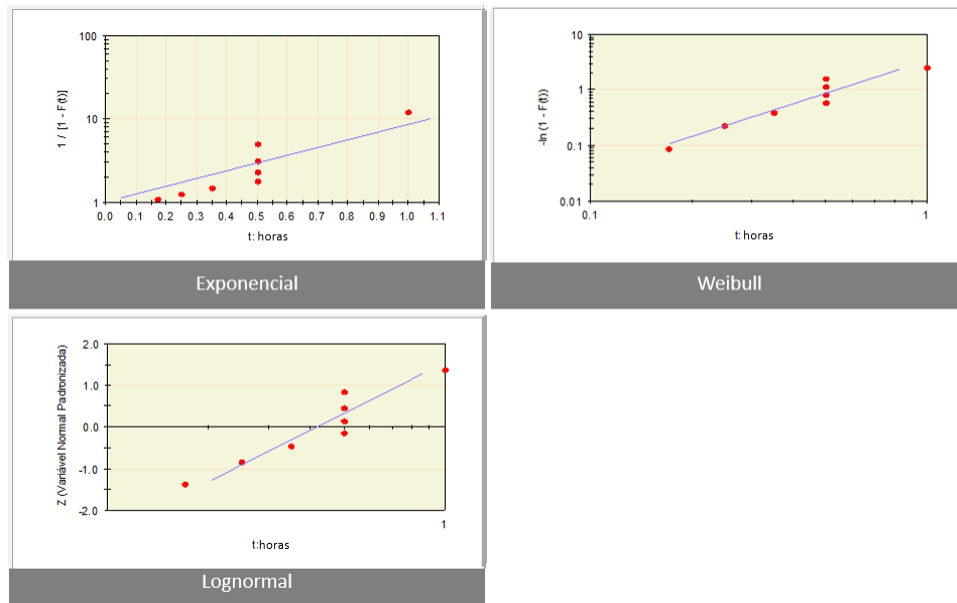


Figura 71 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 47 – Testes de aderência

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	Conclusão
Exponencial	0,0253	0,0295	A hipótese nula é rejeitada
Gama	0,1241	0,0518	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	-	-	-
Weibull	0,1166	0,1231	A hipótese nula não pode ser rejeitada

*Erro no software

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, somente a distribuição exponencial foi rejeitada no Minitab e somente as distribuições de weibull e gama não foram rejeitadas no ProConf.

Analisando os gráficos e o p-valor do Minitab, a distribuição weibull foi escolhida para essa amostra descrita na figura 72. Dessa forma, o MTTR 4.27 foi calculado utilizando a equação 2.14 e os parâmetros da distribuição da tabela 48.

Tabela 48 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 0,47083$	
Gama		$\gamma = 4,26442$	$\lambda = 0,11041$	
Lognormal	$\mu = -0,87506$		$\sigma = 0,53856$	
Weibull		$\gamma = 2,13928$	$\theta = 0,53359$	

Fonte: Produzido pela autora.

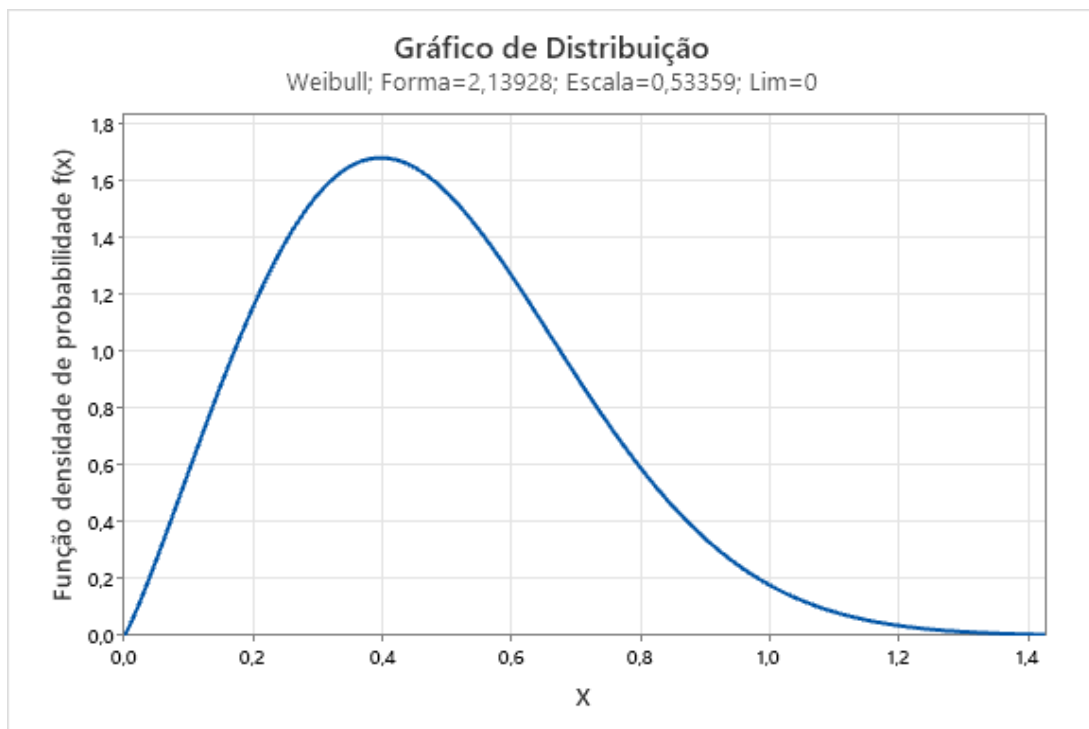


Figura 72 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTR = 0,5336\Gamma\left(1 + \frac{1}{2,1393}\right) = 0,4725h \quad (4.27)$$

Utilizando a equação 2.1 e os tempos médios anteriormente calculados, a disponibilidade do equipamento foi calculada.

$$A = \frac{6430,5}{6430,5 + 0,5} = 0,9999 = 99,99\% \quad (4.28)$$

4.4.8 Equipamento Motor 8

Utilizando os valores de tempo de operação para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 73, tabela 49 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 51 com os parâmetros de cada distribuição.

O Minitab utiliza o teste de Anderson-Darling descrito na seção 2.5.3, foi definido um nível de confiança de 95% e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Dessa forma, para que a hipótese nula não seja rejeitada, o p-valor deve ser maior que 0,05.

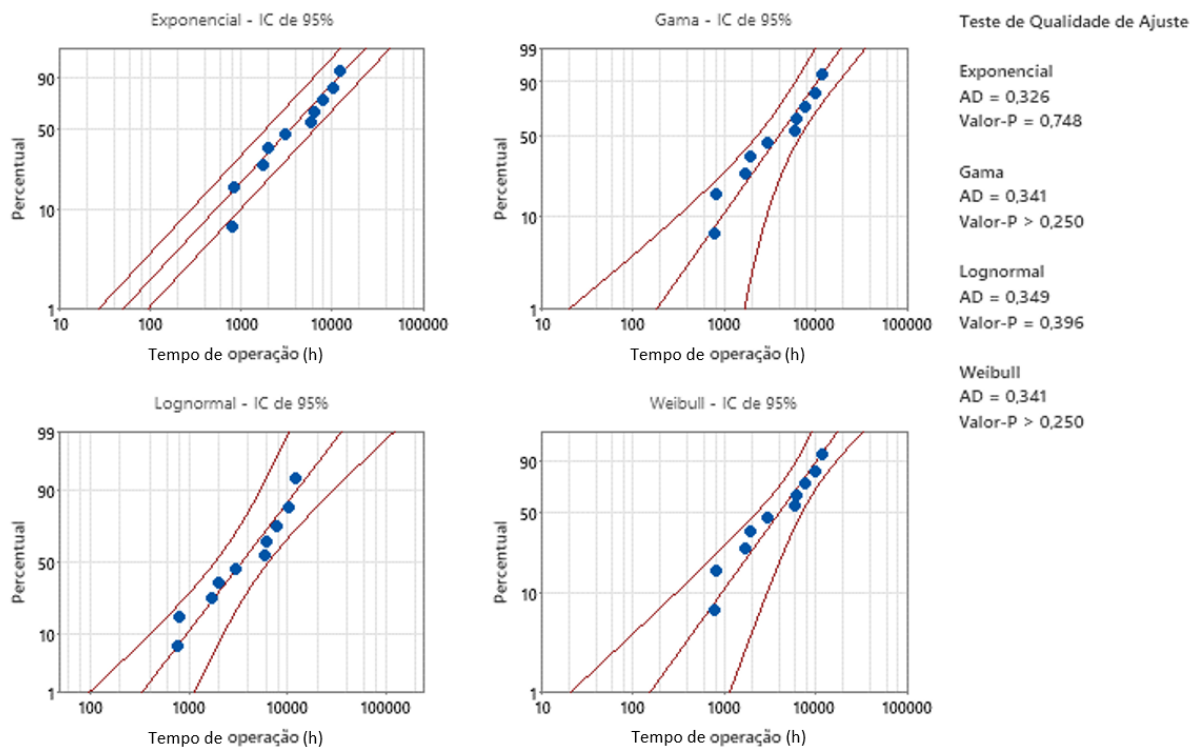


Figura 73 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 49 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	0,326	0,748	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,341	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,349	0,396	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull	0,341	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 74, tabela 50 com os valores dos testes de probabilidade.

O ProConf utiliza os testes de Kolmogorov-Smirnov e o teste qui-quadrado descritos na seção 2.5.3 e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Além disso, esse software já fornece no resultado se o teste rejeita ou não a hipótese nula.

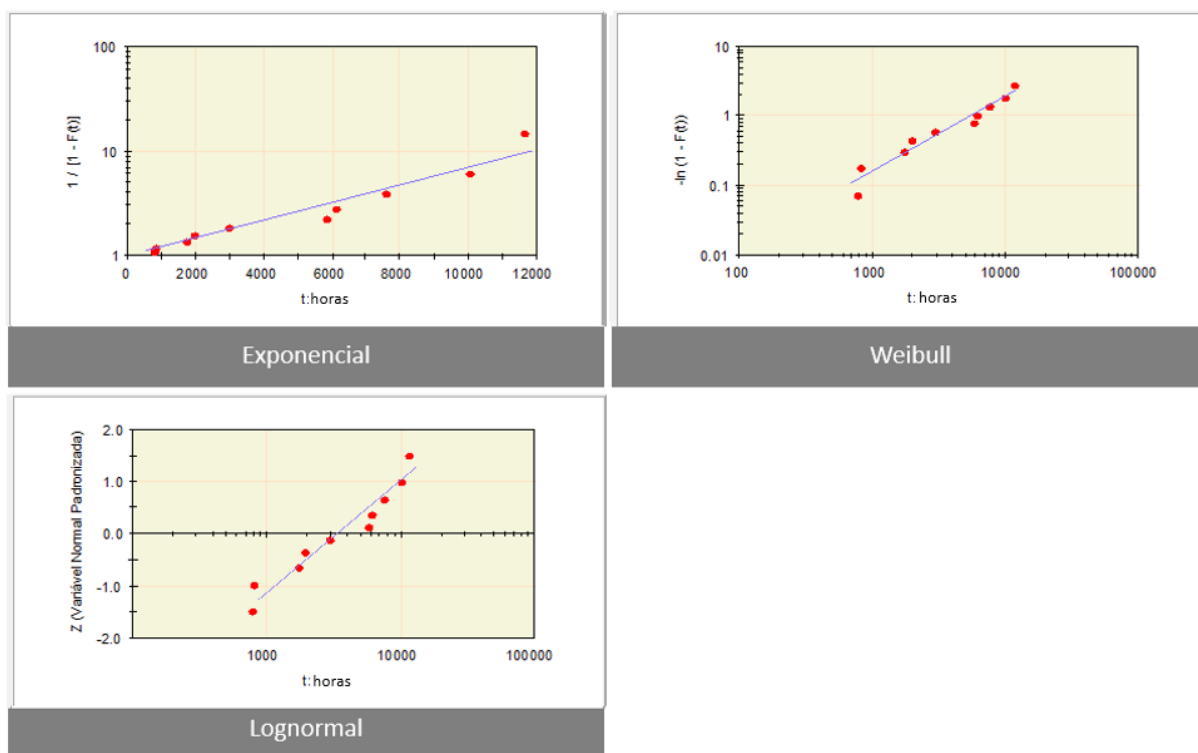


Figura 74 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 50 – Testes de aderência

Distribuição	Parâmetros dos testes		Conclusão
	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	
Exponencial	0,8784	0,2146	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,5661	0,2989	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal*	-	-	-
Weibull	0,4801	0,2262	A hipótese nula não pode ser rejeitada

*Erro no software

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, em ambos os programas todas as distribuições que puderam ser calculadas não foram rejeitadas. Dessa forma, analisando os gráficos de probabilidade, a distribuição

exponencial foi escolhida para essa amostra descrita na figura 75.

O MTTF 4.29 e a equação da confiabilidade 4.30 foram calculados utilizando as equações 2.10, 2.8 e o parâmetro da distribuição da tabela 51.

Tabela 51 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 4945,55408$	
Gama		$\gamma = 1,46326$	$\lambda = 3379,80812$	
Lognormal	$\mu = 8,12715$		$\sigma = 1,00075$	
Weibull		$\gamma = 1,28611$	$\theta = 5344,94787$	

Fonte: Produzido pela autora.

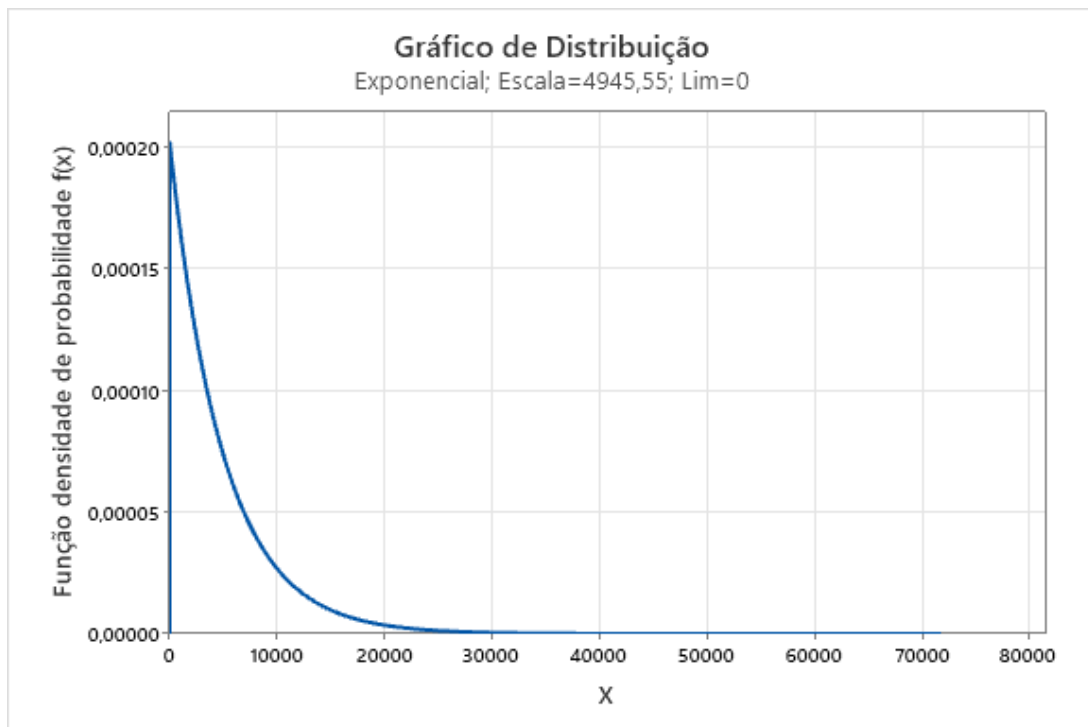


Figura 75 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTF = \frac{1}{1/4945,5541} = 4945,5541h \quad (4.29)$$

$$R(t) = e^{-0,0020t} \quad (4.30)$$

A equação de confiabilidade depende do tempo e pode ser descrita pelo gráfico 76.

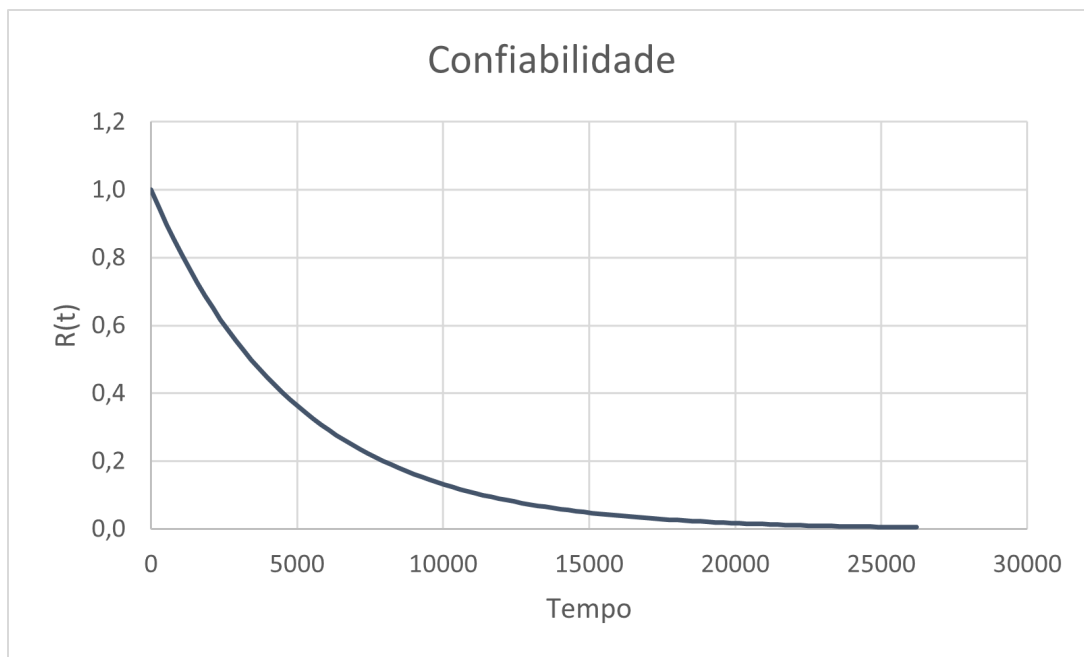


Figura 76 – Gráfico da confiabilidade

Fonte: Excel

Logo após, utilizando os valores de tempo de reparo para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 77, a tabela 52 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 54 com os parâmetros de cada distribuição.

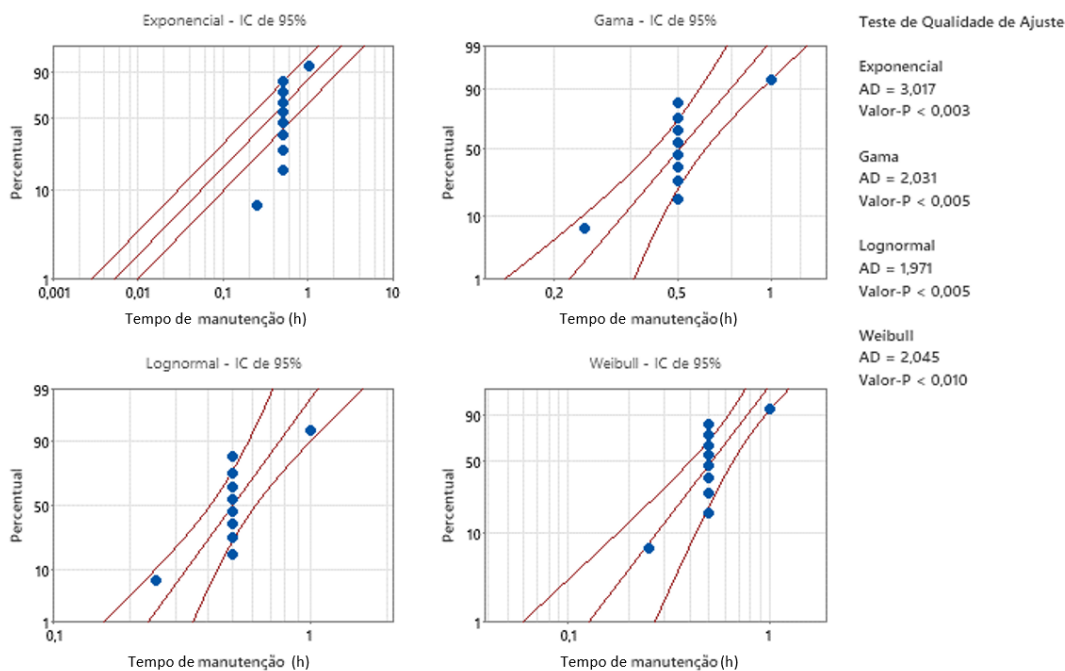


Figura 77 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 52 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	3,017	<0,003	A hipótese nula é rejeitada
Gama	2,031	<0,005	A hipótese nula é rejeitada
Lognormal	1,971	<0,005	A hipótese nula é rejeitada
Weibull	2,045	<0,010	A hipótese nula é rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 78, tabela 53 com os valores dos testes de probabilidade.

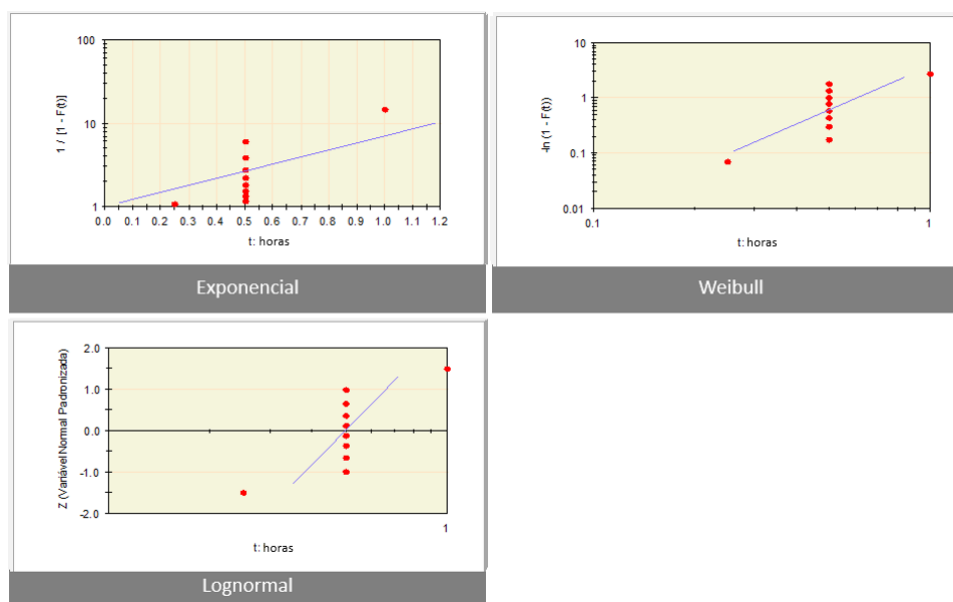


Figura 78 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 53 – Testes de aderência

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	Conclusão
Exponencial	0,0001	0,0001	A hipótese nula é rejeitada
Gama	0,0067	0,0001	A hipótese nula é rejeitada
Lognormal*	-	-	-
Weibull	0,0017	0,0001	A hipótese nula é rejeitada

*Erro no software

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, todos os testes foram rejeitados em ambos os programas. Entretanto, para ser possível fazer a análise completa do sistema, fazendo uma análise qualitativa dos gráficos de probabilidade, a distribuição weibull foi escolhida para essa amostra descrita na figura 79. Dessa forma, o MTTR 4.31 foi calculado utilizando a equação 2.14 e os parâmetros da distribuição da tabela 54.

Tabela 54 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 0,525$	
Gama		$\gamma = 10,41186$	$\lambda = 0,05042$	
Lognormal	$\mu = -0,69315$		$\sigma = 0,32675$	
Weibull		$\gamma = 2,97837$	$\theta = 0,58557$	

Fonte: Produzido pela autora.

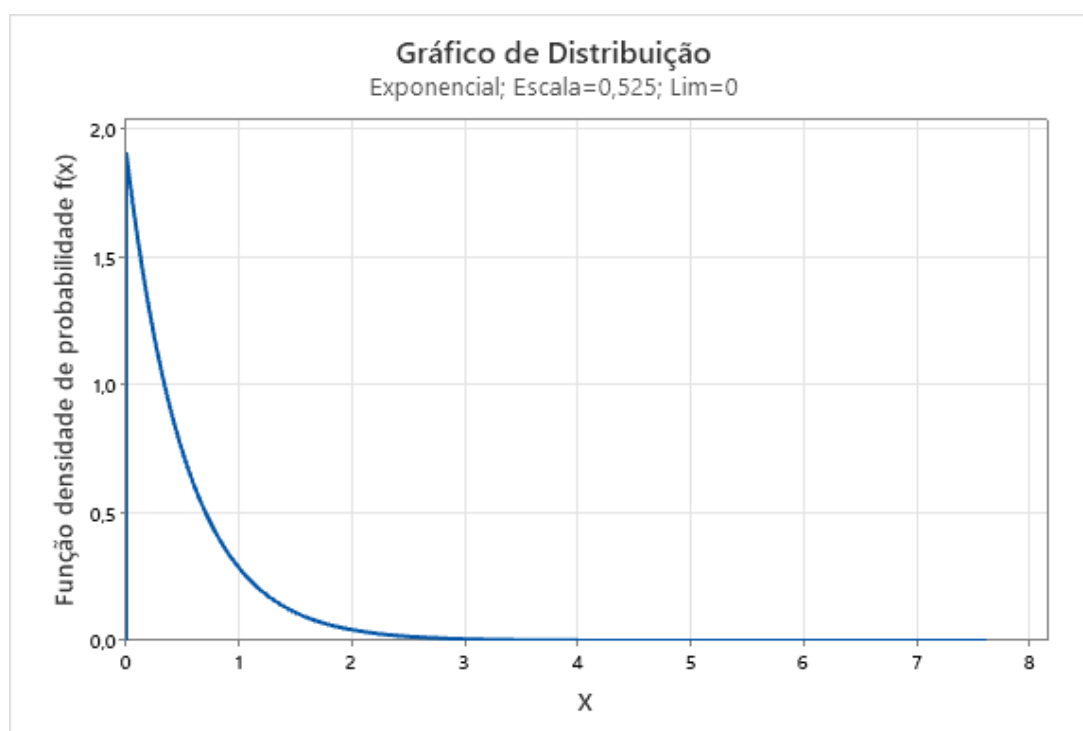


Figura 79 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTR = 0,5856\Gamma\left(1 + \frac{1}{2,9784}\right) = 0,5227h \quad (4.31)$$

Utilizando a equação 2.1 e os tempos médios anteriormente calculados, a disponibilidade do equipamento foi calculada.

$$A = \frac{4945,5}{4945,5 + 0,5} = 0,9999 = 99,99\% \quad (4.32)$$

4.4.9 Equipamento Motor 9

Utilizando os valores de tempo de operação para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 80, tabela 55 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 57 com os parâmetros de cada distribuição.

O Minitab utiliza o teste de Anderson-Darling descrito na seção 2.5.3, foi definido um nível de confiança de 95% e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Dessa forma, para que a hipótese nula não seja rejeitada, o p-valor deve ser maior que 0,05.

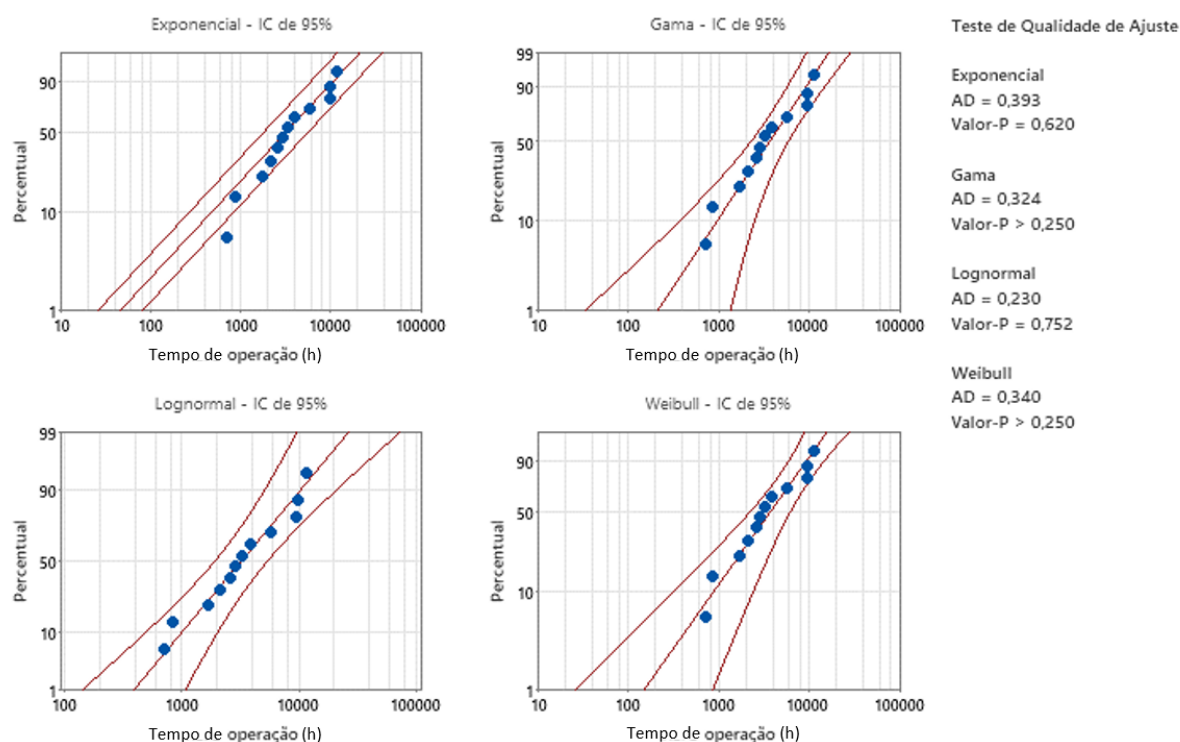


Figura 80 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 55 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	0,393	0,62	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,324	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal	0,23	0,752	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Weibull	0,34	>0,250	A hipótese nula não pode ser rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 81, tabela 56 com os valores dos testes de probabilidade.

O ProConf utiliza os testes de Kolmogorov-Smirnov e o teste qui-quadrado descritos na seção 2.5.3 e a hipótese nula é que os dados podem ser ajustados à distribuição. Além disso, esse software já fornece no resultado se o teste rejeita ou não a hipótese nula.

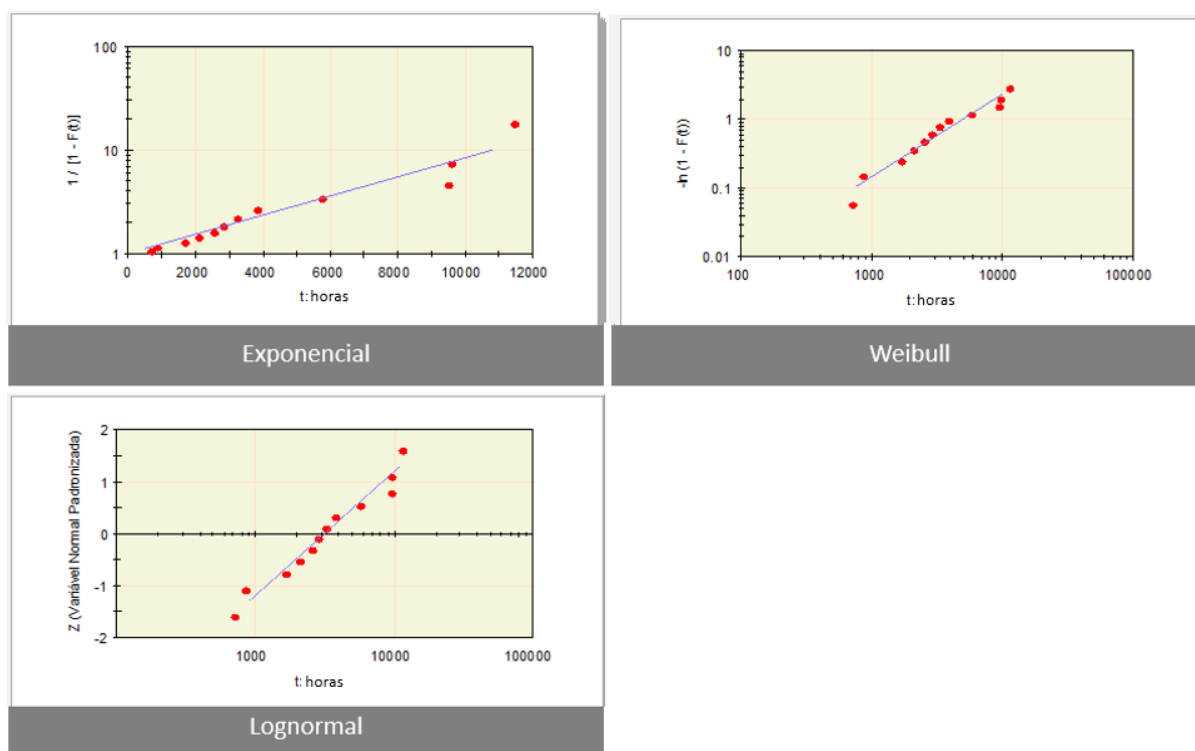


Figura 81 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 56 – Testes de aderência

Distribuição	Parâmetros dos testes		Conclusão
	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	
Exponencial	0,2621	0,2891	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Gama	0,0927	0,2878	A hipótese nula não pode ser rejeitada
Lognormal*	-	-	-
Weibull	0,0644	0,292	A hipótese nula não pode ser rejeitada

*Erro no software

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, em ambos os programas todas as distribuições que puderam ser calculadas não foram rejeitadas. Dessa forma, analisando os gráficos de probabilidade, a distribuição

weibull foi escolhida para essa amostra descrita na figura 82.

O MTTF 4.33 e a equação da confiabilidade 4.34 foram calculados utilizando as equações 2.14, 2.12 e o parâmetro da distribuição da tabela 57.

Tabela 57 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial			$\lambda = 4505,60519$	
Gama		$\gamma = 1,6049$	$\lambda = 2807,4384$	
Lognormal	$\mu = 8,0703$		$\sigma = 0,9086$	
Weibull		$\gamma = 1,3041$	$\theta = 4902,1125$	

Fonte: Produzido pela autora.

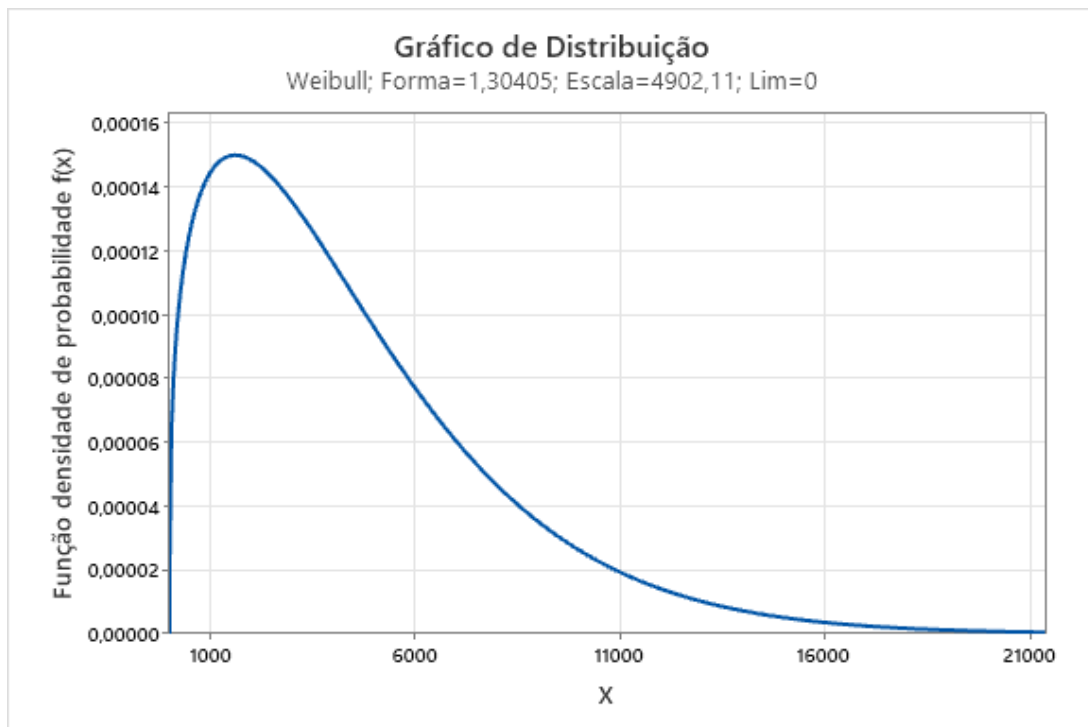


Figura 82 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTF = 4902,1125 \Gamma\left(1 + \frac{1}{1,3041}\right) = 4524,6531h \quad (4.33)$$

$$R(t) = e^{\frac{-t^{1,3041}}{4902,1125}} \quad (4.34)$$

A equação de confiabilidade depende do tempo e pode ser descrita pelo gráfico 83.

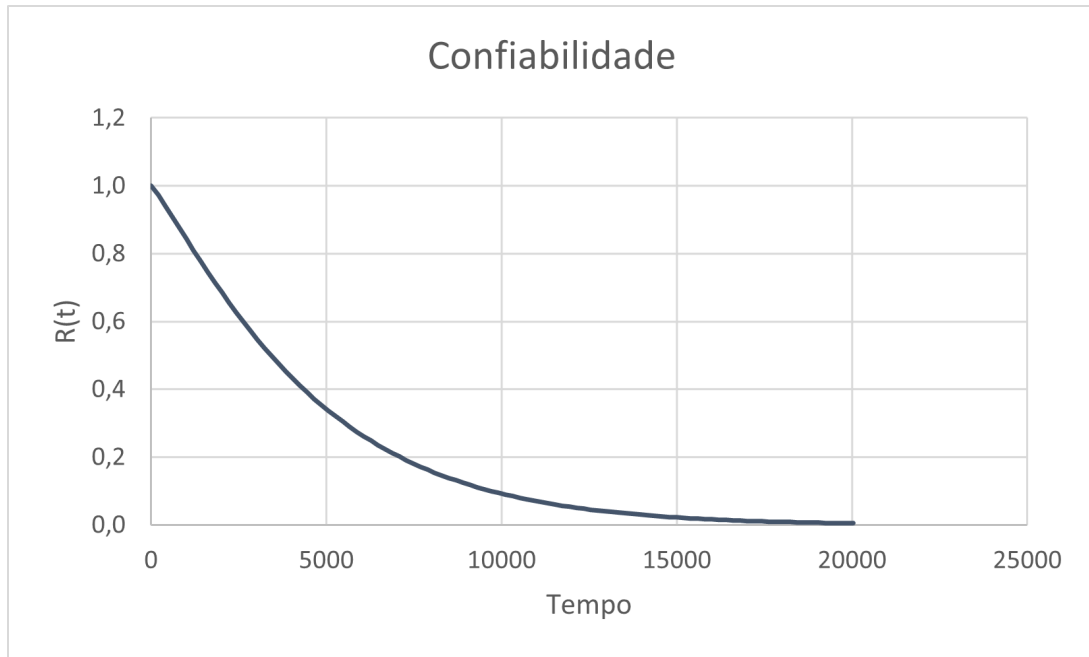


Figura 83 – Gráfico da confiabilidade

Fonte: Excel

Logo após, utilizando os valores de tempo de reparo para identificar a distribuição pelo Minitab, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 84, a tabela 58 com os valores dos testes de probabilidade e a tabela 60 com os parâmetros de cada distribuição.

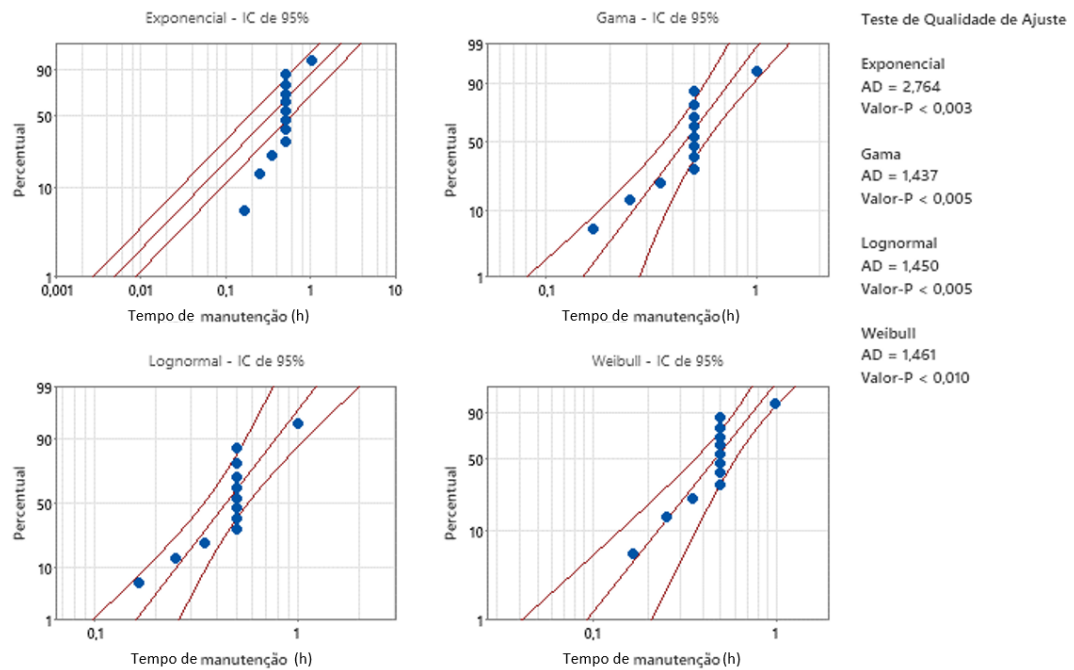


Figura 84 – Gráficos de probabilidade

Fonte: Minitab

Tabela 58 – Teste de Qualidade de Ajuste

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Anderson-Darling	P-valor	Resultado
Exponencial	2,764	<0,003	A hipótese nula é rejeitada
Gama	1,437	<0,005	A hipótese nula é rejeitada
Lognormal	1,45	<0,005	A hipótese nula é rejeitada
Weibull	1,461	<0,010	A hipótese nula é rejeitada

Fonte: Produzido pela autora.

Para validação dos resultados, o mesmo foi feito no software ProConf. Deste modo, foram criados os gráficos de probabilidade da figura 85, tabela 59 com os valores dos testes de probabilidade.

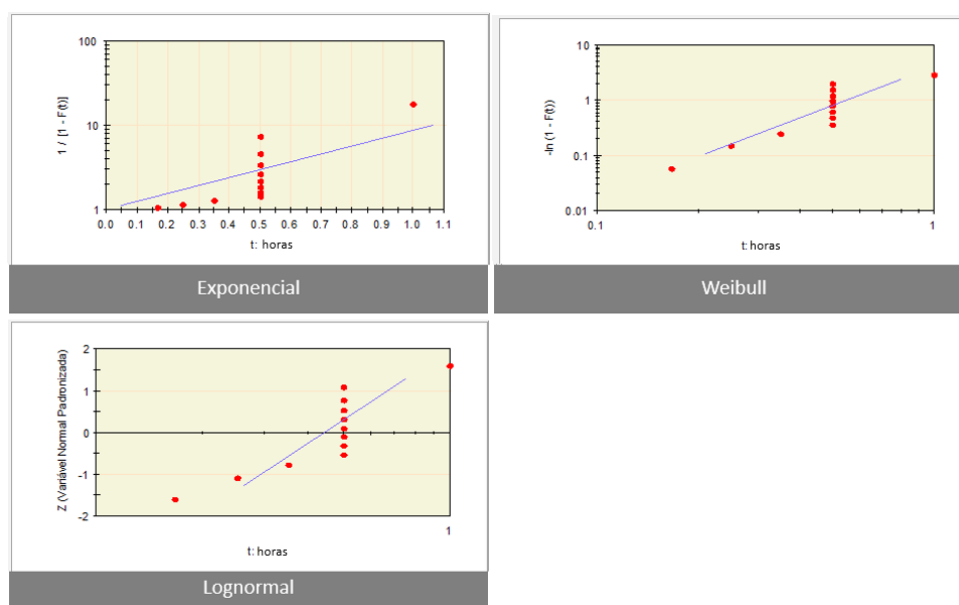


Figura 85 – Gráficos de probabilidade

Fonte: ProConf

Tabela 59 – Testes de aderência

Parâmetros dos testes			
Distribuição	Nível de Significância Qui-Quadrado	Nível de Significância Kolmogorov-Smirnov	Conclusão
Exponencial	0,0001	0,0001	A hipótese nula é rejeitada
Gama	0,0314	0,0005	A hipótese nula é rejeitada
Lognormal*	-	-	-
Weibull	0,0208	0,0005	A hipótese nula é rejeitada

*Erro no software

Fonte: Produzido pela autora.

Nesse caso, todos os testes foram rejeitados em ambos os programas. Entretanto, para ser possível fazer a análise completa do sistema, fazendo uma análise qualitativa dos gráficos de probabilidade, a distribuição weibull foi escolhida para essa amostra descrita na figura 86. Dessa forma, o MTTR 4.35 foi calculado utilizando a equação 2.14 e os parâmetros da distribuição da tabela 60.

Tabela 60 – Estimativas de MV dos Parâmetros da Distribuição

Parâmetros das distribuições				
Distribuição	Local	Forma	Escala	Limite
Exponencial		$\lambda = 0,48056$		
Gama		$\gamma = 6,28877$	$\lambda = 0,07641$	
Lognormal	$\mu = -0,81442$		$\sigma = 0,43886$	
Weibull		$\gamma = 2,59582$	$\theta = 0,54016$	

Fonte: Produzido pela autora.

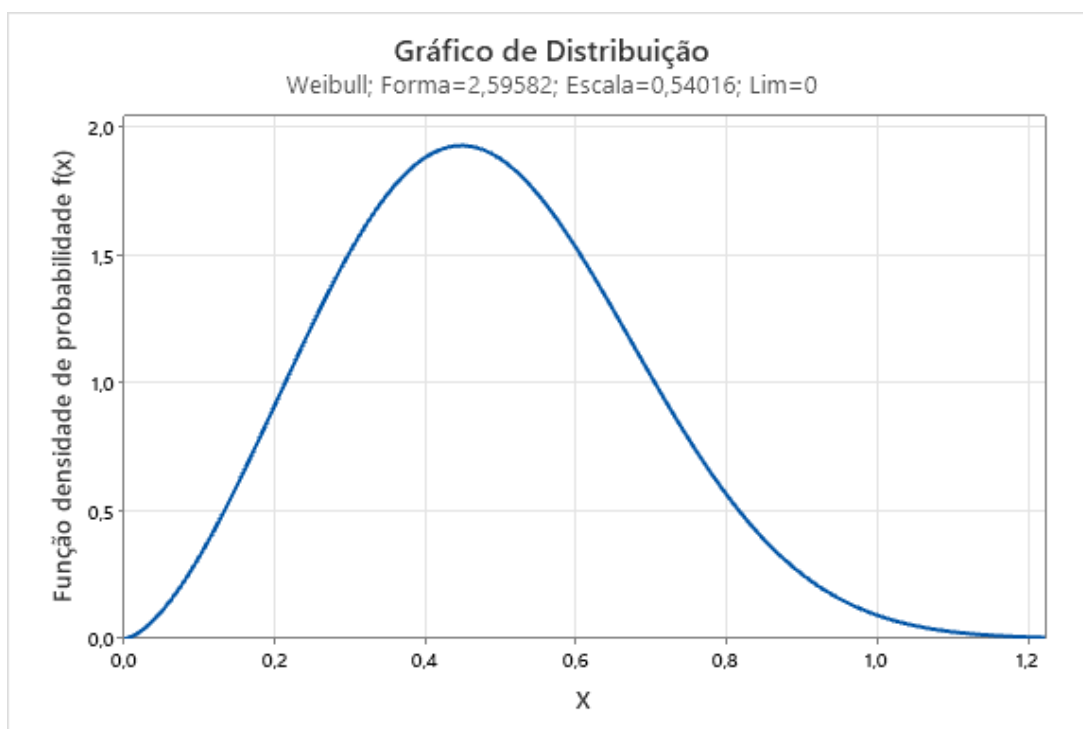


Figura 86 – Gráfico da distribuição escolhida

Fonte: Minitab

$$MTTR = 0,5402 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{2,5958}\right) = 0,4797h \quad (4.35)$$

Utilizando a equação 2.1 e os tempos médios anteriormente calculados, a disponibilidade do equipamento foi calculada.

$$A = \frac{4524,6}{4524,6 + 0,5} = 0,9999 = 99,99\% \quad (4.36)$$

4.4.10 Análise do sistema

O sistema analisado pode ser descrito pelo diagrama de blocos presente na figura 87.

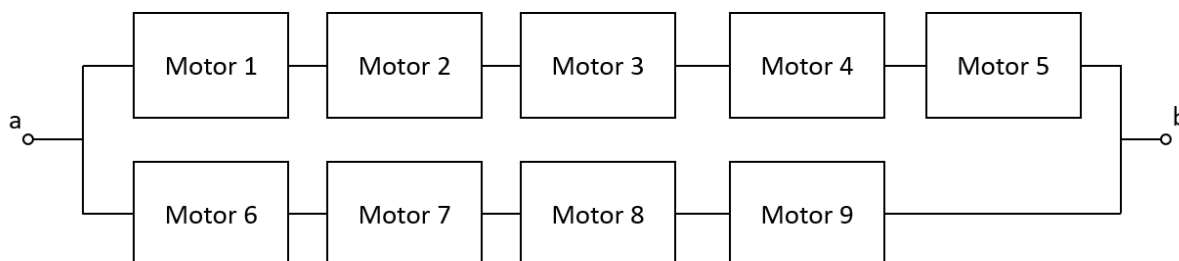


Figura 87 – Sistema de motores

Fonte: Produzido pela autora

4.4.10.1 Tempos para manutenção

No sistema escolhido todos os equipamentos são do mesmo fabricante e a tabela 61 possui o comparativo entre os tempos entre manutenções recomendado pelo fabricante dos equipamentos e o tempo médio de manutenção calculados anteriormente.

Tabela 61 – Tempos de manutenção

	Tempo em horas								
Motor	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fabricante	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
MTTF	5986	11926	3231	2607	1709	3097	6430	4945	4524

Fonte: Produzido pela autora.

No geral, os tempos médios de operação entre manutenções foram menores do que os tempos recomendados pelo fabricante.

O motor 2 operou cerca de 36% em média a mais que o recomendado, onde todas as manutenções realizadas foram preventivas como visto na figura 88.

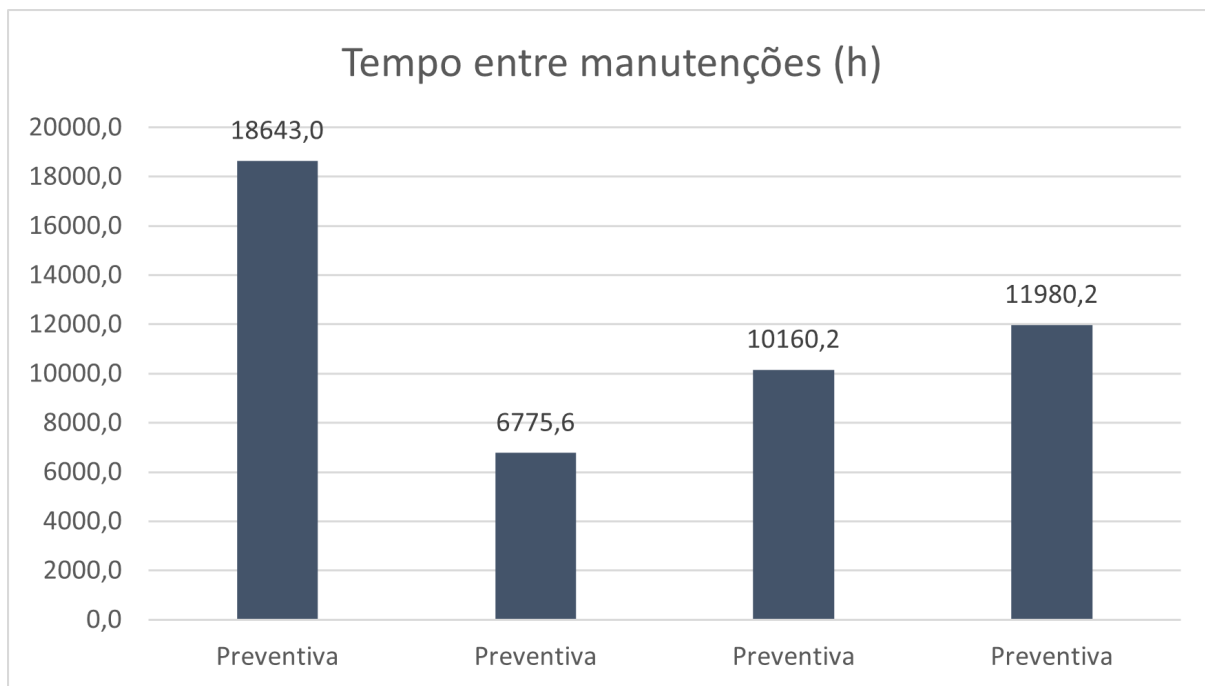


Figura 88 – Tempo entre manutenções do motor 2

Fonte: Produzido pela autora

O motor 5 operou cerca de 80% em média a menos do que o recomendado, onde cerca de 71% das manutenções mostradas na figura 89 foram realizadas em um período de 43 dias.

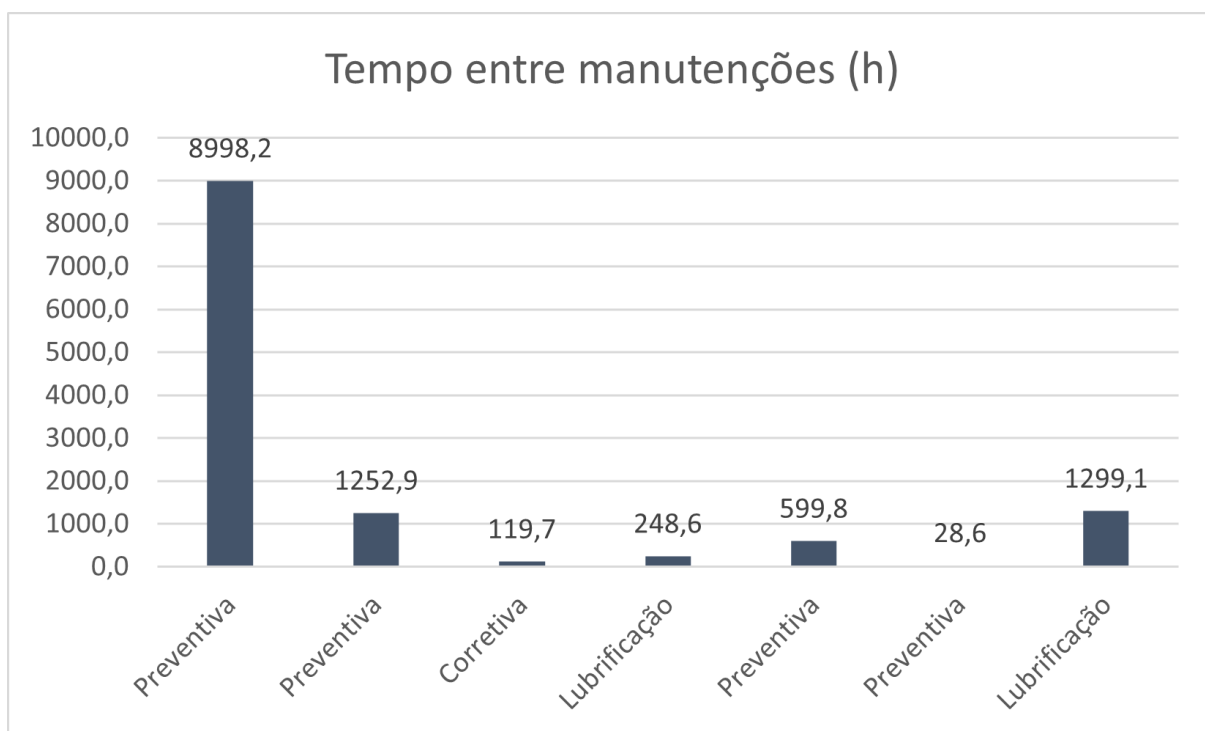


Figura 89 – Tempo entre manutenções do motor 5

Fonte: Produzido pela autora

4.4.10.2 Disponibilidade do sistema

Após a análise e cálculo das disponibilidades individuais de cada equipamento presente no sistema da figura 14 e descritos na tabela 62, foi possível calcular a disponibilidade do sistema utilizando a equação 2.5.

Tabela 62 – Parâmetros dos equipamentos

Motor	Parâmetros calculados								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Disponibilidade (%)	99,99	99,99	99,95	99,95	99,96	99,96	99,99	99,99	99,99
MTTF (h)	5986	11926	3231	2607	1709	3097	6430	4945	4524
MTTR (h)	0,7	0,6	1,5	1,2	0,6	1,2	0,5	0,5	0,5

Fonte: Produzido pela autora.

Assim, a disponibilidade do sistema é descrita na equação 4.37.

$$A = 1 - \{[1 - (0,9999 \cdot 0,9999 \cdot 0,9995 \cdot 0,9995 \cdot 0,9996)] \cdot [1 - (0,9996 \cdot 0,9999 \cdot 0,9999 \cdot 0,9999)]\} = 0,9999 = 99,99\% \quad (4.37)$$

A disponibilidade geral do sistema foi alta, pois todas as disponibilidades individuais também foram altas. Isso se deve aos motores operarem muito mais horas em comparação à duração das manutenções realizadas.

4.5 Plano de manutenção preventiva

Para que o sistema autônomo implementado crie uma nota de manutenção é necessário que os equipamentos atinjam a quantidade de horas recomendadas pelo fabricante. Entretanto, com base na análise de confiabilidade realizada na seção 4.4, novos tempos para que ocorra uma manutenção seja realizada são propostos: 90% dos tempos médios de operação calculados conforme descrito na tabela 63.

Tabela 63 – Tempos de manutenção

Motor	Tempo em horas								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tempo para manutenção	5387	10733	2908	2346	1538	2787	5787	4450	4071

Fonte: Produzido pela autora.

A análise pode ser replicada para os demais equipamentos monitorados e para eventuais novos equipamentos inseridos nesse sistema. Também essas análises podem ser anu-

almente repetidas acrescentando novas manutenções que eventualmente ocorram nesses equipamentos.

5 Conclusões

Este projeto visou a criação de um sistema automatizado para implementar um plano de manutenção preventiva baseada em horas de operação, aplicada a motores e bombas de uma fábrica de papel, evoluindo a partir da manutenção baseada em calendário e garantindo maior confiabilidade ao sistema produtivo. Para a confecção desse sistema, foram necessários diferentes *softwares*, tecnologias e conceitos, os quais foram explanados na seção de revisão bibliográfica 2.

A metodologia do sistema consistiu de: cadastro de equipamentos no *software PI System* para dar contexto aos dados em tempo real vindos do SDCD de cada equipamento analisado; criação de algoritmos para cálculo da quantidade de horas de operação dos ativos, através da linguagem Python, gerando códigos de programação que realizam *scripts* no SAP para a coleta automática de datas de manutenção e escrita automática de notas de serviço de manutenção, bem como a criação de códigos de programação, em conjunto com soluções de serviço Web, para a coleta e escrita de informações dos equipamentos previamente cadastrados no PI AF; confecção de uma RPA com fluxos automáticos e agendados para a execução desses algoritmos, interligando os diferentes *softwares* envolvidos no sistema.

Testes preliminares indicaram que o sistema está funcionando de forma satisfatória como proposto na figura 4. As datas de manutenção estão sendo atualizadas como esperado semanalmente como mostrado na seção 4 e até o momento já foram criadas corretamente 9 notas de serviço de manutenção. Dessa forma, equipamentos que estão sendo mais exigidos pelo processo estão recebendo uma maior atenção da equipe de manutenção.

Na segunda parte do trabalho, foram estudados aspectos referentes à confiabilidade dos equipamentos individualmente e do sistema que eles compõem. Esse estudo foi embasado nos dados de histórico de manutenção presentes no *software* de gerenciamento de manutenção SAP e nos dados de tempo de funcionamento desses equipamentos, de forma a agregar essa informação ao sistema desenvolvido.

De forma geral, as análises estatísticas com base nas amostras coletadas e filtradas se deram de forma satisfatória, onde em 83% das análises foi possível ajustar as amostras. Assim, obteve-se os tempos médios entre manutenções, os tempos médios de reparo, cada equação de confiabilidade dos equipamentos, bem como suas disponibilidades até o momento. Com relação ao tempo médio de operação, o motor 5 é o equipamento crítico do sistema analisado, já que possui o menor valor e com relação ao tempo médio de manutenção, o motor 3 é o equipamento crítico do sistema analisado, já que possui maior valor.

Em alguns casos, houve a dificuldade de ajustar as amostras de tempo de reparo a uma distribuição devido à existência de muitos números de horas repetidos no histórico de

manutenção. Isso ocorre em virtude desses dados serem cadastrados manualmente pelos técnicos que colocam no sistema o valor de forma arredondada e não a duração exata da manutenção que eles realizaram.

Apesar dos equipamentos serem do mesmo fabricante, devido às diferentes condições de operação e adversidades do meio que ocorrem de forma particular à cada equipamento, os tempos médios entre manutenções foram bem diferentes entre si. Além de aproximadamente 89% dos equipamentos da amostra serem menores do que o valor recomendado entre manutenções fornecido no manual pelo fabricante.

O plano de manutenção proposto possui tempos de manutenção recomendados baseado nas análises de confiabilidade realizadas e essas análises podem ser refeitas anualmente para que estejam sempre atualizadas. Dessa forma, espera-se diminuir falhas nesses equipamentos.

Referências

- ABB. **High Performance HMI**. Reproduzido no site da ABB. Acessado: 13/09/2022. Disponível em: <<https://new.abb.com/pulp-paper/abb-in-pulp-and-paper/products/control-system/pulp-paper-library>>. Citado na p. 21.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e mantabilidade. Rio de Janeiro, nov. 1994. P. 37. Acessado: 19/08/2022. Citado nas pp. 25–27, 29.
- BUENO, E. R. F. **Gestão da Manutenção de Máquinas**. Curitiba, PR, BR: Contentus, 2020. Acessado: 19/08/2022. Citado nas pp. 25, 26.
- DHILLON, B. **Engineering Maintenance: A Modern Approach**. 1. ed.: CRC Press, 2002. Acessado: 22/08/2022. Citado na p. 26.
- FLÁVIO FOGLIATTO, J. R. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro, RJ, BR: GEN - Elsevier, 2009. Acessado: 05/09/2022. Citado nas pp. 27–33.
- FLÁVIO FOGLIATTO, J. R. **Exemplo de curva da banheira**. Reproduzido no livro Confiabilidade e Manutenção Industrial. Acessado: 12/01/2022. Citado na p. 28.
- KUROSE, R. **Redes de computadores e a internet: uma abordagem top-down**. Editora Pearson, 2013. Acessado: 13/09/2022. ISBN 9788581436777. Citado na p. 20.
- MICROSOFT. **Introduction to desktop flows**. 2022a. <https://docs.microsoft.com/en-us/power-automate/desktop-flows/introduction>. Acessado: 14/09/2022. Citado na p. 24.
- MICROSOFT. **Overview of the different types of flows**. 2022b. <https://docs.microsoft.com/en-us/power-automate/flow-types>. Acessado: 14/09/2022. Citado na p. 24.
- MICROSOFT. **Visão geral dos fluxos de processos empresariais**. 2022c. <https://docs.microsoft.com/pt-br/power-automate/business-process-flows-overview>. Acessado: 14/09/2022. Citado na p. 24.
- MINITAB. **A estatística de Anderson-Darling**. 2021a. <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/20/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/the-anderson-darling-statistic/>. Acessado: 18/01/2023. Citado na p. 29.

- MINITAB. **Como a estatística de Anderson-Darling é usada para avaliar o ajuste de distribuição.** 2021b. <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/20/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/capability-analysis/supporting-topics/distributions-and-transformations-for-nonnormal-data/anderson-darling-and-distribution-fit/>. Acessado: 18/01/2023. Citado na p. 30.
- MINITAB. **Interpretar todas as estatísticas e gráficos para Teste de normalidade.** 2021c. <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/20/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/normality-test/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/>. Acessado: 20/01/2023. Citado na p. 30.
- MINITAB. **Minitab Statistical Software.** 2023. <https://www.minitab.com/pt-br/products/minitab/>. Acessado: 18/01/2023. Citado na p. 45.
- MINITAB. **O que é um teste qui-quadrado?** 2021d. <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/20/help-and-how-to/statistics/tables/supporting-topics/chi-square/what-is-a-chi-square-test/>. Acessado: 20/01/2023. Citado na p. 30.
- MINITAB. **Utilização da função de densidade de probabilidade (FDP).** 2021e. <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/20/help-and-how-to/probability-distributions-random-data-and-resampling-analyses/supporting-topics/basics/using-the-probability-density-function-pdf/>. Acessado: 20/01/2023. Citado na p. 29.
- MUNIZ, A.; RODRIGUES, A. C.; MARTINS, L.; STRAFACCI, G. **Jornada RPA e Hiperautomação.** Editora Brasport, 2022. Acessado: 14/09/2022. Citado nas pp. 23, 24.
- OSISOFT. **PI System Basics.** 2020. Acessado: 13/09/2022. Citado na p. 22.
- OSISOFT. **Asset analytics.** 2018a. <https://docs.osisoft.com/bundle/pi-server/page/asset-analytics.html>. Acessado: 13/09/2022. Citado na p. 22.
- OSISOFT. **Como os ativos são representados no PI AF.** 2018b. Reproduzido no site da OSIsoft. Acessado: 13/09/2022. Disponível em: <<https://docs.osisoft.com/bundle/pi-server/page/how-assets-are-represented-in-pi-af.html>>. Citado na p. 22.
- OSISOFT. **Event frames in PI AF.** 2018c. <https://docs.osisoft.com/bundle/pi-server/page/event-frames-in-pi-af.html>. Acessado: 13/09/2022. Citado na p. 22.
- OSISOFT. **Notification rules: Definition and scope.** 2018d. <https://docs.osisoft.com/bundle/pi-server/page/introduction-to-notifications.html>. Acessado: 13/09/2022. Citado na p. 23.

-
- OSISOFT. **Overview of AVEVA PI Vision**. 2022. <https://docs.osisoft.com/bundle/pi-vision/page/overview-of-pi-vision.html>. Acessado: 14/09/2022. Citado na p. 23.
- OSISOFT. **PI Web API overview**. 2019. <https://docs.osisoft.com/bundle/pi-web-api/page/pi-web-api-overview.html>. Acessado: 13/09/2022. Citado na p. 23.
- PI Asset Framework. <https://docs.osisoft.com/bundle/pi-server/page/pi-asset-framework-and-pi-system-explorer.html>. Acessado: 13/09/2022. Citado na p. 22.
- PI SYSTEM - Conectando dados, operações e pessoas. <https://www.osisoft.pt/pi-system>. Acessado: 13/09/2022. Citado na p. 22.
- RINNE, H. **The Weibull Distribution: A Handbook**. Boca Raton, FL: Chapman Hall/CRC, 2008. Acessado: 13/01/2023. Citado na p. 31.
- ROSÁRIO, J. **Automação industrial**. Editora Baraúna. Acessado: 13/09/2022. ISBN 9788579230004. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=YsUHLcHdbh4C>>. Citado na p. 21.
- SACOMANO, J. B.; GONÇALVES, R. F.; SILVA, M. T.; BONILLA, S. H.; SÁTYRO, W. C. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. 1. ed.: Editora Blucher, 2018. Acessado: 05/09/2022. Citado nas pp. 20, 23.
- SAP. **SAP GUI Scripting**. 2022. Acessado: 30/08/2022. Disponível em: <<https://community.sap.com/topics/gui/scripting>>. Citado na p. 27.
- SAP. **SAP.PM**. 2013. Acessado: 22/08/2022. Citado na p. 26.
- SELEME, R. **Manutenção industrial: mantendo a fábrica em funcionamento**. Curitiba, PR, BR: InterSaberes, 2015. Acessado: 17/08/2022. Citado nas pp. 24, 25.

Apêndices

APÊNDICE A – Códigos de programação

A.1 Transações PI Web API

A.1.1 Coleta dos números dos locais de instalação

`BatchListLocalPY.py`

A.1.2 Atualização dos números dos locais de instalação

`atualizadata.py`

A.1.3 Atualização do número da nota de manutenção

`attnota.py`

A.2 Transações SAP

A.2.1 Coleta última data de manutenção

`ultimadata.py`

A.2.2 Criação de nota de manutenção

`nota.py`

A.3 Fluxos de execução

A.3.1 Fluxo de atualização da última data de manutenção

`fluxo1.py`