

ESTUDO DA CONFIABILIDADE PARA CARACTERIZAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO INDUSTRIAL NO RAMO ALIMENTÍCIO

CONCEIÇÃO JANE GUEDES DE LIRA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica
Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos

**ESTUDO DA CONFIABILIDADE PARA CARACTERIZAÇÃO DE ESTRATÉGIAS
DE MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO INDUSTRIAL NO
RAMO ALIMENTÍCIO**

Brasília/DF, 29 de Abril de 2024.

**ESTUDO DA CONFIABILIDADE PARA CARACTERIZAÇÃO DE ESTRATÉGIAS
DE MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO INDUSTRIAL NO
RAMO ALIMENTÍCIO**

Dissertação submetida ao Departamento de Engenharia
Mecânica da Faculdade de Tecnologia da Universidade
de Brasília como requisito parcial para obtenção do grau
de Mestra em Sistemas Mecatrônicos.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Piratelli Filho

Brasília/DF, 29 de Abril de 2024.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

**ESTUDO DA CONFIABILIDADE PARA CARACTERIZAÇÃO DE ESTRATÉGIAS
DE MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO INDUSTRIAL NO
RAMO ALIMENTÍCIO**

CONCEIÇÃO JANE GUEDES DE LIRA

*Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Engenharia
Mecânica da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília
como parte dos requisitos necessários para a obtenção
do grau de Mestra em Sistemas Mecatrônicos*

Banca Examinadora

Prof. Dr. Antônio P. Filho, _____
ENM/FT/UnB - Orientador

Prof. Dr. Sanderson C. M. Barbalho, _____
EPR/FT/UnB – Membro Interno

Prof. Dra. Suélio R. F. Rosa, _____
FGA/UnB – Membro Externo

Prof. Dra. Carlos H. L. Quintero, _____
ENM/FT/UnB – Suplente

Brasília/DF, 29 de Abril de 2024.

Dedicatória

Dedico esta dissertação aos meus amados pais, Dona Tacy e Seu Raimundo, cujo amor, apoio e orientação foram fundamentais em cada etapa desta jornada acadêmica.

Agradecimentos

Com profunda reverência, início estes agradecimentos expressando minha gratidão a Deus, cuja orientação divina e graça foram a força motriz por trás da realização deste estudo.

Ao meu pai, Raimundo Gomes Lira pelo exemplo de homem honesto e trabalhador, por ser meu melhor amigo, meu companheiro em todas às horas e nunca medir esforços para me manter no caminho do bem. À minha mãe, Tacy Guedes de Lira, que sempre lutou por minha educação, por ser uma mãe batalhadora e por sempre me acompanhar com suas orações.

Aos meus irmãos Carlinhos, Daniel, José, Pedro, Quitéria e Raimundo, pelo apoio nos meus estudos e por sempre estarem comigo nas horas que mais precisei.

Agradeço também aos meus amigo (a) s, D. Ana, D. Cida, Dr^a Cleide, Dr^a Ludimar, Dr^a Ludimar Filho, Dr^a. Laura, Dr. Luís, Dr^a. Mayla, Dra Madalena, Dr. Niedson, Dr. Orlando, Dr Sebastião, Emanuel, Eng Denilson, Eng. Vicente, Geraldo, Jordânia, Jorge, Kelly, Keila, Lourdes, Maria, Martins, Muniza, Prof. Dra. Mirelle, Prof. Dra. Ivson, Prof. Dr. Wagner, Tia Maria, Tia Gorete pelo companheirismo.

Agradeço à secretaria do Programa e a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos da UnB (Universidade de Brasília) e da Faculdade UnB Gama. Em especial, agradeço aos professores Dr. Alberto, Dra. Suélia, Dr. Daniel e Dr. Sanderson pelas correções, ensinamentos e orientações que contribuíram significativamente para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional. Agradeço por todo o apoio e aprendizado ao longo da minha formação.

Agradeço especialmente ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Piratelli Filho, pela dedicação e orientação de ouro que foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo. Suas excelentes aulas me inspiraram e mostraram a maneira como eu gostaria de lecionar um dia.

“O temor do Senhor é o princípio da sabedoria; todos os que cumprem os seus preceitos revelam bom entendimento. A ele pertence todo louvor, pois, em Sua Luz, encontramos a verdade que guia nossas pesquisas e ilumina nosso caminho acadêmico”.

(Salmo 111:10)

RESUMO

Em um ambiente global competitivo, a manutenção desempenha um papel fundamental para a disponibilidade de equipamentos na indústria alimentícia. Este estudo busca equilibrar estratégias de manutenção para otimizar o tempo de atividade dos equipamentos, desenvolvendo um plano preventivo baseado em análises quantitativas, incluindo MTBF (Mean Time Between Failures - Tempo Médio Entre Falhas) e o MTTR (Mean Time To Repair - Tempo Médio até Reparo) e disponibilidade dos equipamentos e do sistema. Na abordagem metodológica adotada neste estudo, 11 modelos de climatizadores industriais foram analisados com base em critérios de desempenho e eficiência. Os dados históricos desses equipamentos foram usados para calcular o MTTR, MTBF e a disponibilidade. Um plano de manutenção preventiva foi elaborado com base nesses resultados. A abordagem seguiu a modelagem estatística usando o software Minitab® versão 16 e as fases do modelo de referência de análise de dados. O teste de Anderson-Darling foi utilizado para avaliar a aderência dos dados a diferentes distribuições probabilísticas. A amostra consistiu em 399 observações dos dados de tempo de reparo e tempo entre falhas. Foram detalhadas as distribuições de probabilidade, como Exponencial, Gama, LogNormal e Weibull, e a abordagem para avaliar a estratégia de manutenção preventiva. Neste estudo, explorou a importância da manutenção preventiva na indústria alimentícia, com foco na confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos de climatização. Neste estudo, são utilizados dados históricos e modelagem estatística para analisar o tempo médio entre falhas (MTBF), o tempo médio até reparo (MTTR) e a disponibilidade dos equipamentos. Desenvolveu um plano de manutenção preventiva baseado nesses tempos médios e na disponibilidade, visando otimizar a eficiência e eficácia da produção. Diante das análises realizadas, fica evidente que a implementação de estratégias de manutenção preventiva é fundamental para garantir a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos na indústria alimentícia. A modelagem estatística dos dados permitiu avaliar o desempenho dos equipamentos ao longo do tempo, possibilitando a elaboração de um plano de manutenção eficaz. Recomenda-se a continuidade dessas práticas preventivas para mitigar os impactos das falhas nos processos produtivos e garantir a qualidade e integridade dos produtos alimentícios.

Palavras-chave: Análise de Confiabilidade de Equipamentos; Manutenção Preventiva; Disponibilidade; Indústria Alimentícia.

ABSTRACT

In a competitive global environment, maintenance plays a fundamental role in the availability of equipment in the food industry. This study seeks to balance maintenance strategies to optimize equipment uptime, developing a preventive plan based on quantitative analyses, including MTBF (Mean Time Between Failures) and MTTR (Mean Time To Repair) and availability of equipment and system. In the methodological approach adopted in this study, 11 models of industrial air conditioners were analyzed based on performance and efficiency criteria. Historical data from these equipment was used to calculate MTTR, MTBF and availability. A preventive maintenance plan was developed based on these results. The approach followed statistical modeling using Minitab® version 16 software and the phases of the data analysis reference model. The Anderson-Darling test was used to evaluate data adherence to different probabilistic distributions. The sample consisted of 399 observations of repair time and time between failure data. Probability distributions, such as Exponential, Gamma, LogNormal and Weibull, and the approach to evaluating the preventive maintenance strategy were detailed. In this study, we explored the importance of preventive maintenance in the food industry, focusing on the reliability and availability of air conditioning equipment. In this study, historical data and statistical modeling are used to analyze the mean time between failures (MTBF), the mean time to repair (MTTR) and equipment availability. Developed a preventive maintenance plan based on these average times and availability, aiming to optimize production efficiency and effectiveness. Given the analyzes carried out, it is clear that the implementation of preventive maintenance strategies is essential to guarantee the reliability and availability of equipment in the food industry. Statistical modeling of the data made it possible to evaluate the performance of the equipment over time, enabling the creation of an effective maintenance plan. It is recommended that these preventive practices continue to mitigate the impacts of failures in production processes and guarantee the quality and integrity of food products.

Keywords: Equipment Reliability Analysis; Preventive maintenance; Availability; Food industry.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AD	Anderson-Darling
CM	Corrective Maintenance
CV	Coeficiente de Variação
CBM	<i>Condition-Based Maintenance</i>
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i>
CRISP-DM	<i>Cross Industry Standard Process for Data Mining</i>
DP	Desvio Padrão
EMV	Estimadores de Máxima Verossimilhança
FRC	Função de Risco Constante
FRC	Função de Crescente
FRD	Função de Risco Decrescente
IOT	<i>Internet Of Things</i>
IOS	<i>Internet Of Services</i>
MD	Mineração de Dados
MÁX	Máximo
MÍN	Mínimo
MCC	Manutenção centrada na Confiabilidade
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTF	<i>Mean Time To Failure</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PM	<i>Preventive Maintenance</i>
PCM	Planejamento do Controle de Manutenção
PMI	<i>Project Management Institute</i>
TI	Tecnologia da Informação
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TQMain	<i>Total Quality Maintenance</i>
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 - Estrutura de atividades de manutenção	24
Figura 2. 2 - Tipos de manutenção	27
Figura 2. 3 - Técnicas de manutenção	29
Figura 2. 4 - Visão geral do processo RCM	37
Figura 2. 5 - Curva P-F	39
Figura 2. 6 - Comportamentos típicos da taxa de falha ao longo do tempo.....	40
Figura 2. 7 - Combinação dos modelos de falhas	40
Figura 2. 8 - Função de confiabilidade, considerando uma distribuição normal.....	43
Figura 2. 9 - Função densidade de probabilidade, considerando uma distribuição normal...	45
Figura 2. 10 - Função de distribuição acumulada, considerando uma distribuição normal ...	47
Figura 2. 11 - Forma típica das funções de densidade de probabilidade, de sobrevivência e taxa de falha da distribuição exponencial.....	53
Figura 2.12 - Elementos Formadores da Indústria 4.0	61
Figura 3. 1 - Climatizador industrial.....	64
Figura 3. 2 - Diagrama de Blocos em Paralelo.....	64
Figura 3. 3 - Layout da Fábrica	65
Figura 3. 4 - Fases do Modelo de Referência de Análise de Dados.....	67
Figura 4. 1 - Distribuição de frequência de reparo por climatizador - Período de janeiro de 2012 à junho de 2023.....	71
Figura 4. 2 - Distribuição de frequência de falhas por equipamento - Período de janeiro de 2012 à junho de 2023	71
Figura 4. 3 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 1	72
Figura 4. 4 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 2.....	73
Figura 4. 5 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 3	73
Figura 4. 6 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 4	74
Figura 4. 7 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 5.....	74
Figura 4. 8 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 6.....	75
Figura 4. 9 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 7.....	75
Figura 4. 10 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 8.....	76
Figura 4. 11 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 9.....	76
Figura 4. 12 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 10	77
Figura 4. 13 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 11	77
Figura 4. 14 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 1	79
Figura 4.15 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 2	80
Figura 4.16 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 3	80

Figura 4.17 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 4	81
Figura 4.18 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 5	81
Figura 4.19 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 6	82
Figura 4.20 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 7	82
Figura 4.21 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 8	83
Figura 4.22 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 9	83
Figura 4.23 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 10	84
Figura 4.24 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 11	84
Figura 4. 25 - Tempo operacional (anual) por equipamento.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1 - Evolução da manutenção.....	23
Tabela 2. 2 - Abordagens da manutenção	26
Tabela 2. 3 - Comparação entre manutenção tradicional e MCC	34
Tabela 2. 4 - Etapas de implantação da MCC.....	36
Tabela 2. 5 - Tipos de Censuras.....	49
Tabela 2.6 - Pilares da Indústria 4.0.....	60
Tabela 2.7 - Levantamento de Artigos.....	63
Tabela 4. 1 - Seleção da distribuição com melhor ajuste – MTTR.....	78
Tabela 4.2 - Seleção da distribuição com melhor ajuste MTBF	85
Tabela 4. 3 - Estatísticas descritivas e EMV dos parâmetros do modelo de MTTR - Modelo Weibull.....	87
Tabela 4. 4 - Estatísticas descritivas e EMV dos parâmetros do modelo de MTBF - Modelo Weibull.....	88
Tabela 4. 5 - Disponibilidade dos Equipamentos	89
Tabela 4. 6 - Equações, disponibilidade e a confiabilidade	91
Tabela 4. 7 - Resumo dos dados de operação e coleta para equipamentos de climatização industrial	101
Tabela 4. 8 - Intervalos para cada equipamento	104
Tabela 5.1 - Probabilidade de Falha (anual).....	108

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Problemática	19
1.2. Objetivo Geral	20
1.3 Objetivos Específicos.....	20
1.4 Estrutura do Estudo	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Fundamentos da Manutenção Industrial	22
2.2 Manutenção	22
2.2.1 Necessidade da Manutenção	24
2.3 Política e os Tipos de Manutenção	25
2.4 Engenharia de Manutenção	30
2.5. Gestão de Manutenção.....	31
2.6. Impactos da Manutenção na Qualidade.....	31
2.7. PCM	31
2.8. Aplicação do PCM.....	33
2.9 Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC	33
2.9.1 Processo da <i>Reliability Centered Maintenance</i> - RCM	35
2.9.2 Falha Funcional e Curvas de Falha	37
2.10 Fundamentos da Análise de Confiabilidade	41
2.10.1 Conceito de Confiabilidade	41
2.10.2 A Função de Confiabilidade.....	42
2.10.3 Função Densidade de Probabilidade de Falhas	43
2.10.4 Função Taxa de Risco	45
2.10.5 Função Taxa de Falha Acumulada	47
2.10.6 Tempo Médio e Vida Média Residual	48
2.10.7 Tipo de Dados na Análise de Confiabilidade	48
2.10.8 Modelos Matemáticos para Análise de Confiabilidade.....	50
2.10.9 Estimação dos Parâmetros dos Modelos.....	56
2.11 Indústria 4.0	58
2.12 Estado da Arte	62

3.METODOLOGIA.....	64
3.1 Característica da Empresa.....	67
3.2 Análise dos Dados	67
3.2.1 Compreensão do Negócio	68
3.2.2 Compreensão dos Dados	68
3.2.3 Preparação dos Dados	68
3.2.4 Modelagem Estatística.....	69
4. RESULTADOS	71
4.1 Frequência de Falhas	71
4.2 Análise Gráfica Probabilísticas.....	72
4.2.1 Cálculo da Disponibilidade dos Equipamentos	88
4.3 Análise dos Resultados da Modelagem para Cada Equipamento	92
4.4 Discussão	97
4.5 Desenvolvimento do Plano de Manutenção Preventiva	101
4.6 Comparação do Resultado dos Climatizadores 6 e 10.	105
5.CONCLUSÃO.....	107
5.1 Trabalhos Futuros.....	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110

1. INTRODUÇÃO

Em um cenário globalizado e altamente competitivo, a manutenção é essencial para garantir a disponibilidade dos equipamentos e instalações.

As máquinas industriais são amplamente utilizadas, ainda assim, a manutenção é vista como um custo por muitas organizações à medida que suas atividades são consideradas como uma tarefa de manutenção simples. No entanto, na atual conjuntura de globalização econômica e competitividade, a manutenção tem revelado cada vez mais importância na questão estratégica da empresa, cujo principal objetivo é garantir a confiabilidade do equipamento (SIQUEIRA, 2014).

Com a globalização em um mercado cada vez mais competitivo, a manutenção surge como um departamento básico de uma organização como uma questão tática voltada à disponibilidade de equipamentos e instalações. Uma gestão de manutenção eficaz e a qualidade na execução dos processos em cada etapa são fundamentais para a adoção de diversas técnicas de gestão da manutenção, visando aumentar sua confiabilidade (FOGLIATTO; DUARTE, 2011).

Para Vaccaro (1997), a busca por vantagens competitivas tem sido uma das mais importantes metas administrativas e gerenciais das organizações. As vantagens competitivas, segundo Kotler e Keller (2006), consistem na capacidade de uma dada empresa apresentar uma performance diferenciada na implantação ou na melhoria de quaisquer características em seus produtos, processos ou serviços, capazes de garantir vantagens sobre suas concorrentes.

Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018, p. 39-40) explicam que as demandas por qualidade nos processos em cada etapa da execução de manutenção fazem com que sejam buscadas diferentes técnicas através da gestão da manutenção, resultando nos percentuais de confiabilidade de cada máquina ou equipamento.

Nesse contexto, organizações priorizam a gestão de manutenção e a qualidade do processo produtivo, que engloba otimizar o uso de equipamentos e garantir a segurança dos colaboradores. Esses investimentos são essenciais, pois a produtividade impacta diretamente nos custos e no faturamento, além de aprimorar a confiabilidade dos equipamentos. Tais medidas fortalecem a competitividade das organizações (SANTOS; COLOSIMO; MOTTA, 2007).

Para se manterem competitivas no mercado, as organizações necessitam vivenciar o processo de melhorias continuamente, a fim de buscar a máxima eficiência

de seus equipamentos e reduzir substancialmente as perdas geradas. Desta forma, por meio das análises de indicadores de eficiência utilizadas nas organizações, é possível visualizar e permitir o estímulo do processo de melhoria contínua na fabricação dos produtos. Sendo assim, para uma metodologia eficiente de gestão da manutenção no processo produtivo é necessário a utilização de indicadores de desempenho e performance, bem como a adoção de ferramentas para controle e detecção de falhas (BRANCO FILHO, 2006).

Atualmente, em dados ambientes industriais densamente ocupados, os sistemas de climatização são indispensáveis. Os automatizados tem crescido nas indústrias, aumentando a produtividade e a complexidade das operações. Com diversos componentes em movimento, esses equipamentos sofrem desgaste e necessitam de manutenção confiável. No entanto, nem todas as falhas tem o mesmo impacto no desempenho do sistema produtivo (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

Na indústria de produção de alimentos, essa realidade não difere. Uma falha em uma máquina ou equipamento específico pode resultar em interrupções na linha produtiva, gerando descompassos e possíveis lacunas (gaps) na produção. É importante ressaltar que, se esse intervalo resultar em uma paralisação prolongada além do previsto, isso pode acarretar em sérias consequências (TSAROUHAS, 2012).

Nesse sentido, o grande desafio para o planejamento da manutenção é a definição de quando e que tipo de intervenção deve ser feita em determinado equipamento (MENDES; RIBEIRO, 2014).

Corrêa e Corrêa (2007) argumentam que, para gerenciar confiabilidade bem como as abordagens a serem utilizadas para disponibilidade de equipamentos, é fundamental realizar previsões com base em dados históricos a partir dos padrões de comportamento. Desta forma, uma das características da Manutenção Centralizada na Confiabilidade (MCC), é de fornecer uma abordagem estruturada a fim de auxiliar na elaboração das atividades de manutenção para qualquer tipo de máquina ou equipamento para o sistema ou processo produtivo (SIQUEIRA, 2014).

Com o monitoramento de condição, é possível determinar qual é o estado do dispositivo e identificar que tipo de falha está ocorrendo ao longo do tempo. No entanto, é difícil estabelecer uma correlação precisa e prever por quanto tempo o dispositivo permanecerá disponível com base nessa análise.

No geral, a literatura sobre a MCC tem abordado aspectos mais qualitativos do

que quantitativos, contudo, Mendes (2011) recomenda métodos quantitativos que podem contribuir de forma mais eficaz para melhorar a confiabilidade dos sistemas de produção.

Vaccaro (1997) e Dias (2010) afirmam que a manutenção, confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos desempenham um papel importante para que as empresas melhorem a eficiência na produtividade de suas linhas de produção, podendo definir adequadamente as estratégias de manutenção dos métodos de gestão. Este estudo visa equilibrar a complexidade das organizações com tecnologia moderna e as ações necessárias para gerenciá-las de maneira mais confiável, garantindo um desempenho sem problemas.

O layout da fábrica é ilustrado na Figura 3.3, onde o sistema de climatização industrial está instalado. A organização deste espaço foi desenvolvida com o objetivo de fornecer uma representação visual clara da distribuição dos diferentes setores e áreas de produção, incluindo a disposição dos equipamentos de produção, áreas de armazenamento, espaços de trabalho e instalações de apoio.

Durante a implementação do Planejamento e Controle da Manutenção Preventiva (PCM) para sistemas de climatização industrial, representados na Figura 4.25, foram adotados métodos rigorosos para a coleta de dados relevantes. Esses dados possibilitaram uma avaliação precisa da eficácia do plano e da condição do equipamento, especialmente no contexto do controle biológico. A amostragem foi realizada com base nos registros de manutenção dos últimos oito anos, com ênfase particular no ano de 2012 para apresentação detalhada.

A inclusão deste, tem o propósito de oferecer uma compreensão mais clara do ambiente físico na qual o sistema de climatização opera, bem como sua integração com outras atividades e processos dentro da fábrica. Esta representação visual pode ajudar os leitores a visualizar o contexto em que a pesquisa foi conduzida e a entender melhor os desafios e considerações específicas relacionadas à manutenção do sistema de climatização neste ambiente.

A busca por novas estratégias e alternativas eficazes na produção e manutenção de equipamentos é evidente. Nesse contexto, o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) emerge como uma abordagem fundamental para auxiliar a supervisão em todas as etapas da produção. Segundo Moreira Neto (2017), a manutenção desempenha um papel importante na garantia do desempenho e da disponibilidade dos equipamentos.

Viana (2002) mostra que o método PCM é considerado o centro de toda a estrutura de manutenção. O autor apresenta que em muitas empresas brasileiras o PCM se apresenta como uma ferramenta fundamental no processo decisório, seja na produção ou nos negócios. Segundo Branco Filho (2008, p.5), o PCM é o conjunto de ações para preparar, programar, verificar o resultado da execução das tarefas de manutenção contra valores preestabelecidos e adotar medidas de correção de desvios para a consecução dos objetivos e da missão da empresa, usando os meios disponíveis.

Além disso, o plano foi elaborado com base em dados de funcionamento e reparo dos equipamentos, garantindo uma abordagem proativa e baseada em evidências para a gestão de manutenção, sendo reconhecida como uma estratégia fundamental para garantir a confiabilidade e disponibilidade. Ao identificar e corrigir potenciais problemas antes que eles causem falhas, ajuda a evitar paradas não planejadas, reduzir o tempo de inatividade e manter a eficiência operacional.

O PCM foi uma parte fundamental da estratégia de manutenção da fábrica durante o período em análise e serviu como um guia essencial para garantir a operação eficiente e confiável do sistema de climatização. Na Figura 4.25, é apresentada uma visão mais abrangente da abordagem de manutenção adotada pela fábrica durante o período de estudo.

1.1. Problemática

É muito importante encontrar um equilíbrio entre as políticas de manutenção preventiva, preditiva e corretiva que dependem do comportamento da taxa de falha de cada equipamento e do custo da falha. A análise quantitativa é essencial para entender o comportamento da taxa de falha. Mendes e Ribeiro (2014) afirmam que, desenvolver estratégias de manutenção ideais para cada peça de equipamento ajuda a aumentar o tempo de atividade e reduzir os custos para o seu negócio.

Neste contexto, considerando a importância financeira, operacional e de manutenção, a seguinte questão foi proposta no estudo: Como avaliar e melhorar a confiabilidade de equipamentos por meio de métodos analíticos na gestão da manutenção?

1.2. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um plano de manutenção preventiva inicial com base na análise da confiabilidade dos equipamentos de climatização de uma empresa da indústria alimentícia, utilizando funções de manutenção de confiabilidade e dados de funcionamento e reparo dos equipamentos.

1.3 Objetivos Específicos

Para se alcançar o objetivo geral é necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- 1) Determinação do tempo médio entre falhas (Time Between Failures - MTBF) e o tempo médio até reparo (Time To Recovery - MTTR) dos equipamentos de climatização utilizados na empresa;
- 2) Analisar a disponibilidade dos equipamentos de climatização para identificar períodos de operação eficiente e possíveis melhorias na confiabilidade;
- 3) Avaliar a disponibilidade do sistema de climatização como um todo, considerando a interação dos equipamentos e seu impacto no desempenho geral do sistema na indústria alimentícia.

1.4 Estrutura do Estudo

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, apresentados como segue:

O Capítulo 1 é voltado à introdução ao trabalho, problemática da pesquisa, objetivos da pesquisa, metodologia adotada e estrutura da dissertação;

No Capítulo 2, foi elaborada a fundamentação teórica, abordando temas relacionados à política e aos tipos de manutenção mais destacados na literatura, o desenvolvimento do plano de manutenção preventiva, conceitos e funções da confiabilidade, e por último, uma análise da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

O Capítulo 3 apresentou a proposta e as diretrizes para a abordagem metodológica e classificação da pesquisa quanto ao método científico;

No Capítulo 4 realizou-se a definição da amostra e o desenvolvimento da modelagem da análise de confiabilidade aplicada ao conjunto de equipamentos em estudo;

Por fim, o Capítulo 5 apresentou as principais conclusões da pesquisa, formulando algumas concepções e sugestões para futuras pesquisas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fundamentos da Manutenção Industrial

Kardec e Nascif (2009) defendem que o processo de manutenção teve início na década de 1930, com o aparecimento da primeira geração de manutenção antes da Segunda Guerra Mundial, quando a manutenção não era sistematizada e cabia principalmente às equipes de produção, consistindo essencialmente em serviços de limpeza, lubrificação e algumas reparações após a quebra. Porém, há muitos anos a manutenção industrial vem se alterando e se atualizando para atender e otimizar novos processos que estão se tornando cada vez mais complexos e conectados.

Existem vários tipos principais de manutenção: manutenção de reparo não programada; manutenção corretiva programada; manutenção preventiva e muito mais.

O objetivo deste capítulo é apresentar a história e a evolução da manutenção industrial. Revisar aspectos e definições relacionadas aos métodos de manutenção e os desafios correspondentes associados a cada método, com ênfase na Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).

2.2 Manutenção

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da norma NBR 5462, define manutenção pela combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item num estado no qual possa desempenhar uma função requerida (ABNT, 1994, p. 6).

A manutenção, segundo Moubray (1997) vem ao longo dos anos se destacando pela evolução de um sistema de manutenção eficiente visando o aproveitamento total das instalações, a disponibilidade plena do equipamento, assumindo cada vez mais um papel de responsabilidade sobre todo o sistema industrial, cuidando não apenas de equipamentos, mas também de plantas e construções.

Kardec e Nascif (2009) não a definem, mas informam que a manutenção tem a missão de garantir a disponibilidade da funcionabilidade das máquinas, equipamentos e instalações a fim de atender a um programa de produção determinado

pelas empresas, tendo como objetivo a preservação do meio ambiente, confiabilidade e custos adequados. Os autores demonstram que a evolução da manutenção pode ser dividida, a partir de 1940, em 5 fases: Primeira Geração, Segunda Geração, Terceira Geração, Quarta Geração e Quinta Geração como ilustra a Tabela 2.1.

Tabela 2. 1 - Evolução da manutenção

GERAÇÃO	PRIMEIRA GERAÇÃO		SEGUNDA GERAÇÃO		TERCEIRA GERAÇÃO		QUARTA GERAÇÃO		QUINTA GERAÇÃO		
	ANO	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015
Aumento das expectativas em relação à Manutenção		Conserto após a falha		Disponibilidade, crescente maior vida útil do equipamento		Maior confiabilidade Maior disponibilidade Melhor relação custo benefício Preservação do meio ambiente		Maior confiabilidade; Maior disponibilidade Preservação do meio ambiente; Segurança Gerenciar ativos Influir nos resultados do negocio.		Gerenciar os ativos; otimizar os ciclos de vida dos ativos Incluir nos resultados do negocio	
Visão quanto à falha do ativo.		Todos os equipamentos se desgastam com a idade e por isso falham.		Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira.		Existência de 6 padrões de falhas (Nowlan & Heap e Moubray)		Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F (Nowlan & Heap e Moubray).		Planejamento do ciclo de vida desde o projeto para reduzir falhas.	
Mudanças nas técnicas de manutenção		Habilidades voltadas para o reparo		Planejamento manual da manutenção Computadores grandes e lentos Manutenção preventiva (por tempo)		Monitoramento da condição Manutenção preditiva Análise de Risco Computadores pequenos e rápidos Softwares potentes Grupos de trabalho disciplinares Projetos voltados para a confiabilidade		Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição Redução nas manutenções preventivas não planejadas Análise de falhas técnicas de confiabilidade Manutenibilidade Projetos voltados, manutenibilidade e disponibilidade Contratação por resultados		Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição on e off-line Participação e efetiva no projeto, aquisição instalação, comissionamento, operação e manutenção de ativos Garantir que os ativos operem dentro de sua máxima eficiência Implementar melhorias objetivando redução de falhas; Excelência em engenharia de manutenção;	

Fonte: KARDEC; NASCIF, 2012.

Para Kardec e Nascif (2012), o contexto de uma economia globalizada e altamente competitiva impulsiona o desenvolvimento da quinta geração na evolução da gestão da manutenção. A Unidade de Alta Performance pode ser caracterizada qualitativamente pelas seguintes variáveis (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 8):

- a) Alto nível de confiabilidade;
- b) Baixo custo de manutenção;
- c) Automatizada e com controle avançado;
- d) Ecologicamente equacionada;
- e) Intrinsecamente segura;
- f) Baixa necessidade de intervenções;
- g) Atendimento à qualidade futura dos produtos;
- h) Flexibilidade operacional para atendimento das demandas do mercado, com máxima utilização das instalações;

- i) Baixo consumo energético;
- j) Uso otimizado da água;
- k) Alto nível de desempenho, com resultados otimizados.

Ainda para Kardec e Nascif (2009, p. 8), em uma implementação bem-sucedida, são fundamentais as seguintes ações:

- a) Uso de referenciais de excelência, traduzidas pela análise de mercado por meio da busca de informações do segmento do negócio;
- b) Ter um plano de ação, padrões e procedimentos que permitam atingir os referenciais estabelecidos, nas diversas fases;
- c) A aplicação do conceito, de forma integrada e abrangente, desde a fase do projeto até a plena operação da Unidade, inclusive com a necessária retroalimentação para os novos projetos.

2.2.1 Necessidade da Manutenção

Tavares, Calixto e Poydo (2005) explicam que o desgaste das máquinas ou equipamentos é inevitáveis, suas peças tendem a se desgastar, o que favorece as ocorrências de falhas e resulta na parada das máquinas, causando danos financeiros em todo o processo produtivo de uma empresa.

As empresas brasileiras estão gastando mais para manter em perfeito estado o equipamento de seu parque produtivo. Desta forma, a Figura 2.1 ilustra que, sem o suporte da atividade de manutenção bem estruturada, a competição torna-se desfavorável.

Figura 2. 1 - Estrutura de atividades de manutenção



Fonte: IPETEC (Instituto de Pesquisa Educação e Tecnologia), 2021.

De acordo com o IPETEC (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) de 2021, a estrutura de manutenção na confiabilidade inicia com a preparação, planejamento, programação, execução e análise de resultados.

2.3 Política e os Tipos de Manutenção

Atualmente as políticas de gestão nas indústrias vem apresentando resultados cada vez mais reduzidos nos estoques, processos mais simplificados e com sistemas dimensionados aproximadamente no limite de sua capacidade operacional, transformando assim a manutenção em um elemento na garantia da disponibilidade e confiabilidade das organizações.

Segundo Chung e Yun (2013) sistemas industriais sofrem desgastes devido a sua utilização e de seu ciclo de vida, gerando custos na produção, alterando a qualidade produtiva possibilitando a contextualização de acidentes. Assim, uma política de manutenção é fundamental para reduzir esses problemas.

Estabelecer uma política de manutenção adequada é uma atividade de extrema importância e muito difícil de ser colocada em prática pelo planejamento da manutenção na determinação do gerenciamento de redução de custos financeiros e com o ciclo de vida dos equipamentos das organizações.

Segundo Costa (2013) é necessário utilizar uma metodologia adequada de gestão do sistema de manutenção ao invés de restringir a política de manutenção a uma abordagem ou outra. Assim, a função da manutenção não será mais um dispêndio adicional para a empresa e poderá ser vista como um fator estratégico para a diminuição dos custos de produção.

As políticas de manutenção, segundo Kardec e Nascif (2009) visam minimizar o custo total de manutenção, reduzir o tempo de parada ou aumentar a disponibilidade do equipamento, o que acaba por refletir também nos custos da operação.

Dias (2010) relata que todos os sistemas apresentam falhas não existindo um único modo que venha a prevenir ou mesmo eliminar todas as falhas, o autor destaca ainda que não existe uma política de manutenção melhor que outra, ou seja, cada uma possui seu lugar no sistema ao qual está integrada.

As políticas de manutenções procuram potencializar a utilização dos recursos oferecidos, sejam eles tangíveis ou intangíveis. Assim, o objetivo da política de manutenção é alcançar um determinado padrão de performance a um custo mínimo para a empresa (KARDEC e NASCIF, 2009).

Conforme a evolução da manutenção ao longo dos anos, alguns métodos de manutenção foram surgindo para atendimento das necessidades a fim de atuar nas possibilidades de falhas dos componentes ou sistemas.

Segundo Kardec e Nascif (2009) existem várias abordagens adotadas para a prática da manutenção e que são classificadas conforme o método de intervenção no sistema produtivo, agindo antecipadamente à falha, posteriormente à falha ou de forma a monitorá-la. Com relação ao planejamento, a manutenção pode ser realizada de forma planejada, executada sob um tempo e condições pré-estabelecidas, ou de forma não planejada, em função da necessidade (BRANCO FILHO, 2006; SIQUEIRA, 2014).

Zaions (2003) observa que os métodos ou políticas de manutenção expressam a maneira pela qual a intervenção é realizada nos equipamentos. Alsyouf (2009), afirma que os métodos de manutenção podem assumir as abordagens ilustradas na Tabela 2.2.

Tabela 2. 2 - Abordagens da manutenção

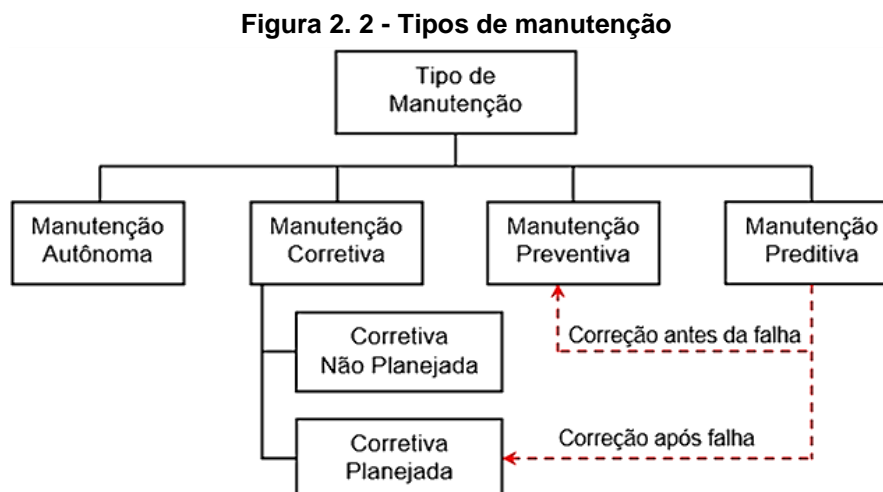
Sigla da Abordagem	Tradução em Inglês	Tradução em Português
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>	Manutenção Produtiva Total
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>	Manutenção Centrada na Confiabilidade
CBM	<i>Condition-Based Maintenance</i>	Manutenção Baseada em Condições
TQMain	<i>Total Quality Maintenance</i>	Manutenção da Qualidade Total
PM	<i>Preventive Maintenance</i>	Manutenção Preventiva
CM	<i>Corrective Maintenance</i>	Manutenção Corretiva

Fonte: ALSYOUNF (2009), adaptado por LIRA, 2023.

Para Soeiro, Olivio e Lucato (2017), as ações que envolvem a manutenção podem implicar na paralização de um componente, equipamentos ou até mesmo na parada inesperada do setor produtivo uma vez que esses equipamentos trabalham em linha de processo. Os gestores da manutenção só podem agir sobre esses tempos através da análise dos diversos elementos que intervêm nas possíveis falhas que são categorizadas em: falta de resistência, uso inadequado ou manutenção inadequada (XENOS, 1998, p. 68).

A manutenção industrial é um conjunto de atividades que visa verificar e garantir a confiabilidade e disponibilidade da função dos equipamentos (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 22-23), a fim de atender ao processo de produção ou serviços em uma determinada organização, com maior segurança aos profissionais envolvidos na etapa produtiva bem como para a sociedade como um todo. Existem seis tipos básicos

de manutenção, contudo, as mais significativas são: autônoma, corretiva (planejada e não planejada), preventiva e preditiva como ilustrado na Figura 2.2.



Fonte: KARDEC; NASCIF, 2009, p. 22-23, adaptado por LIRA, 2023

1. **Manutenção autônoma:** é a atividade de limpeza, lubrificação e pequenos reparos, sendo realizada pelo profissional responsável na operação do equipamento. Este tipo de manutenção facilita a transferência de serviços simples para os operadores, o que, certamente, gera economias substanciais, além de permitir que o pessoal de manutenção possa desenvolver atividades mais nobres, como melhoria de manutenibilidade e reengenharia de equipamentos (TAVARES; CALIXTO; POYDO, 2005);

2. **Manutenção corretiva:** é a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida (NBR 5462, 1994, p. 7). Este tipo de manutenção, para Xenos (1998, p. 23), é realizado para recuperar as características originais de componentes e equipamentos que apresentam falhas e danos que comprometem a eficiência de um processo após a ocorrência de uma pane, sendo dividida em duas modalidades: não planejada e planejada.

3. **Manutenção corretiva não planejada:** a correção da falha ocorre após a pane do componente ou equipamento, ou seja, depois da paralização inesperado do processo. Geralmente, este tipo de manutenção implica em altos custos devido a perdas na produção ou qualidade dos produtos (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 39);

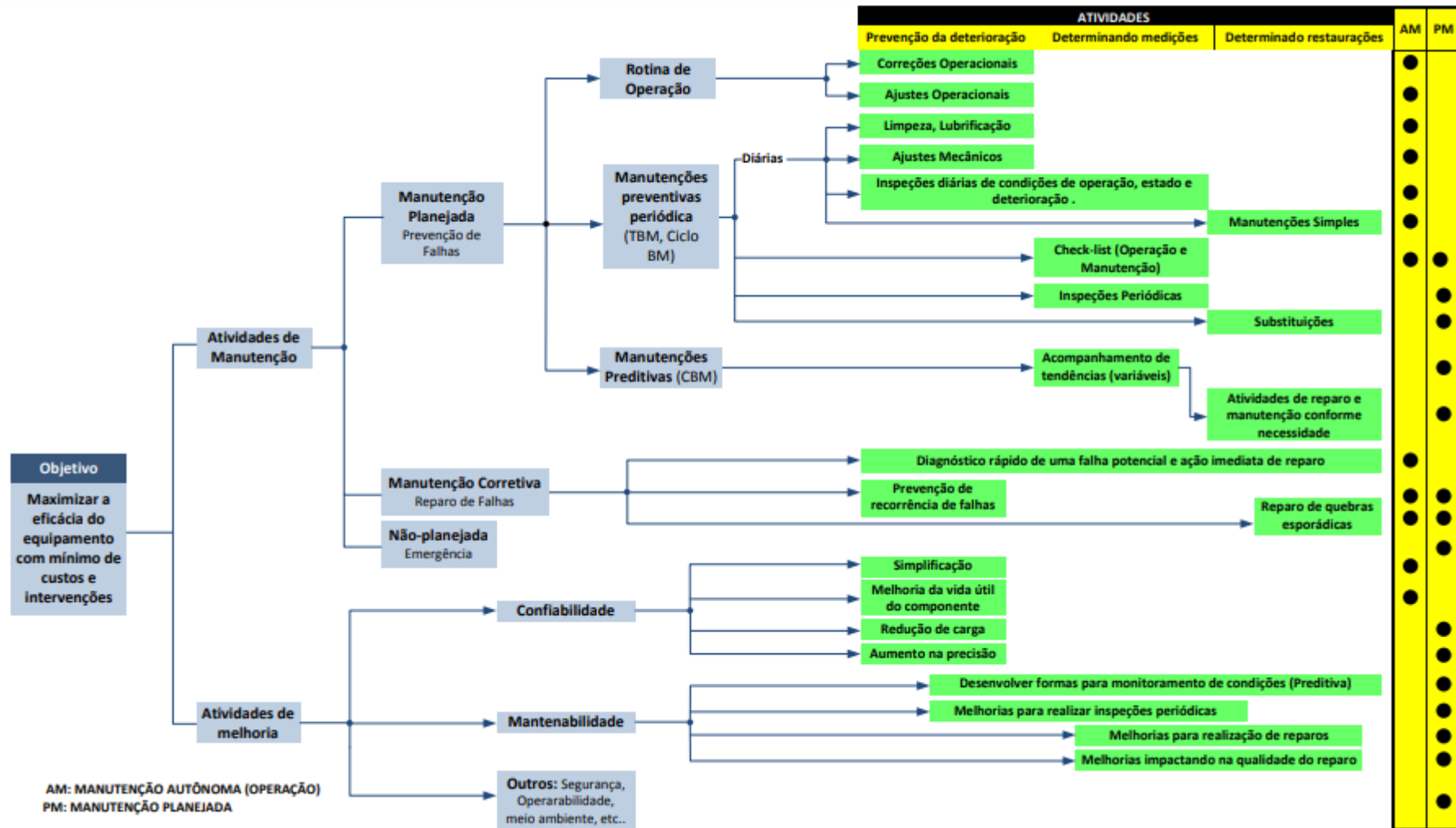
4. Manutenção corretiva planejada: correção executada em função de um acompanhamento preditivo ou pela decisão gerencial, sendo observado a eficiência do equipamento antes de uma pane. Este tipo de manutenção ocorre um planejamento que resulta em maior celeridade e menor custo das atividades (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 41);

5. Manutenção preventiva: manutenção executada de forma a reduzir ou impedir a falha ou perda do desempenho, seguindo a um plano desenvolvido com intervalo de tempo estabelecido pela organização (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018, p. 911-912). A manutenção preventiva faz com que a frequência de ocorrência de falhas diminua, a disponibilidade dos equipamentos aumenta e também diminuem as interrupções inesperadas da produção (XENOS, 1998, p. 24);

6. Manutenção preditiva: a manutenção preditiva pode ser realizada através do monitoramento da condição (SOEIRO; OLIVIO; LUCATO, 2017, p. 65). Para Tavares, Calixto e Poydo (2005, p. 97), a aplicação da manutenção preditiva pode gerar ganhos que chegam a percentuais superiores a 40% em relação à manutenção preventiva por tempo.

A escolha do método de manutenção adequado dependerá de razões técnicas e econômicas para cada equipamento ou sistema implementado na organização. Na literatura são mencionadas outras técnicas e metodologias de manutenção, podendo ser classificadas como tipos de manutenção ou inclusas nos métodos descritos acima. Contudo, todos os métodos podem ser resumidos na correção, na eliminação e na prevenção de falhas, independentemente de serem realizadas de forma planejada. A Figura 2.3 ilustra os diversos tipos de manutenção aplicada nos mais diversos segmentos de fabricação.

Figura 2. 3 - Técnicas de manutenção



Fonte: BARAN (2011, p. 26)

2.4 Engenharia de Manutenção

As atividades de manutenção estão presentes nas mais diversas organizações, e nas mais variadas formas e situações, ou seja, a forma como estão estruturadas irá depender de suas necessidades, atividades desempenhadas, no porte das empresas e nas características dos produtos ou serviços produzidos (GREGÓRIO; SANTOS; PRATA, 2018).

A engenharia de manutenção possui:

[...] uma grande importância, como fator de desenvolvimento técnico-organizacional da Manutenção Industrial. Esta área tem como objetivo o de promover o progresso tecnológico da Manutenção, através da aplicação de conhecimentos científicos e empíricos na solução de dificuldades encontradas nos processos e equipamentos, perseguindo a melhoria da manutenibilidade do maquinário, maior produtividade, e a eliminação de riscos em segurança do trabalho e de danos ao meio ambiente (VIANA, 2002, p. 82).

Viana (2002) esclarece que a equipe de manutenção é composta por um conjunto de técnicos responsáveis pelo acompanhamento da produção e manutenção dos sistemas e equipamentos que compõe o processo produtivo. Desta forma, é de grande importância que essas equipes de manutenção sejam capacitadas e qualificadas constantemente. Kardec e Nascif (2009) dissertam que um profissional que não está apto, além de gastar um tempo maior para realizar a atividade, poderá ocasionar ou incluir outros problemas nos equipamentos ou sistema produtivo. Assim, a qualificação destes profissionais estará proporcionando habilidades que estarão associadas à qualidade do serviço realizado bem como à redução do tempo de execução dos serviços.

A engenharia de manutenção nas empresas, seguindo o raciocínio de Gregório, Santos e Prata (2018) é responsável pela identificação de falhas e de suas causas, eliminando o mau desempenho de forma ágil, estratégica e eficiente. Contribui ainda no desenvolvimento de ferramentas ou procedimentos auxiliando na padronização dos processos relacionados as atividades de: engenharia de materiais; verificação de indicadores de desempenho; monitoramento das condições; criação do cronograma de manutenção; criação dos planos de manutenção; metodologia de confiabilidade na manutenção; gestão de ativos; auditoria e elaboração de relatórios de custos da manutenção; elaboração do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM); análise de falhas; gestão de gastos energéticos, entre outras atividades.

2.5. Gestão de Manutenção

Segundo Souza (2008), sobre gestão de manutenção, define:

A gestão de manutenção deve estar relacionada a todo conjunto de ações, decisões e definições sobre tudo o que se tem que realizar, possuir, utilizar, coordenar e controlar para gerir os recursos fornecidos para a função manutenção e fornecer assim os serviços que são aguardados pela função manutenção (SOUZA, 2008, p.66).

Moreira Neto (2017), afirma que a gestão da manutenção nada mais é do que um conjunto de técnicas que apresentam como principal finalidade diminuir os gastos com manutenção de forma a evitar a interrupção da produção, o que pode comprometer a qualidade dos produtos e serviços.

2.6. Impactos da Manutenção na Qualidade

Sobre os impactos da manutenção dentro da qualidade afirmam que a qualidade dos produtos, o tempo envolvido na produção e a confiabilidade, dependem em uma parte do desempenho do setor de manutenção, é possível afirmar que a manutenção realizada de forma eficaz contribui para que haja qualidade, segundo Gianese e Corrêa (2010).

2.7. PCM

Definição e importância da manutenção preventiva na indústria de alimentos, os benefícios em termos de redução de custos, aumento da confiabilidade operacional e prolongamento da vida útil dos equipamentos. As atividades abrangem inspeções regulares, lubrificação, ajustes, substituição de peças desgastadas, limpeza e calibração de equipamentos. Além disso prevê a realização de testes de desempenho e análises de falhas, visando identificar e corrigir problemas potenciais antes que afetem a operação, as mesmas são distribuídas ao longo do tempo, com diferentes periodicidades, conforme especificado, garantindo uma abordagem abrangente e proativa para a gestão de manutenção.

Almeida (2010), a manutenção preventiva tem como objetivo principal evitar a ocorrência de falhas, dessa forma as manutenções são realizadas em tempos pré-definidos.

Sobre a manutenção preventiva segundo Slack et al. (2002, p. 645), cita que: visa eliminar ou reduzir as probabilidades de falhas por manutenção (limpeza, lubrificação, substituição e verificação) das instalações em intervalos de tempo pré-planejados. Os programas que gerenciam a manutenção preventiva entendem e assumem que com o passar do tempo os equipamentos degradarão. Sendo assim, os reparos e recondicionamento dos equipamentos são planejados sob estatísticas, sendo a mais usada a curva de tempo médio para falha.

Exploração do conceito de confiabilidade de equipamentos e sua relação com a manutenção preventiva. As análises dos principais indicadores de confiabilidade, como o MTBF, MTTR e disponibilidade, e sua utilização na avaliação do desempenho dos equipamentos de climatização.

Nos métodos de desenvolvimento de PCM, a discussão das diferentes abordagens e metodologias para o mesmo e exploração de técnicas de análise de dados históricos, inspeções periódicas, análise de riscos e uso de softwares de gestão de manutenção. No Programa de Controle de Manutenção (PCM), a explicação para os valores de parada pode ser apresentada da seguinte forma: esses intervalos de manutenção programada foram estabelecidos com base no MTBF do equipamento, garantindo que as atividades de manutenção preventiva sejam realizadas em momentos estratégicos para maximizar a disponibilidade e confiabilidade operacional.

O climatizador 1, por exemplo, a disponibilidade de 98,91% indica que equipamento está operando de forma confiável na maior parte do tempo, mas ainda há espaço para melhorias, portanto, os intervalos foram definidos de forma a equilibrar a necessidade de realizar manutenção preventiva frequentes para evitar falhas com o objetivo de maximizar o tempo de operação.

Essa explicação no PCM mostra claramente o MTBF do climatizador 1 e a disponibilidade associada aos 11 equipamentos. Além disso, fornece uma lista dos intervalos representam os pontos em que a manutenção deve ser realizada para garantir o funcionamento confiável e evitar falhas inesperadas que possam levar a paradas não planejadas na produção e assim são para os demais climatizadores.

A discussão sobre essa abordagem destacou suas vantagens, como flexibilidade na programação, e desafios, como a necessidade de gerenciamento

cuidadoso, onde a estratégia há uma alternativa eficaz as tradicionais de programação fixa as falhas desses equipamentos.

Tem uma descrição mais detalhada da Figura 3.3 referente ao layout da fábrica, destacando a distribuição dos diferentes setores e áreas de produção, serve como um elemento para contextualizar o ambiente físico no qual o sistema de climatização opera, fornecendo uma compreensão mais clara das condições específicas enfrentadas na implementação da manutenção preventiva e especialmente no contexto do controle biológico.

2.8. Aplicação do PCM

Antes da implantação do PCM no ano de 2013 a indústria totalizou cerca de 31 mil paradas de máquinas não planejadas. No ano de 2014 a indústria passou pela troca de gestão, a qual implementou o PCM, que trouxe melhorias e melhor controle nas paradas das máquinas. Vale ressaltar que os estudos de Damas et al. (2018), considerou os indicadores relacionados a manutenção corretiva e preventiva.

Os estudos apontam que após a implantação do PCM as paradas de máquinas foram reduzidas para 2500, o equivalente a 90%. Esse resultado também é oriundo da transformação de paradas não planejadas para planejadas. Nagai, Batista e Dagnoni (2015), realizaram estudos para verificar os resultados obtidos após a implantação do PCM em uma planta de envase Arla 32. Os estudos apontam que antes da implantação do PCM as linhas de envase apresentavam paradas com grande frequência, e sofreu importantes mudanças depois da implantação do PCM.

2.9 Manutenção Centrada na Confiabilidade - MCC

King e Magid (1979, p.197), definem confiabilidade como a probabilidade de que parte de um equipamento ou componente desempenhe uma função como pretendido por um dado período de tempo em um determinado ambiente.

Tradicionalmente, as classificações dos métodos de manutenção são formadas por um conjunto de passos bem definidos realizadas e desenvolvidas em função da forma de planejamento das atividades e em função dos objetivos dos métodos aplicados, os quais precisam ser seguidos em forma sequencial a fim de atender os requisitos especificados pela MCC, garantindo assim os resultados desejados.

A MCC, segundo Moubray (1997, p. 7), é um método para desenvolver e selecionar projetos alternativos de manutenção, baseados em critérios econômicos, de segurança e operacionais, utilizando perspectiva do sistema para análise das falhas das funções e das prevenções das falhas.

Fogliatto e Ribeiro (2011), afirmam que a confiabilidade é a probabilidade de um produto ou serviço operar corretamente, isto é, de desempenhar satisfatoriamente a função requerida durante um especificado período de tempo sob condições de operação estabelecidas sem que apresente falhas. A confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo (NBR 5462, 1994, p. 3).

Garza (2002), em sua dissertação, traz afirmações que a MCC determina a estratégia eficaz de manutenção tendo como objetivo a redução das consequências e efeitos significantes de uma falha, sendo priorizado as deficiências do processo de produção e não do componente ou equipamento de maneira isolada.

A MCC teve sua origem na indústria aeronáutica americana, contudo, Kardec e Nascif (2009, p. 105-107), relatam que seus conceitos e técnicas são aplicáveis a outros setores da indústria, assegurando que os equipamentos de uma planta fabril cumprirão suas funções especificadas. O principal objetivo da MCC é criar uma rotina de manutenção estratégica que preserve funções, sistema e equipamentos de forma efetiva e com custos aceitáveis (VIANA, 2002).

Além de introduzir um novo conceito de manutenção, Garza (2002), explana que a MCC tem como base novos objetivos para a tomada de ações, apresentando um novo foco para as técnicas de manutenção. O Tabela 2.3 apresenta uma comparação entre a manutenção centrada na confiabilidade e o modelo tradicional de manutenção aplicado em diversas indústrias.

Tabela 2.3 - Comparação entre manutenção tradicional e MCC - Continua

Características	Manutenção tradicional	Manutenção Centrada na Confiabilidade
Foco	No equipamento	Na função
Objetivo	Em manter o equipamento	Em preservar a função
Atuação	No sistema	No componente
Atividades	No que deve ser realizado	No que deve ser realizado

Tabela 2.3 - Comparação entre manutenção tradicional e MCC- Final

Características	Manutenção tradicional	Manutenção Centrada na Confiabilidade
Dados	Com pouca relevância	Muita relevância
Documentação	Reduzida	Obrigatória e organizada
Metodologia	Baseado na experiência	Fortemente estruturada
Combate	Nas falhas	Consequências das falhas
Normalização	Não aplicável	Sim
Priorização	Inexistente	Por função

Fonte: SIQUEIRA (2014), adaptado por LIRA, 2023.

Para Fogliatto e Ribeiro (2011), a correta implementação da MCC proporciona maior segurança humana e proteção ambiental, melhoria do desempenho operacional em termos de quantidade e qualidade do produto e serviço, maior efetividade do custo de manutenção, aumento da vida útil dos itens mais onerosos, desenvolvimento de um banco de dados sobre a manutenção, motivação dos colaboradores envolvidos com a manutenção e consequentemente na melhoria do trabalho em equipe. Desta forma, os autores afirmam que com estes resultados pode ser esperado a demonstração do quanto a implantação da MCC pode trazer vantagens para uma organização, sendo possível identificar e concentrar os esforços do time de manutenção no foco do problema, fazendo com que seja evitado gasto em esforços indevidos (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

2.9.1 Processo da *Reliability Centered Maintenance* - RCM

A RCM não é um procedimento autônomo, mas sim uma parte que complementa as ações e programas da manutenção (VIANA, 2020). Segundo Moubray (1997), a metodologia RCM responde, com base no sistema ou processo em análise, sete questões de forma sequencial, que de forma integrada centra-se nas funções das instalações e equipamentos, nas consequências de falhas e nas medidas para prevenir ou lidar com a falha funcional.

1. Quais são as funções e padrões de desempenho da planta?
2. De que maneira falha em cumprir as suas funções?
3. O que causa cada falha funcional?
4. O que acontece quando ocorre cada falha?
5. Qual a importância de cada falha?

6. O que pode ser feito para prever e prevenir cada falha?
7. O que deve ser feito se uma tarefa proativa adequada não puder ser encontrada?

Desta forma, a metodologia utiliza uma sequência estruturada de etapas estratégicas de manutenção preventiva, corretiva e técnicas de manutenção preditiva, a fim de obter um melhor equilíbrio entre as estratégias utilizadas, com o objetivo de alcançar uma performance mais adequada maximizando a confiabilidade dos equipamentos minimizando os custos relativos ao ciclo de vida dos equipamentos (VIANA, 2020; MOUBRAY, 1997).

Para uma introdução bem sucedida de tais mudanças é importante que a gestão demonstre seu compromisso com as mesmas, possivelmente na forma de uma declaração política e envolvimento pessoal e que sejam tomadas medidas para estabelecer também o envolvimento daqueles que serão afetados (XENOS, 1998). A RCM apresenta bons resultados quando aplicada diretamente na operação e manutenção de instalações e equipamentos de baixo para cima da linha hierárquica (VIANA, 2020).

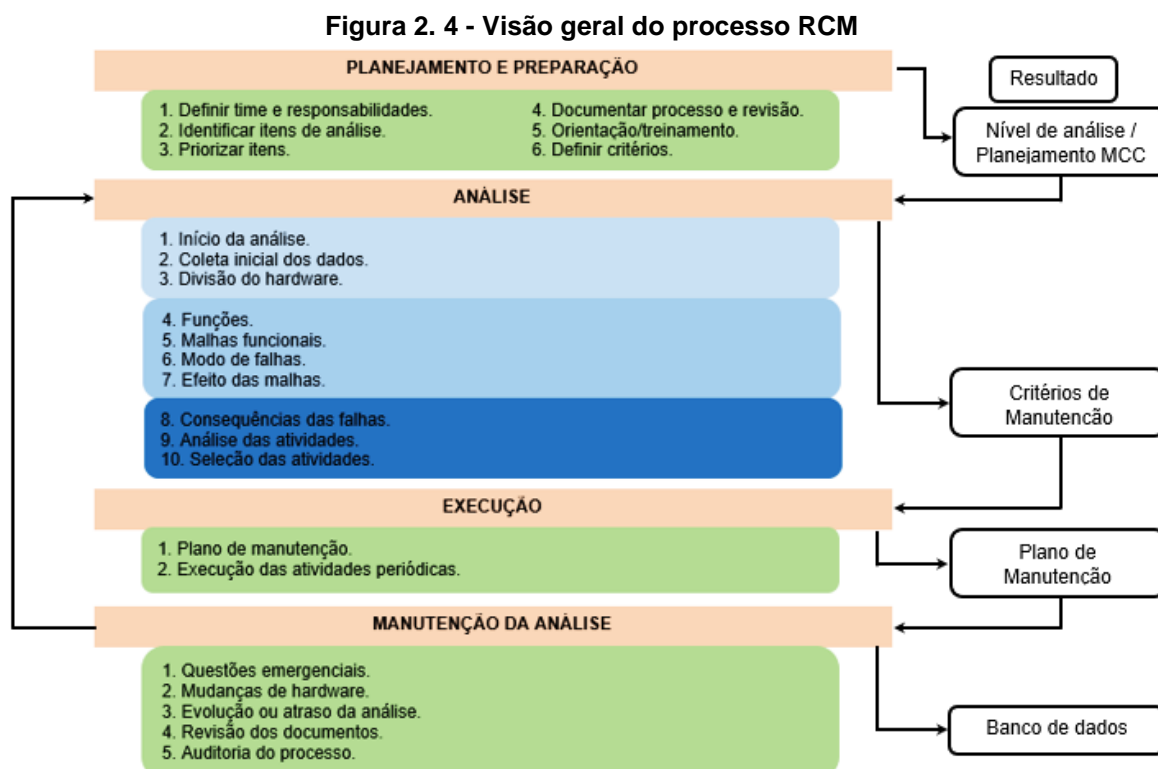
Segundo Smith; Hinchcliffe (2004), as etapas do processo de implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade são divididas em sete etapas como ilustrada no Tabela 2.4:

Tabela 2. 4 - Etapas de implantação da MCC

Etapa	Descrição	Característica
1	Identificação das Funções do Sistema	Proporcionar maior segurança operacional relacionadas aos possíveis riscos de falhas.
2	Análise dos Modos de Falha e Efeitos	Potencialização do desempenho operacional e das melhorias práticas de manutenção para garantir a disponibilidade e reduzir o tempo de reparo do processo.
3	Seleção das Funções Significantes	Promover maior eficiência na relação custo-benefício do capital investido na manutenção.
4	Seleção das Atividades Aplicáveis	Reduzir o volume de trabalho de rotina bem como as atividades emergenciais.
5	Avaliação da Efetividade das Atividades	Aumentar a vida útil dos equipamentos uma vez que a linha necessita operar de forma eficaz.
6	Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas	Disponibilizar um banco de dados de manutenção com um número maior de informações possibilitando tomadas de decisões para os setores operacionais, inspeção e projeto.
7	Definição da Periodicidade das Atividades	Motivar e envolver toda a equipe nas análises e soluções dos problemas relacionados com a manutenção.

Fonte: SMITH; HINCHCLIFFE (2004). Adaptado por LIRA, 2023.

Desta forma, a Figura 2.4 ilustra os processos de análise e possíveis ligações presentes em cada etapa da implantação da MCC.



Fonte: Leverette (2006, p. 24). Adaptado por LIRA, 2023.

Kardec e Nascif (2009) afirmam que a RCM fornece uma compreensão completa das funções do sistema, dos requisitos funcionais, das falhas funcionais e causas, bem como das consequências funcionais, atuando diretamente na política ou forma de atuação da manutenção, influenciando diretamente nos aspectos vitais do empreendimento, assim a RCM deve ser aplicada nos sistemas ou equipamentos mais importantes prioritariamente, aqueles que geram maior retorno ou cuja falha implica em maiores custos.

2.9.2 Falha Funcional e Curvas de Falha

O propósito da manutenção é prevenir possíveis falhas e repará-las quando vierem a ocorrer, desta forma é imprescindível entender e conhecer as formas como os sistemas falham. Para a MCC, esta metodologia assim como o processo de identificação e documentação das funções, são componentes essenciais para o sistema (SIQUEIRA, 2005).

Segundo a norma ABNT NBR 5462 (1994, p. 3), defeito é qualquer desvio de

uma característica de um item em relação aos seus requisitos que, não necessariamente gera o fim da capacidade de desempenhar sua função, a norma conceitua ainda que, falha é o da capacidade de um item desempenhar sua função requerida (ABNT NBR 5462, 1994, p. 3), contudo o componente ou equipamento pode estar degradado ou até mesmo com algum tipo de dano e ainda não causar falhas.

Na MCC as falhas são classificadas mediante os efeitos que provocam na função do sistema, sendo classificadas em funcionais ou potenciais.

A falha funcional pode ser definida como a incapacidade de um equipamento desempenhar suas atividades operacionais previstas conforme parâmetros especificados pelo projeto ou limites desejáveis, após determinado número de ciclo de vida (MOUBRAY, 1997).

As falhas potenciais apresentam uma condição identificável e mensurável do potencial de uma falha funcional ou seu processo de ocorrência (MOUBRAY, 1997). Esta conceitualização é justificável uma vez que muitas falhas não ocorrem de forma imediata, mas se devolvem ao longo de um determinado período do tempo (XENOS, 1998).

Kardec e Nascif (2009), afirmam que a RCM aborda o gerenciamento das falhas da seguinte forma:

- COMO o item pode falhar.
- O QUE pode causar a falha.

De acordo com Kardec; Nascif (2009):

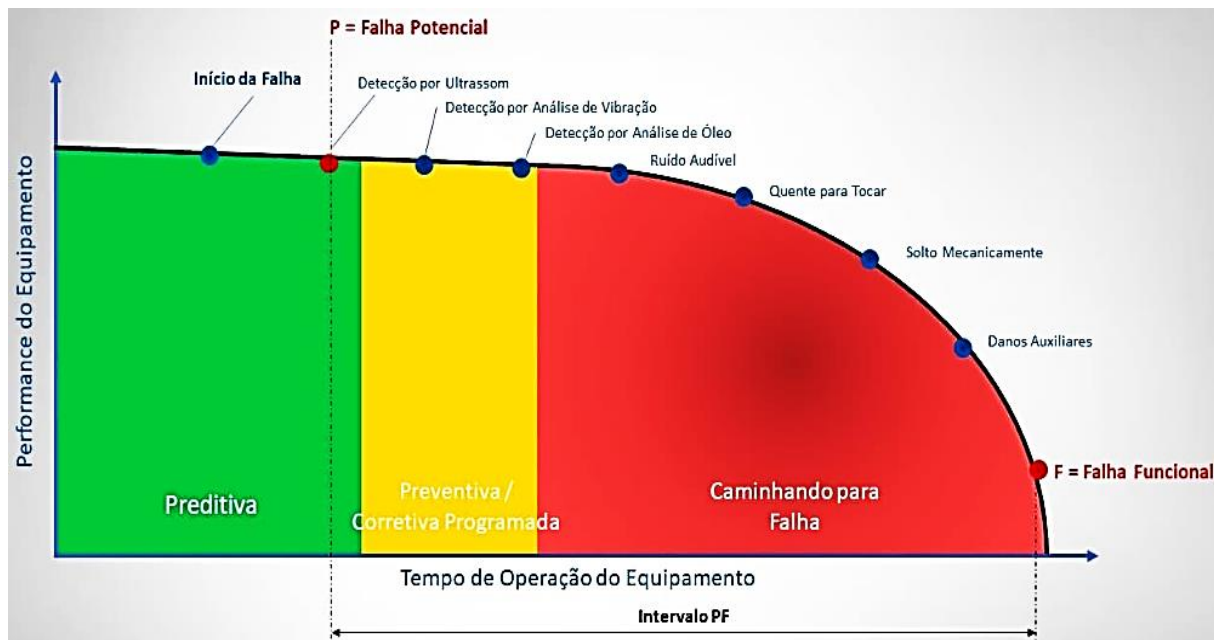
[...] uma vez analisados estes aspectos, parte para a identificação dos modos de falhas, essa análise busca identificar com detalhes as causas da falha e, ao mesmo tempo, registrar seus efeitos, porque somente com a compreensão exata desse processo pode levar a ações que impeçam sua ocorrência (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 143).

Diante desta contextualização, prevenir e corrigir falhas constituem os objetivos primários da manutenção, para isto é necessário conhecer como os itens falham, caracterizando a forma como as falhas ocorrem (VIANA, 2020).

A curva P-F é representada por um gráfico, sendo uma das ferramentas mais importantes para a MCC. O termo P-F é utilizado para ilustrar onde surge a falha potencial (P) e onde se inicia a falha funcional (F). São nesses momentos, principalmente, que as falhas começam a ser identificáveis e onde é possível intervir antes da parada. A Figura 2.5 ilustra o modelo de curva P-F onde é possível visualizar

que o eixo “x” horizontal mede o tempo e o eixo “y” vertical mensura o status da condição do ativo (MOUBRAY, 1997, p. 144-145).

Figura 2.5 - Curva P-F

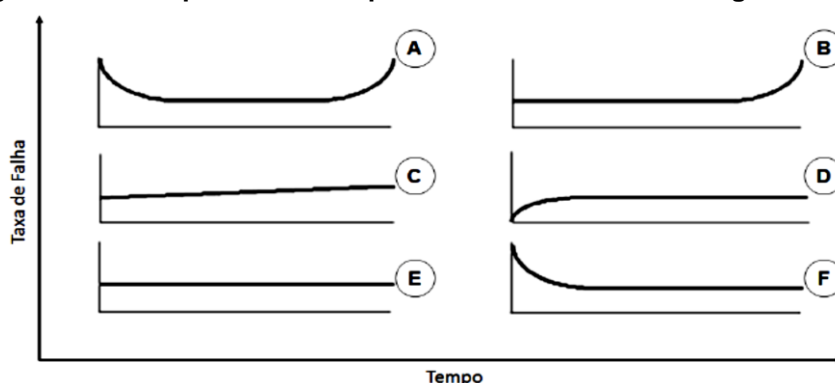


Fonte: DUTRA (2018).

O intervalo compreendido entre o início da falha potencial e a ocorrência da falha funcional é determinado Intervalo P-F. No início da falha percebe-se que ela pode ser detectada através da manutenção preditiva uma vez que a falha está em seu estágio inicial, o que não afeta definitivamente o funcionamento do equipamento, contudo é de suma importância que a falha seja tratada a fim de minimizar possíveis impactos no desempenho do equipamento na linha de processo, ou seja, a falha potencial deverá ser tratada antes do seu desenvolvimento em falha funcional (KARDEC; NASFIC, 2009).

De acordo com Siqueira (2009), em componentes industriais são usualmente identificados em quatro mecanismos típicos: desgaste progressivo; falha inesperada; desgaste por fadiga e mortalidade infantil. Eles estão relacionados a seis curvas básicas do comportamento da taxa de falha ao longo do tempo, sendo utilizadas para caracterizar a vida útil dos equipamentos, sistemas e não somente a curva da banheira (MOUBRAY, 1997). A Figura 2.6 ilustra o comportamento típico da taxa de falha ao longo da vida útil.

Figura 2. 6 - Comportamentos típicos da taxa de falha ao longo do tempo

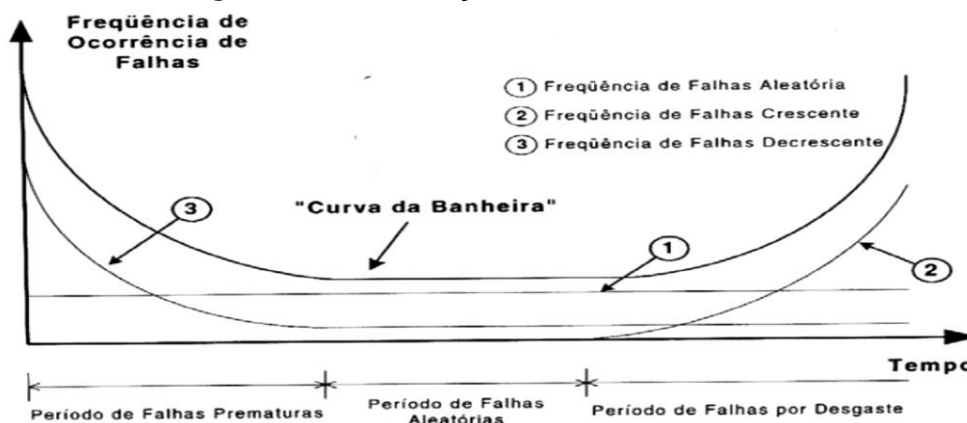


Fonte: SIQUEIRA (2014). Adaptado por LIRA, 2023.

As curvas representam a probabilidade das falhas em um determinado intervalo de tempo. A curva A e B representam os problemas mais simples, devido a, com elevadas taxas de falhas relacionadas à idade do componente, já as curvas C, D, E, e F, provavelmente, indicam graficamente as ocorrências mais complexas, além disso, com taxas de falhas constantes (MOUBRAY, 1997, p. 12-13).

Para Xenos (1998), a curva da banheira, ilustrada na Figura 2.7, é um modelo de falha frequentemente utilizada e que melhor ilustra o comportamento da frequência de ocorrência de falhas por vários tipos de equipamentos.

Figura 2. 7 - Combinação dos modelos de falhas



Fonte: XENOS, 1998, p. 71.

Sellitto (2007), afirma que em equipamentos com maior complexidade de funcionamento ou em sistemas integrados de produção, a utilização da curva da banheira (Tipo A) torna-se mais vantajosa, uma vez que praticamente todos os itens de relevância na manutenção industrial podem estar caracterizados em uma das fases da curva da banheira, o que possibilita mapear toda a progressão do equipamento durante seu ciclo de vida.

2.10 Fundamentos da Análise de Confiabilidade

Confiabilidade e qualidade estão diretamente ligadas com a fidelização dos consumidores, elas estão mais acentuadas quando ligadas ao setor de alimentos (LIMA; SELEME, 2020). Contudo é importante destacar que, a principal diferença entre qualidade e confiabilidade está na passagem de tempo que é incorporada nas análises de confiabilidade, enquanto o conceito de qualidade é a descrição estática de um determinado item (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Diante deste contexto, Feigenbaum (1994), explana que o custo da não qualidade pode provocar impactos consideravelmente alto através da demonstração por meios de números de linguagem financeira. Desta forma, os custos associados as definições de planejamento, criação e controle da qualidade, avaliação e realimentação da conformidade com exigência em requisitos de desempenho, confiabilidade, segurança bem como dos custos associados pelo surgimento de falhas (FEIGENBAUN, 1994).

Vaccaro (1997), complementa que essa visão não está errada, entretanto, ela pode ser considerada muito superficial, pois desconsidera questões de uso e da forma de uso dos produtos. Segundo Project Management Institute - PMI (2004), os componentes não são eternos, desta forma o ponto fundamental que distingue qualidade de confiabilidade é a variável tempo.

2.10.1 Conceito de Confiabilidade

Segundo a National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2008), confiabilidade é a probabilidade de que um elemento irá resistir a um determinado intervalo de funcionamento, nos termos especificados de condições de funcionamento, sem avarias.

A ABNT NBR 5462 (1994, p. 3), conceitua confiabilidade como a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo.

Para Roberts e Barringer (1997), confiabilidade é a probabilidade do período de funcionamento livre de falhas sob condições operacionais especificadas pelo projeto, contudo para um item reparável, confiabilidade está conceituada como a probabilidade de desempenho isenta de falhas durante um determinado intervalo de

tempo sob determinadas condições operacionais de funcionamento.

A probabilidade condicional desta falha é um conceito matemático no qual são estudadas as possibilidades de um acontecimento condicionado a outro, possibilitando que seja mensurado a probabilidade de quando um determinado irá falhar durante esse período (SILVA; FERNANDES; ALMEIDA, 2015). Desta forma, se a probabilidade condicional de uma falha tende a aumentar com a idade, o componente manifestará características de desgaste refletindo o efeito negativo total do ciclo de vida sobre a confiabilidade (MOUBRAY, 1997).

2.10.2 A Função de Confiabilidade

Fogliatto e Ribeiro (2011), explicam que a função de confiabilidade também conhecida como função de sobrevivência, é representada por $R(t)$, a qual apresenta uma probabilidade de êxito durante a operação em um dado período, e de permanecer em funcionamento durante este mesmo período, definida pela Equação 2.1:

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_s(t) + n_f(t)} = \frac{n_s(t)}{n_0} \quad (2.1)$$

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2011), a equação, ilustrada anteriormente, a função de confiabilidade em um tempo t pode ser expressa conforme a Equação 2.2:

$$R(t) = P(T > t) \quad (2.2)$$

Em que $n_s(t)$ são as unidades que não apresentam algum tipo de falha e $n_f(t)$ onde as unidades que apresentaram falhas em um dado período de tempo (t) de monitoramento (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011). Desta forma, dando a importância a uma variável aleatória, a função de confiabilidade é o complemento de $R(t)$ conforme ilustra a Equação 2.3:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(u) du = \int_t^{+\infty} f(u) du \quad (2.3)$$

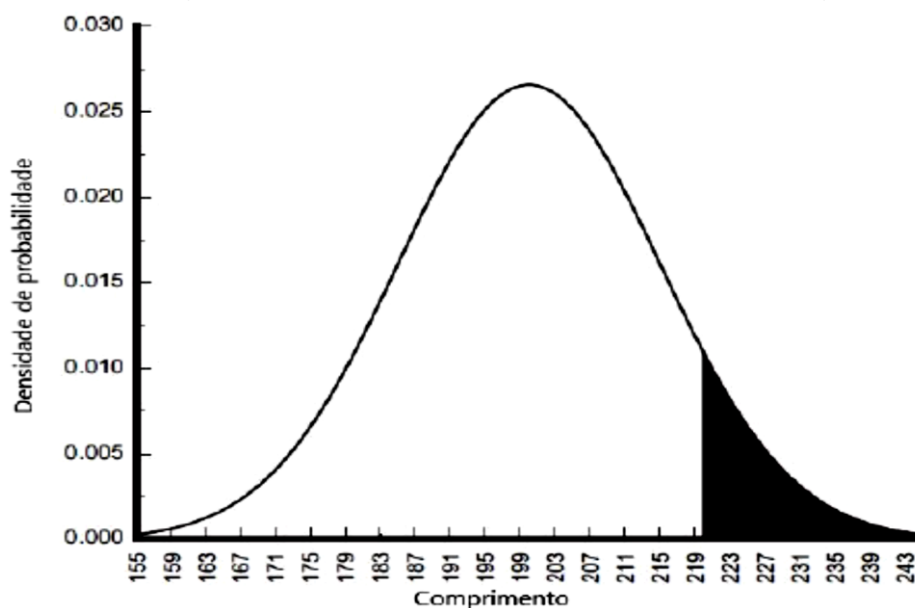
Para Montgomery; Runger (2021), como consequência, a função distribuição acumulada de falhas sendo definida como a probabilidade de uma observação não sobreviver ao tempo t como mostra a Equação 2.4.

$$F(t) = 1 - R(t), \quad t \geq 0 \quad (2.4)$$

Vaccaro (1997), descreve que, através de um conjunto das funções de confiabilidade, torna-se possível uma descrição do comportamento da confiabilidade de um produto, peça, componente ou sistema.

Segundo Dodson; Schwab (2006), a função de confiabilidade $R(t)$ pode ser exibida como mostra ilustra a Figura 2.8, adotando também uma distribuição Gauss (normal) para exemplificar.

Figura 2. 8 - Função de confiabilidade, considerando uma distribuição normal



Fonte: Dodson; Schwab, 2006, p. 24. Adaptado por Lira, 2023.

A função da confiabilidade, de igual modo, está associada ao com o campo da estatística por ser definida como uma função de uma variável aleatória t pertencente ao domínio contínuo que representa um certo período de tempo (WALPOLE *Et. al*, 2009). Segundo Morettin; Bussab (2017), essa variável pode ser representada em diferentes unidades físicas, em outros termos, a variável aleatória t , representa o tempo de operação de um componente ou sistema até a manifestação de uma falha funcional.

2.10.3 Função Densidade de Probabilidade de Falhas

Funções densidades são comumente usadas em engenharia para descrever sistemas físicos. Montgomery; Runger (2021), dissertam que a função de confiabilidade, comumente denominada de $R(t)$, representa a área por debaixo da

curva delineada por uma função densidade de probabilidade $f(t)$, permitindo que seja determinado as probabilidades de falhas ao longo de um período de tempo t .

Similarmente, uma função densidade de probabilidade $f(t)$, pode ser usada para descrever a distribuição de probabilidades de uma variável aleatória contínua. Se for provável de um intervalo conter um valor para t , então sua probabilidade é grande e ela corresponde a valores grandes para $f(t)$ (MONTGOMERY; RUNGER, 2021).

Uma função densidade de probabilidade fornece uma descrição simples das probabilidades associadas a uma variável aleatória. Desta forma, Vaccaro (1997, p. 15), esclarece que derivar a Função de Distribuição Acumulada de Falhas para obter a Função Densidade de Probabilidades de Falhas, o autor afirma ainda que sob esta hipótese, pode-se derivar a função distribuição acumulada $F(t)$ de falhas para se obter a função densidade de probabilidade de falhas $f(t)$. Diante desta contextualização, Vaccaro (1997, p. 16), apresenta as Equações 2.5 e 2.6 para a conclusão das hipóteses.

$$f(t) = \frac{dF}{dt}(t), \quad t \geq 0 \quad (2.5)$$

Da mesma forma, conclui que:

$$\frac{dR}{dt}(t) = -\frac{dF}{dt}(t) = -f(t), \quad t \geq 0 \quad (2.6)$$

Desta forma, Vaccaro (1997, p. 16), disserta que a partir daí (sob as mesmas hipóteses) pode chegar nas Equações 2.7 e 2.8.

$$F(t) = \int_0^t f(s).ds, \quad t \geq 0 \quad (2.7)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(s).ds, \quad t \geq 0 \quad (2.8)$$

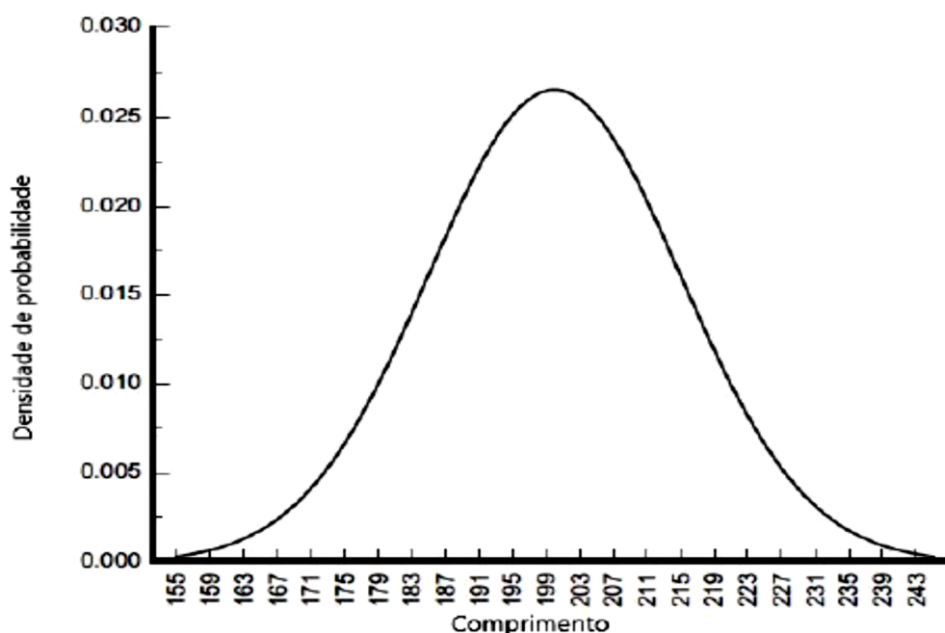
Fogliatto; Ribeiro (2011), também realiza uma abordagem entre a função densidade de probabilidade e a função de distribuição acumulada, utilizando o cálculo da derivada e da sua definição de limite como ilustra a Equação 2.9.

$$f(t) = F'(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t+\Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (2.9)$$

A função densidade de probabilidade também descreve o formato da distribuição de probabilidades, e representa todo o espaço amostral, ou seja, a soma da área abaixo da curva $f(t)$, deve ser igual a 1 (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Dodson; Schwab (2006), utilizando uma distribuição normal como ilustração, a função densidade de probabilidade é ilustrada por meio da Figura 2.9, onde a variável aleatória comprimento representa o tamanho de um determinado item relacionado as distribuições de probabilidade da amostra.

Figura 2.9 - Função densidade de probabilidade, considerando uma distribuição normal



Fonte: Dodson; Schwab, 2006, p. 23. Adaptado por Lira, 2023.

Sendo assim, a função densidade de probabilidade de falhas, fornece uma completa informação de probabilidades sobre a Função Densidade de Probabilidade de cada uma das variáveis aleatórias que também é denominada de Densidade de Probabilidade Marginal (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

2.10.4 Função Taxa de Risco

A função de risco descreve a probabilidade de falha como uma função do tempo que um item tenha durado, ou seja, a taxa de falha instantânea em um determinado momento t . Fogliatto; Ribeiro (2011), explica através da Equação 2.10 que, a função taxa de risco $h(t)$, é uma medida de confiabilidade que expressa a taxa de risco, atendo-se ao intervalo (situado a posteriori de t) entre t e Δt em vista de se calcular a probabilidade de ocorrência da falha.

$$f(t)_{a\ posteriori} = \frac{f(t)_{a\ priori}}{R(t)} \quad (2.10)$$

Dodson; Schwab (2006), explicam que a função de risco é uma medida da tendência à falha, isto é, quanto maior o o valor de $h(t)$, maior a probabilidade de falha iminente. Os autores disseram ainda que, tecnicamente a função da taxa de risco é a probabilidade de falha no intervalo de tempo muito pequeno, $x_0 a x_0 + d$, dada a sobrevivência até x_0 , matematicamente definida conforme a Equação 2.11 (DODSON; SCHWAB, 2006).

$$h(x) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.11)$$

Dodson e Schwab (2006) e Fogliatto e Ribeiro (2011), concordam entre si ao evidenciarem a função de risco $h(t)$ tal como uma taxa de falha instantânea, tomando o intervalo compreendido por $\Delta t - t$ como sendo um espaço de tempo infinitesimal como mostra a Equação 2.12.

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.12)$$

$$\text{Onde: } \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{\Delta t} = f(t)$$

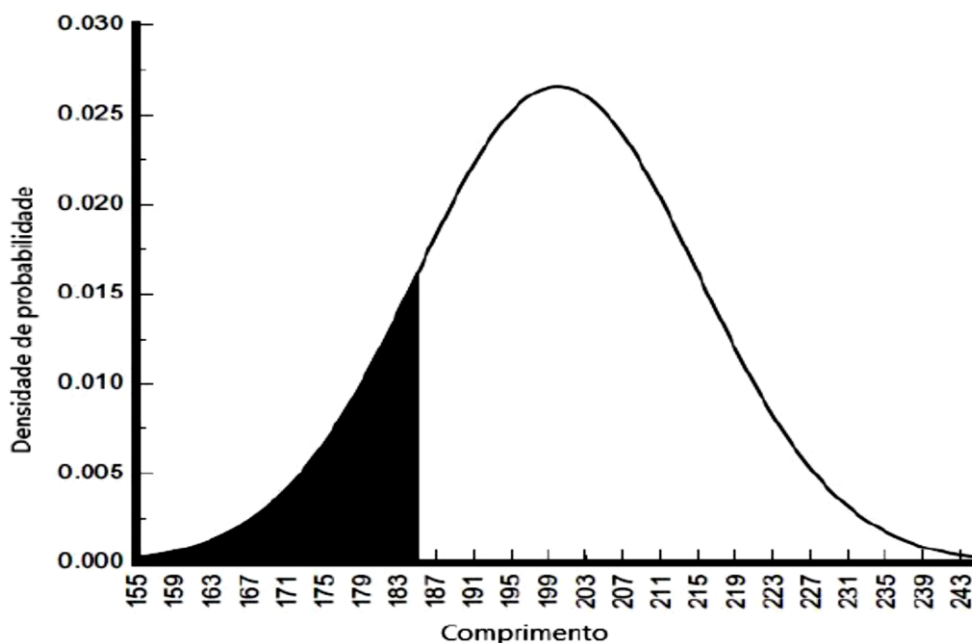
Existem três classificações básicas para a função de risco, ou seja, é desejável saber se a taxa de falha de um item está diminuindo, constante ou aumentando (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011). Estes padrões podem ser interpretados como:

1. Função de Risco Decrescente (FRD): os itens são menos favoráveis a falhar com o tempo, um risco decrescente aponta que a falha normalmente acontece no início do período de vida de um componente ou equipamento (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011);
2. Função de Risco Constante (FRC): os itens falham a uma taxa constante em que um risco constante está exposto a uma mesma quantidade de risco em qualquer momento do tempo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011);
3. Função de Risco Crescente (FRC): os itens apresentam maior incidência de falhas em função do tempo, ocorre normalmente nas fases após a vida útil de um componente ou equipamento (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

2.10.5 Função Taxa de Falha Acumulada

Dodson e Schwab (2006), explicam que a função de distribuição acumulada $F(t)$ ao referirem a área abaixo da curva, ou seja, por debaixo da função densidade de probabilidade $f(t)$, situada necessariamente a esquerda da variável t conforme mostra a Figura 2.10.

Figura 2. 10 - Função de distribuição acumulada, considerando uma distribuição normal



Fonte: Dodson; Schwab, 2006, p. 26. Adaptado por Lira, 2023.

Fogliatto e Ribeiro (2011), acrescentam que $F(t)$ tem por finalidade representar a probabilidade de falha da unidade em uma tarefa de duração T , necessariamente menor ou igual a t , e pode ser representada ao se alterar dentro dos limites de integração da Equação 2.13.

$$P(T \leq t) = \int_{-\infty}^t f(t)dt \quad (2.13)$$

Diante estas afirmações, Fogliatto; Ribeiro (2011), esclarecem que a função acumulada de risco oferece uma representação alternativa da função de risco, na forma de uma função não decrescente no tempo, assemelhando na forma, independente da distribuição que simboliza os períodos até o momento da falha.

2.10.6 Tempo Médio e Vida Média Residual

Essa medida é conhecida como tempo médio para falha ou MTTF (*Mean Time To Failure*). É o tempo médio de falha para todos os tempos de falha na população, e podemos obter uma estimativa do MTTF calculando a média dos tempos de falha em uma amostra aleatória e sem censura retirada da população (TOBIAS; TRINDADE, 2012).

O tempo médio até falha de uma unidade, designado por MTTF pode ser definido pela Equação 2.14 (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011, p. 12):

$$MTTF = E(T) = \int_0^{+\infty} t f(t) dt \quad (2.14)$$

Tobias e Trindade (2012), explanam ainda que a vida média residual mede o quanto de vida ainda resta em média para um determinado conjunto de itens ou eventos que se manteve até t , ou seja, ela mede o tempo restante médio de vida e é, então a área sob a curva de confiabilidade à direita do tempo t dividida por $R(t)$ como ilustra a Equação 2.15.

$$MTTF_{Residual}(T_0) = \int_0^{+\infty} t \frac{f(t)}{R(T_0)} dt \quad (2.15)$$

2.10.7 Tipo de Dados na Análise de Confiabilidade

Uma análise devidamente definida, deve ser fundamentada conforme a compreensão plena da transformação dos processos físicos e dos materiais com o decorrer do seu ciclo de vida, e como estas mudanças afetam o comportamento das falhas, onde basicamente a análise estará atuando de forma estatística com as taxas de falhas dos componentes e sua variação dentro do período de tempo do equipamento (SMITH, 1993).

A estatística é uma parte da matemática aplicada que fornece métodos para a coleta, organização, descrição, análise e interpretação dos parâmetros da confiabilidade, a resposta da análise de confiabilidade é a probabilidade de falha ou índice de confiabilidade correlacionado a uma função de falha que depende das variáveis aleatórias do problema caracterizado pelo tempo inicial, a escala de medida e o evento de interesse (MONTGOMERY; RUNGER, 2021). Segundo Colosimo e

Giolo (2006), técnicas estatísticas básicas tal como: análise de regressão, planejamento de experimentos, análise de variância entre outras, podem ser utilizadas para análise de dados de sobrevivência quando não há dados censurados presentes.

O autor afirma ainda que a censura surge em decorrência da observação parcial da resposta, ou seja, através dos estudos ou experimentos, devido a variável resposta ser o tempo de falha e como diversos fatores podem interferir na observação do evento de interesse a partir do tempo inicial, desta forma, quase sempre é possível evidenciar a presença de dados censurados no experimento (COLOSIMO; GIOLO, 2006).

Para Biasoli (2003, p. 28-290), a censura é classificada em três tipos, de acordo com a forma em que ocorre:

1. Censura a direita: é o tipo mais comum em testes de análise de confiabilidade. Nesta censura não se observa o tempo exato da falha, sabe-se que o tempo de falha é maior do que o tempo observado (BIASOLI, 2003; COLOSIMO; GIOLO, 2006);
2. Censura à esquerda: ocorre quando não é possível conhecer o momento da ocorrência da falha, mas sabe-se esta falha ocorreu antes do tempo registrado, ou seja, o tempo de falha é menor que o tempo observado (BIASOLI, 2003; COLOSIMO; GIOLO, 2006);
3. Censura Intervalar: o indivíduo é observado em intervalos de tempo e em um desses momentos o evento de interesse ocorre, desta forma, o tempo de falha será um intervalo de tempo entre a última e penúltima visita (BIASOLI, 2003; COLOSIMO; GIOLO, 2006).

Segundo Lawless (1982, apud PEREIRA; VIVANCO, 2003), existem três tipos de censura que são mais utilizadas e que são encontradas tanto em casos de censura à direita quanto de censura à esquerda, como mostra o Tabela 2.5:

Tabela 2. 5 - Tipos de Censuras - Continua

Tipo de Censura	Características
I	Ocorrem nos estudos que ao serem finalizados após um período pré-estabelecido de tempo registram, em seu término, alguns indivíduos que ainda não apresentaram o evento de interesse.
II	Resultam de estudos os quais são finalizados após a ocorrência do evento de interesse em um número pré-estabelecido de indivíduos. Um terceiro mecanismo de censura, o do tipo aleatório, é o que mais ocorre na prática médica.

Tabela 2.5 - Tipos de Censuras - Final

Tipo de Censura	Características
Aleatória	As unidades são retiradas de funcionamento – mesmo antes da ocorrência de falha – em instantes aleatórios. Testes com censura aleatória são muito comuns em ensaios de componentes inseridos em sistemas. Isto porque o sistema pode falhar devido à quebra de outro componente que não o analisado e, como consequência, o componente testado é retirado do teste sem ter falhado.

Fonte: Lawless (1982, apud PEREIRA; VIVANCO, 2003). Adaptado por LIRA, 2023.

Pode haver ainda uma combinação dos tipos de censuras em um mesmo teste de vida, denominado de multi-censurados. Reis (2014, p. 30-31), disserta que o caso mais comum de dados censurados na análise de confiabilidade é a censura a direita, ou seja, quando ao fim de um teste realizado, ainda é possível evidenciar equipamentos ou sistemas que não falharam. Isto é, no término do tempo definido para a coleta dos dados, há equipamentos em funcionamento e que devem ser avaliados na aplicação dos testes, favorecendo para a análise da confiabilidade.

2.10.8 Modelos Matemáticos para Análise de Confiabilidade

Modelos matemáticos, são utilizados para descrever o comportamento de algum tipo de sistema ou equipamento em níveis de maior ou menor detalhamento, tendo funções matemáticas ou distribuições probabilísticas como ingrediente principal (TOBIAS; TRINDADE, 2012).

Vaccaro (1997, p. 22), afirma que através da utilização dos modelos matemáticos, é possível adquirir maior qualidade na identificação e resolução de problemas, possibilitando ainda melhor compreensão dos padrões de vida de um componente ou equipamento durante seu uso, determinando ainda se uma metodologia está cumprindo com seus objetivos de confiabilidade para reconhecer as prováveis causas das falhas.

As técnicas que abrangem os modelos matemáticos em confiabilidade estatística se relacionam à aplicação de métodos não-paramétricos e paramétricos. Os métodos não-paramétricos deixam de apresentar qualquer suposição sobre os dados analisados, buscando, de forma empírica, identificar um padrão de comportamento para esses dados, permitindo o ganho de perspectiva quanto a natureza da distribuição de dados a partir do qual foi desenhada sem, no entanto, selecionar uma distribuição específica. Os métodos paramétricos buscam associar o

conjunto de dados a uma distribuição de probabilidade conhecida de forma a identificar os parâmetros dessa distribuição e configurar o modelo a ser definido (RAUSAND; HØYLAND, 2004).

Independente de algumas distribuições de probabilidade serem, certamente, mais conhecidas, como a Normal e a Binomial, quando se trata de descrever a variável tempo entre falhas, outras distribuições mostram-se mais adequadas. E, embora haja uma variedade de modelos probabilísticos utilizados na análise de sobrevivência, alguns ganham posição de destaque, por apresentarem comprovada adequação em distintas situações. Modelos Exponencial, Gama, Weibull e o Log-normal são citados por (COLOSIMO; GIOLO, 2006).

A distribuição de probabilidade descreve o comportamento aleatório de fenômenos. Desta forma, a distribuição de probabilidade pode ser entendida como uma forma de descrever o comportamento de um tipo de fenômeno com resultados que podem ser finitos ou contáveis (SMITH; HINCHCLIFFE, 2004).

Segundo Colosimo e Giolo (2006, p. 70), as distribuições mais utilizadas para a modelagem no domínio contínuo, considerando as aplicações práticas mais utilizadas na análise de sobrevivência, são a Exponencial, Gama, Weibull e Lognormal.

2.10.8.1 Distribuição Exponencial

A distribuição exponencial é a forma mais simples para descrever tempos de falha (T), pode ser associada com a distribuição geométrica, sendo caracterizada por uma função risco constante dada pela Equação 2.16 onde α é o tempo médio de vida Colosimo e Giolo (2006).

$$\lambda(t) = \frac{1}{\alpha}, t \geq 0, \alpha > 0 \quad (2.16)$$

A distribuição exponencial denota a ocorrência de taxa de falhas constantes e está associada à vida operacional de um produto. Diante está afirmação, Colosimo e Giolo (2006, p. 71), dissertam que, [...] tanto uma unidade velha quanto uma nova, que ainda não falharam, apresentam a mesma taxa de falha em um intervalo futuro. Esta propriedade é chamada de falta de memória da distribuição exponencial.

Este resultado mostra que a função de taxa de falha exponencial se reduz ao valor λ para todos os tempos, dando a característica de distribuição constante.

As principais equações para a análise de sobrevivência são:

- i. Densidade de probabilidade: função para a variável aleatória tempo de falha T com distribuição exponencial dada pela Equação 2.17.

$$f(t) = \frac{1}{\alpha} \exp\left\{-\left(-\frac{t}{\alpha}\right)\right\}, \quad t \geq 0 \quad (2.17)$$

- ii. Função de sobrevivência: A função de sobrevivência $S(t)$ é dada pela Equação 2.18.

$$S(t) = \exp\left\{-\left(-\frac{t}{\alpha}\right)\right\} \quad (2.18)$$

- iii. Taxa de falha: A função de taxa de falha $\lambda(t)$ é dada pela Equação 2.19.

$$\lambda(t) = \frac{1}{\alpha} \text{ para } t \geq 0 \quad (2.19)$$

A distribuição exponencial destaca-se em estudos de confiabilidade devido à sua propriedade única de possuir uma função de risco constante. Sua aplicação generalizada na área é impulsionada pela simplicidade matemática das expressões derivadas, embora ocasionalmente seu uso seja inadequado. As representações de confiabilidade para $t \geq 0$, conforme apresentadas nas Equações 2.20 à 2.23, contribuem para a compreensão temporal de eventos sujeitos a uma taxa constante, consolidando seu papel relevante nessas análises.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.20)$$

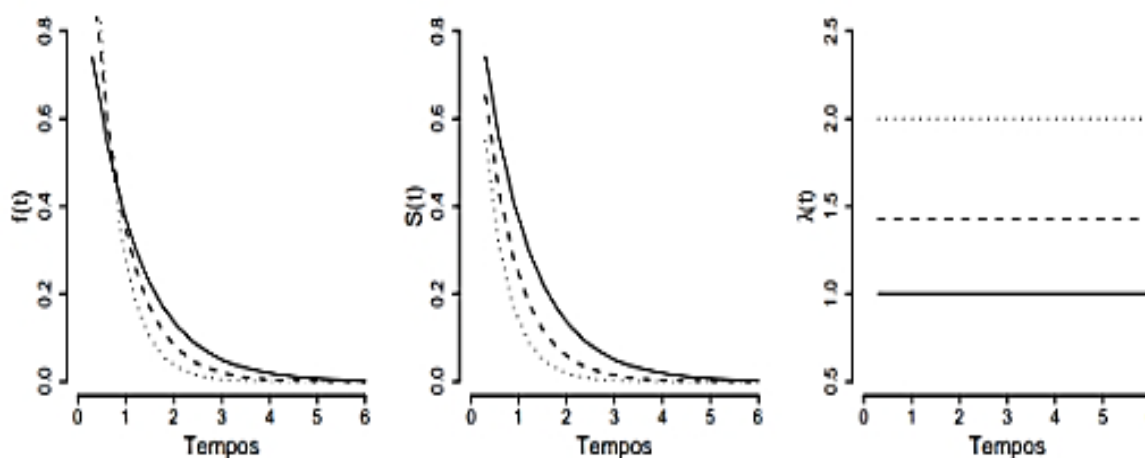
$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.21)$$

$$h(t) = \lambda \quad (2.22)$$

$$MTTF = E[T] = 1/\lambda \quad (2.23)$$

A forma típica dessas três funções para diferentes valores de α pode ser observada na Figura 2.11.

Figura 2. 11 - Forma típica das funções de densidade de probabilidade, de sobrevivência e taxa de falha da distribuição exponencial



Fonte: COLOSIMO; GIOLO, 2006, p. 72.

2.10.8.2 Distribuição de Weibull

Montgomery e Runger (2021), explicam que a aplicação da distribuição Weibull tem um campo amplo na ciência, conhecida em virtude de sua simplicidade e flexibilidade em acomodar diferentes formas de função de risco, sendo uma distribuição de probabilidade apropriada para a modelagem de tempos até a falha apresentando taxas de falha constante, desta forma, para uma variável aleatória T com distribuição Weibull, a função de densidade de probabilidade é dada pela Equação 2.24.

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma}}, \text{ para } t > 0 \quad (2.24)$$

Onde t é o tempo de falha, β é o parâmetro de forma e δ é o parâmetro de escala, sendo todos valores apresentados de forma positiva. O parâmetro δ apresenta a mesma unidade de medida de t e β sendo adimensionais (MONTGOMERY; RUNGER, 2021).

A distribuição de Weibull emerge como uma escolha apropriada na modelagem de tempos até falha, revelando funções de risco constantes, estritamente crescentes e estritamente decrescentes. Sua relevância na análise de confiabilidade é incontestável, destacando-se pelo equilíbrio entre flexibilidade e capacidade de representar amostras de tempos até falha com comportamentos distintos. Em

particular, ao lidar com conjuntos de dados de tamanho reduzido, a suposição de que os dados seguem uma distribuição de Weibull frequentemente se revela como um sólido ponto de partida na análise. As equações que descrevem as representações de confiabilidade da distribuição de Weibull, $t \geq 0$, $\gamma > 0$ e $\theta > 0$, são fornecidas conforme as Equação 2.25 à 2.28.

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma} \quad (2.25)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma} \quad (2.26)$$

$$h(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1} \quad (2.27)$$

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + 1/\lambda\right) \quad (2.28)$$

2.10.8.3 Distribuição Log Normal

A distribuição Log normal, tem aplicações na modelagem de variáveis na área de confiabilidade e análise de sobrevivência. Segundo Montgomery e Runger (2021, p. 68), uma variável aleatória x tem a distribuição Log normal quando seu logaritmo possuir a forma de uma distribuição normal. Apresenta uma taxa de falhas com crescimento inicial e posterior decréscimo, apresentando um formato invertido de curva da banheira (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

As principais aplicações da Distribuição Log normal são para determinação da distribuição de tempos para falha e tempo médio para manutenção de componentes mecânicos sujeitos a desgaste (SILVEIRA *Et. al*, 2019).

Fogliatto e Ribeiro (2009), esclarecem que as medidas de confiabilidade de interesse para a distribuição lognormal são $t \geq 0$, representadas pelas Equações 2.29 à 2.32.

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right]^2\right\} \quad (2.29)$$

$$R(t) = \Phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right) \quad (2.30)$$

$$h(t) = \frac{\phi[(\mu - \ln t)/\sigma]/\sigma t}{\phi[(\mu - \ln t)/\sigma]} \quad (2.31)$$

$$MTTF = e^{(\mu + \sigma^2)/2} \quad (2.32)$$

Onde $\Phi(x)$ é o valor da função de distribuição normal padronizada avaliada em x , e $\phi(x)$ é o valor da função de densidade da distribuição normal padronizada avaliada em x . O valor médio é representado por μ e corresponde ao parâmetro de escala, e o desvio padrão é representado por σ que representa o parâmetro de forma (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

2.10.8.4 Distribuição Gama

A Distribuição Gama é uma família de distribuições contínuas de probabilidade de dois parâmetros, é normalmente utilizada para cálculos em estudos de sobrevivência (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Segundo Silveira *et al.* (2019, p, 119), esta distribuição descreve sistemas que operam com dispositivos em paralelo, em que a última tarefa determina o fim da atividade, utilizada nas áreas de engenharia, para obtenção do tempo de retorno de um equipamento com falha. As expressões para as funções de confiabilidade da distribuição gama estão conforme as Equações 2.33 à 2.36 (SILVEIRA *et al.*, 2019).

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\lambda)} (\lambda t)^{\lambda-1} e^{-\lambda t} \quad (2.33)$$

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\Gamma(\lambda)} \int_0^{\lambda t} x^{\lambda-1} e^{-x} dx \quad (2.34)$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.35)$$

$$MTTF = \lambda/\lambda \quad (2.36)$$

Onde θ é o parâmetro de escala, γ é o parâmetro de forma, Γ é a função gama e t indica o tempo até a falha, as medidas de confiabilidade de interesse para a distribuição gama são: $t \geq 0$, parâmetro de forma $\gamma > 0$ e parâmetro de escala $\lambda > 0$ (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

2.10.8.5 Modelo de Regressão de Cox

O modelo de regressão de Cox permite a análise de dados provenientes de estudos de tempo de vida em que a resposta é o tempo até a ocorrência de um evento

de interesse, ajustando por covariáveis (COLOSIMO; GIOLO, 2006).

Segundo Colosimo e Giolo (2006, p. 156-157), este modelo de regressão é muito flexível graças à presença do componente não paramétrico, o que permite a análise de tempos de vida sem a necessidade de especificar uma distribuição de probabilidade para a variável resposta.

Colosimo e Giolo (2006) de forma global, condizer p covariáveis, de modo que x seja um vetor com os componentes $x = (x_1, \dots, x_p)'$. A expressão geral do modelo de regressão de Cox está representada pela Equação 2.37.

$$\lambda(t/x) = \lambda_0(t) \exp(x'\beta) \quad (2.37)$$

Da mesma forma que outras técnicas estatísticas utilizadas na previsão de eventos, Tobias e Trindade (2012), relatam que o modelo de risco proporcional exige dados anteriores à falha sob análise.

Colosimo e Giolo (2006, p. 159), afirmam que [...] este modelo de regressão é caracterizado pelos coeficientes Betas, que mensuram os efeitos das covariáveis sobre a função de taxa de falha.

2.10.9 Estimação dos Parâmetros dos Modelos

Os modelos matemáticos para análise de confiabilidade são caracterizados por parâmetros que conferem uma forma geral aos modelos probabilísticos (COLOSIMO; GIOLO, 2006). Walpole et al. (2009), esclarecem que, se o modelo escolhido forma uma configuração linear $Y = \alpha + \beta x + \varepsilon_i$, será necessário realizar a ponderação dos parâmetros α e β . Estes parâmetros devem ser estimados a partir das observações amostrais para que o modelo fique determinado, possibilitando assim, responder as perguntas de interesse (COLOSIMO; GIOLO, 2006; FONSECA; MARTINS, 2011).

Para Maroco (2007), um dos métodos mais conhecidos na literatura estatística para estimação de parâmetros a fim de minimizar a soma dos quadrados dos desvios é o método de mínimos quadrados. Contudo, por não conseguir inserir em seu processo de estimação, este parâmetro pode ser inapropriado para estudos de tempo de vida, desta forma um método padrão de estimação denominado de verossimilhança poderá proporcionar as estimativas do parâmetro de distribuição mais precisas, com variâncias menores, intervalos de confiança e testes de parâmetros do

modelo podem ser calculados de forma confiáveis (COLOSIMO; GIOLO, 2006).

2.10.9.1 Método de Máxima Verossimilhança

O método de máxima verossimilhança é um dos métodos de estimação mais utilizados na Inferência Estatística, ele consiste em encontrar o valor do parâmetro que torna mais verossímil a amostra observada, ou seja, maximizar a verossimilhança fornece os valores dos parâmetros para os quais a amostra observada é mais provável de ter sido gerada (DEVORE, 2006).

A função de verossimilhança de um parâmetro θ é definida como a probabilidade de observação de uma amostra X , dados os vários valores possíveis de θ (COLOSIMO; GIOLO, 2006). Para Walpole *et al.* (2009, p. 197), [...] o método da máxima verossimilhança é aquele que a qual a função de verossimilhança é maximizada [...].

Segundo Lucambio (2009, p. 35), a função de verossimilhança para o parâmetro θ é dada pela Equação 2.38:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(t_i; \theta) \quad (2.38)$$

Onde está considerado a função de densidade ou de probabilidade $(t_i; \theta)$ como função do parâmetro para cada t fixo.

Desta forma, Devore (2006, p. 36), explana que matematicamente, basta igualar a zero as derivadas parciais da função de verossimilhança em relação a cada parâmetro do vetor θ , o autor esclarece ainda que a função de verossimilhanças seja derivável em relação a θ para t fixo definimos o logaritmo da função de verossimilhanças ou log-verossimilhança como mostra a Equação 2.39.

$$\ln L(\theta; t) = \ln \prod_{i=1}^n f(t_i; \theta) \quad (2.39)$$

Devore (2006, p. 36), afirma ainda que, se $\hat{\theta}(t)$ existe então satisfaz a Equação 2.40.

$$\frac{\partial}{\partial \theta} l(\hat{\theta}(t); t) = 0 \quad (2.40)$$

Isto deve-se ao fato de que se $\hat{\theta}(t)$ maximiza $L(\hat{\theta}; t)$ também maximizam $\ln L(\theta; t)$, por ser o logaritmo uma função crescente (COLOSIMO; GIOLO, 2006).

2.10.9.2 Verificação de Adequação de Ajustes

Uma avaliação da adequação do modelo ajustado é a parte fundamental da análise dos dados coletados. Assim como em qualquer tipo de análise de regressão, é de grande relevância avaliar a qualidade do ajuste dos modelos de regressão, pois a falta deste ajuste pode levar a tendência de favorecer certos efeitos (LAWLESS, 2011).

A verificação da adequação do ajuste pode identificar medidas estatísticas tais como: covariáveis importantes; interações omitidas; casos em que a função de ligação não foi apropriada; casos em que a forma funcional da modelagem das covariáveis não se apresenta correta; e, finalmente, casos em que a suposição de probabilidades proporcionais foi violada (BRANT, 1990).

Técnicas gráficas, que fazem uso dos diferentes resíduos propostos, são, em particular, bastante utilizadas para examinar diferentes aspectos do modelo. Um método de verificação de ajuste simples e muito usado na análise de dados de sobrevivência consiste na linearização da função de sobrevivência tendo como ideia básica a construção de gráficos que sejam aproximadamente lineares caso o modelo proposto seja apropriado, um desses modelos proposto é de avaliar, por meio dos resíduos, a distribuição dos erros (KLEIN; MOESCHBERGER, 2003).

O gráfico utilizado é o de uma transformação que lineariza a função de sobrevivência do modelo proposto. Isto gera como resultado final, uma reta se o modelo proposto for adequado (COLOSIMO; GIOLO, 2006). Esses gráficos são dados automaticamente em vários softwares estatísticos, por exemplo, o software Minitab® versão 16.

2.11 Indústria 4.0

Quando os computadores passaram a ser interligados em redes, interligou-se o mundo, melhorando a qualidade de produtos e serviços, agilizando as tarefas rotineiras e reduzindo os custos operacionais. A tecnologia mudou o modo de realizar as tarefas, os empregados passaram a ter uma participação mais interativa nos

processos e em contrapartida mudou também a vida das empresas, tornando-as mais competitivas, aumentando assim a expectativa econômica.

Três marcos históricos de grande desenvolvimento tecnológico, mudaram os modelos de produção e foram definidos como Revoluções Industriais. A Primeira Revolução Industrial (entre 1760 e 1840) teve origem na Inglaterra, onde métodos artesanais de fabricação foram substituídos por máquinas movidas a vapor, e culminou na centralização do processo de produção em fábricas.

A Segunda Revolução Industrial (entre 1870 a 1914) teve como principais inovações a eletricidade e a linha de montagem possibilitou a produção em massa. A Terceira Revolução Industrial (começou na década de 1960), também chamada de Revolução Digital, disseminou o uso de semicondutores, computadores, automação e robotização de linhas de produção, armazenando informações em meio digital, surgem a internet e a telefonia móvel (PAGLIOSA; TORTORELLA; FERREIRA, 2018).

Em 2011 na feira de Hannover, na Alemanha, o termo “Indústria 4.0” foi apresentado, referindo-se ao que seria a Quarta Revolução Industrial. Fenômeno que está guiando as transformações nos processos de produção, permitindo segundo Schwab (2016) “fábricas inteligentes”, criando um mundo onde os sistemas físicos e virtuais de fabricação cooperam de forma global e flexível, permitindo a total personalização de produtos e a criação de novos modelos operacionais.

Pagliosa; Tortorella; Ferreira (2018, p. 177) definem Indústria 4.0 como um grupo de tecnologias e conceitos aplicáveis na cadeia de valor de organizações, estabelecendo a interconexão e comunicação em tempo real entre pessoas, equipamentos e produtos.

Schwab (2016) sinaliza que:

A quarta revolução industrial, no entanto, não diz respeito apenas a sistemas e máquinas inteligentes e conectadas. Seu escopo é muito mais amplo. Ondas de novas descobertas ocorrem simultaneamente em áreas que vão desde o sequenciamento genético até a nanotecnologia, das energias renováveis à computação quântica. O que torna a quarta revolução industrial fundamentalmente diferente das anteriores é a fusão dessas tecnologias e a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos. (SCHWAB, 2016, p. 19).

Para Hermann, Pentek e Otto (2015), a Indústria 4.0 é composta por quatro componentes: Sistemas Ciber-Físicos (CPS); Internet das Coisas (*Internet of Things* – IOT); Internet dos Serviços (*Internet of Services* – IOS) e Fábrica Inteligentes.

A ascensão da Indústria 4.0, segundo Gerbert e colaboradores (2015), será alimentada por nove avanços fundamentais da tecnologia. Essa transformação de sensores, máquinas, peças de trabalho e sistemas de Tecnologia da Informação (TI) serão conectadas ao longo da cadeia de valor além de uma única empresa.

Devido aos avanços tecnológicos aliados às tecnologias em desenvolvimento, as nove tendências pilares da Indústria 4.0 estão ilustradas na Tabela 2.6 (GERBERT e colaboradores, 2015):

Tabela 2.6 – Pilares da Indústria 4.0.

Pilar	Característica
Big Data e Análise	Identificar as falhas nos processos da empresa, ajuda a otimizar a qualidade da produção, economizar energia tornando mais eficiente a utilização de recursos da produção.
Internet das Coisas	Conectar as máquinas, por meio de sensores e dispositivos, a uma rede de computadores, possibilitando a centralização e a automação do controle e da produção.
Computação em nuvem	Banco de dados criado pelo usuário, capaz de ser acessado de qualquer lugar do mundo, por meio de uma infinidade de dispositivos conectados à internet.
Robôs autônomos	Além das funções atuais, futuramente, serão capazes de interagir com outras máquinas e com os humanos, tornando-se mais flexíveis e cooperativos.
Simulação	Permite operadores testarem e otimizarem processos e produtos ainda na fase de concepção, diminuindo os custos e o tempo de criação.
Integração horizontal e vertical de sistemas	Sistemas de Tecnologia da Informação que integram uma cadeia de valor automatizada, por meio da digitalização de dados.
Simulação e impressão 3D	Produção de peças, por meio de impressoras 3D, que moldam o produto por meio de adição de matéria-prima, sem o uso de moldes físicos.
Segurança cibernética	Meios de comunicação cada vez mais confiáveis e sofisticados.
Realidade virtual	Sistemas baseados nesta tecnologia executam uma variedade de serviços, como selecionar peças em um armazém e enviar instruções de reparação por meio de dispositivos móveis.

Fonte: GERBERT e colaboradores, 2015. Adaptado por LIRA, 2023.

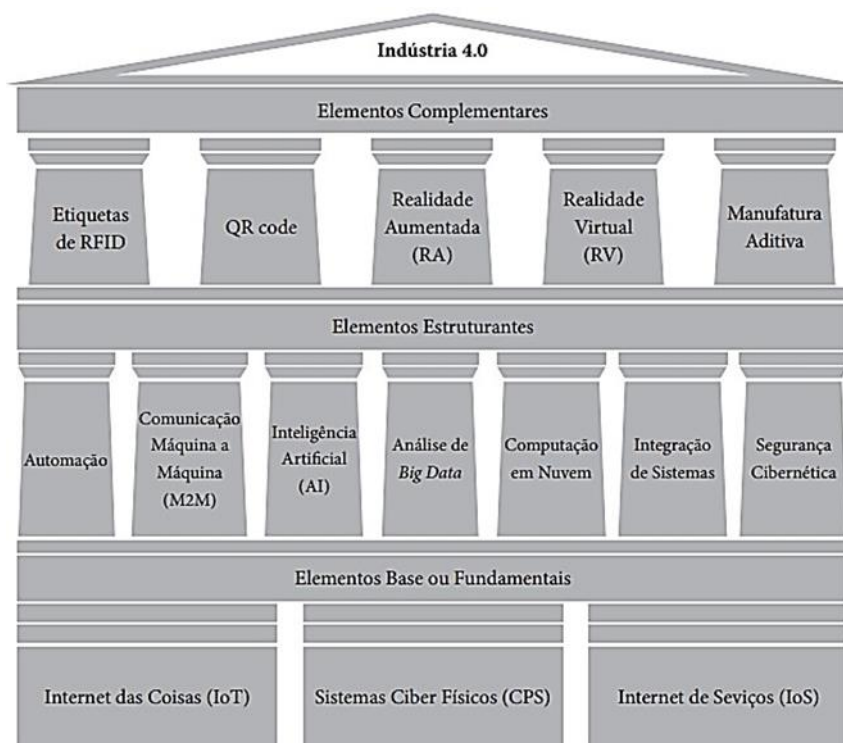
Muitas dessas tecnologias já são utilizadas atualmente de modo isolado, mas com o modelo da Indústria 4.0, elas se transformarão em um fluxo produtivo completamente integrado e automatizado, reduzindo custos e trazendo maior eficiência e interação entre o homem e a máquina. Esse conceito possibilita que as necessidades individuais dos clientes sejam melhores atendidas, permitindo até que itens únicos possam ser produzidos de maneira rentável (IKEZIRI, 2020, p. 6).

Schwab (2016, p. 17) alerta que é, portanto, que nossa atenção e energia

estejam voltadas para a cooperação entre múltiplos stakeholders que envolvem e ultrapassem os limites acadêmicos, sociais, políticos, nacionais e industriais. Para a implementação do programa Indústria 4.0.

A Figura 2.12 ilustra os elementos que compõe a Indústria 4.0, segundo Sacomano e Sátyro (2018, p. 39), todos os elementos de base ou fundamentais, ou mesmo os elementos estruturantes, são igualmente importantes para a Indústria 4.0, complementando os outros elementos.

Figura 2. 12 - Elementos formadores da Indústria 4.0



Fonte: SACOMANO; SÁTYRO, 2018, p. 40

Diante do exposto, segundo Ribeiro e Abreu (2020, p. 15), o propósito dos pilares é otimizar o funcionamento dos processos e produtos em toda a cadeia de valor, disponibilizando as informações necessárias para as pessoas certas no tempo certo por meio de flexibilidade das informações e da conectividade.

O conceito da Indústria 4.0 não apenas promete uma maior eficiência produtiva, mas também visa atender de forma mais precisa e eficaz às necessidades individuais dos clientes. Isso significa que até mesmo produtos únicos poderão ser fabricados de maneira economicamente viável. A Indústria 4.0 melhora a produção e redefine a relação empresa-cliente, influenciando o ciclo de produção de produtos (IKEZIRI, 2020, p. 6).

Outros setores produtivos podem adotar o conceito da Indústria 4.0, como na

agricultura de precisão, supermercados inteligentes, lojas dotadas de câmeras inteligentes, redes de fast-food. Diante da diversidade de aplicação percebe-se que esse conceito da Indústria 4.0 não se limita somente à indústria podendo ser aplicado em outros setores de atividade econômica.

Vê-se que um dos principais benefícios da Indústria 4.0 é a redução de custos e o aumento da eficiência, mas Schwab (2016, p.17) alerta que é, portanto, que nossa atenção e energia estejam voltadas para a cooperação entre múltiplos stakeholders que envolvem e ultrapassem os limites acadêmicos, sociais, políticos, nacionais e industriais. Para a implementação do programa Indústria 4.0 ainda demanda alto grau de estudo e tempo para ser atingida. Segundo Sacomano e Sátyro (2018, p. 33) apesar de toda automação, de toda interconectividade, quem está na direção é o ser humano.

2.12 Estado da Arte

Após uma extensa revisão da literatura, foi conduzido um levantamento abrangente de estudos relevantes no campo em confiabilidade na manutenção. Este levantamento abarca uma ampla gama de fontes, na tabela fornecida, são apresentadas os resultados e uma busca em base de dados acadêmicos, como *Web Of Science*, *Scopes* e *IEEE Xplore*.

Foram consideradas tanto pesquisas recentes quanto estudos clássicos, a fim de proporcionar uma visão abrangente e atualizada do estado do conhecimento sobre o setor específico, como o automobilístico, alimentício, farmacêutico, agrícola e hospitalar, onde indica os setores mais abordados, disponíveis desde 2012 à 2023.

Este parágrafo introdutório serve como uma prévia dos principais achados e tendências observadas, preparando o terreno para a análise detalhada do estado da arte.

Tabela 2.7 - Levantamento de Artigos

String	Setor	WOS	SCOPUS	IEEE	TOTAL
V1	Automobilístico	61	26	78	165
V2	Alimentício	29	3	35	67
V3	Farmacêutico	24	5	40	69
V4	Agrícola	21	13	14	48
V5	Hospital	35	17	72	124
					473

("Confiabilidade" OU "Manutenção" OU "Estratégia" OU "Plano" OU "Análise") E ("Fábrica de Carros" OU "Indústria Automobilística" OU "Equipamento de Refrigeração" OU "Dispositivo de Refrigeração" OU "Ferramentas de Refrigeração")

Fonte: Próprio autor, 2024.

Ao concluir este estado da arte, as perspectivas de Fogliatto e Ribeiro (2009) e Roberts e Barringer (1997) desempenham um papel fundamental na compreensão da confiabilidade e manutenção industrial, especialmente no contexto de sistemas mecatrônicos, conforme o programa.

Suas contribuições destacam o papel do engenheiro de produção na coleta, análise de dados e planejamento de programas de manutenção, além da importância de garantir a operação livre de falhas para sistemas mecatrônicos.

Segundo Ribeiro e Abreu (2020, p. 15), os pilares visam otimizar o funcionamento dos processos e produtos, promovendo flexibilidade e conectividade na disponibilização de informações, ressaltando a interconexão entre confiabilidade, manutenção industrial e otimização de processos em sistemas mecatrônicos.

Outros autores também contribuíram significativamente, enriquecendo a pesquisa com diversas perspectivas, refletindo a complexidade e a importância contínua da pesquisa e avanço dos sistemas mecatrônicos.

3.METODOLOGIA

No âmbito deste estudo, foram investigados 11 modelos de climatizadores de ar evaporativo industrial, semelhantes ao Climatizador De Ar Evaporativo Industrial. A seleção desses modelos foi baseada em critérios específicos de desempenho, eficiência energética e capacidade de cobertura. Cada climatizador, identificado como Modelo 1 até 11, foi submetido a uma análise detalhada, incluindo testes práticos, medições representadas no diagrama de blocos na Figura 3.1. Esses modelos foram utilizados de forma controlada durante as fases experimentais para criar condições ambientais específicas, essenciais para os objetivos da pesquisa.

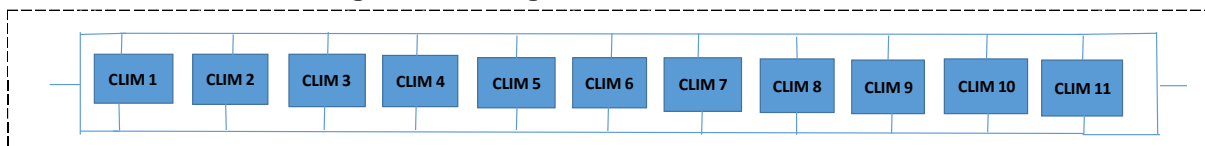
Figura 3. 1 - Climatizador industrial



Fonte: Mktronics Eletrônica, 2024.

Neste capítulo, o diagrama de blocos em paralelo significa que o ar é distribuído de forma simultânea através de múltiplos climatizadores, ao invés de passar por eles em sequência, como ilustrado na Figura 3.2.

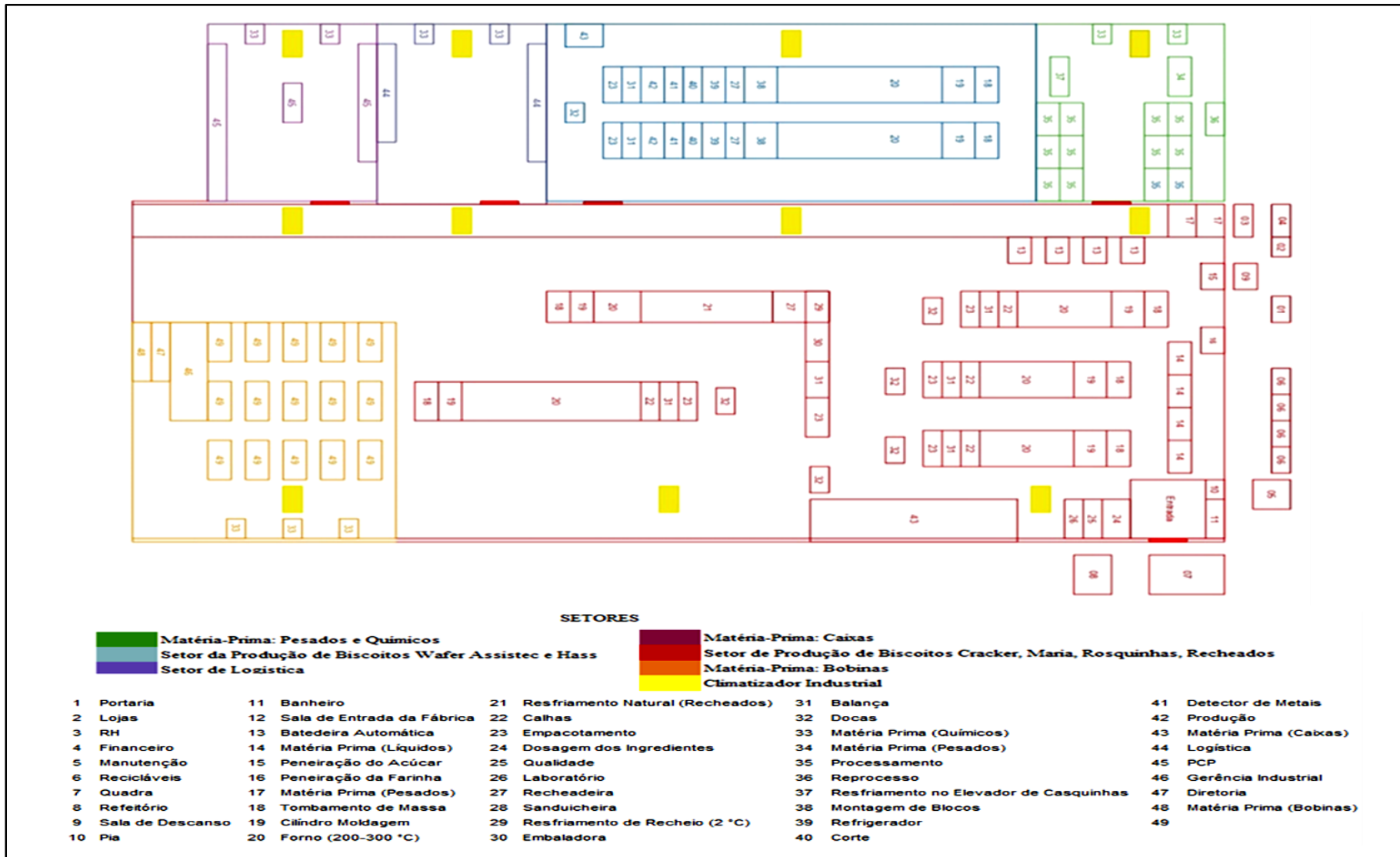
Figura 3. 2 - Diagrama de Blocos em Paralelo



Fonte: Próprio autor, 2024.

Como parte desta pesquisa, a Figura 3.3 apresenta uma descrição detalhada do layout da fábrica, destacando a distribuição dos diferentes setores e áreas de produção. Isso garante uma redundância significativa, ou seja, se um dos climatizadores apresentar falhas, os outros podem continuar operando sem interrupção.

Figura 3. 3 - Layout da Fábrica



Fonte: Próprio autor, 2024.

Assim, procurou entender o impacto das variáveis importantes de mapeamento dentro do processo de manutenção de equipamentos de uma indústria de alimentos e os fatores relevantes de sucesso para o negócio.

Utilizou a metodologia Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM), que traduzido, pode ser entendida como Processo Padrão da Indústria Cruzada para Mineração de Dados, a fim de estruturar e organizar as etapas da análise estatística de Anderson-Darling (AD) utilizando software Minitab® versão 16 sendo empregado para quantificar a qualidade da aderência dos dados a uma distribuição específica.

Diante destas informações, a pesquisa é considerada como documental e aplicada, onde se busca reproduzir conhecimentos para a resolução de problemas específicos dentro da empresa. Gil (2022, p. 45), explana que a pesquisa documental vale de toda sorte de documentos, elaborados com finalidades diversas, tais como assentamento, autorização, comunicação etc.

Assim, a pesquisa documental é elaborada a partir de materiais que não receberam tratamentos analíticos e que podem ser reformulados em concordância com os objetivos da pesquisa a ser realizada, possibilitando o encontro de uma série de informações a fim de certificar a presença ou não de uma determinada hipótese (OLIVEIRA, 1998).

Diante este contexto, a coleta de dados foi realizada com a extração dos dados de tempos de reparo e tempos entre falhas disponíveis no sistema de gestão e banco de dados da empresa foco do estudo. Com isso, pode-se dizer que ao seguir as etapas da metodologia de uma pesquisa, se está respeitando as normas necessárias para que o conhecimento produzido não perca sua validade.

O estudo é sem censura, fornecem uma visão mais precisa da distribuição, permitindo uma análise mais direta e confiável dos dados observados. Em resumo, a presença de censura nos dados podem influenciar as conclusões estatísticas e requer métodos especiais para lidar com essa limitação durante a análise, pois afeta a cauda tanto a direita como a esquerda.

As hipóteses são formuladas para o teste de aderência com o objetivo é determinar se os dados seguem uma distribuição específica ou há evidências para rejeitar essa hipótese em favor de uma distribuição diferente.

3.1 Característica da Empresa

A empresa em estudo atua no ramo de alimentos. Este estudo abrange 11 equipamentos de climatização industrial utilizados para climatizar todos os setores produtivos automatizados, visando o controle biológico.

Na modelagem é um processo crítico, pois uma escolha inadequada pode levar a estimativa imprecisa e conclusões errôneas, o essencial é realizar a análise de forma cuidadosa e diferentes modelos paramétricos antes de tomar uma decisão.

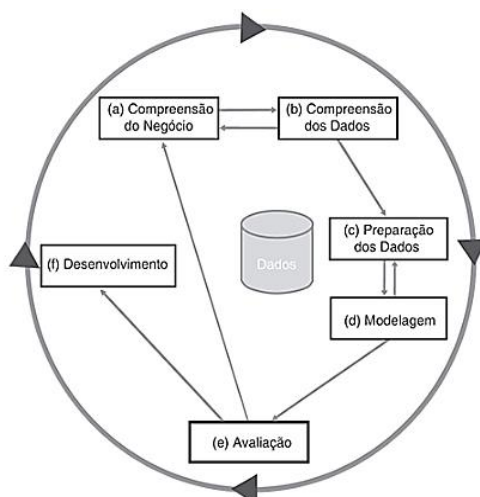
3.2 Análise dos Dados

O software Minitab® versão 16 foi empregado para realizar a análise estatística dos dados, contribuindo para a avaliação da estratégia de manutenção em equipamentos de climatização na indústria alimentícia. Foi utilizada a metodologia CRISP-DM que foi criada em 1996 com o objetivo de padronizar os processos de mineração de dados. Compreende seis fases como mostra a Figura 3.4.

No contexto da distribuição, o modelo de referência de análise de dados para identificar falhas, prever a vida útil dos componentes e otimizar o desempenho do sistema.

Suas fases, adaptadas para este fim, incluem definição de objetivos, coleta e preparação de dados, análise exploratória, aplicação de modelos estatísticos ou de aprendizado de máquina, interpretação dos resultados e comunicação das descobertas.

Figura 3. 4 - Fases do Modelo de Referência de Análise de Dados



Fonte: GOLDSCHIMIDT; PASSOS; BEZERRA, 2015, p. 167.

3.2.1 Compreensão do Negócio

Fase inicial do processo, focada nos problemas, objetivos e especificações com uma perspectiva de negócio. A partir desse conhecimento é definido um problema de Ciência dos Dados para ser solucionado por meio dos recursos determinados através das bibliotecas e ferramentas disponíveis e de fácil entendimento e acesso para elaboração de projetos de ciência de dados conforme software Minitab® versão 16. Esta etapa envolve a coleta de dados das 399 do MTTR e MTBF de 11 Climatizadores utilizados no processo produtivo no período de janeiro de 2012 à junho de 2023.

Apesar de ser no início, essa visão deve acompanhar todo o processo, e é um dos principais motivos de ele ser contínuo, pois as fases não podem perder o foco no objetivo final.

3.2.2 Compreensão dos Dados

Os dados são a matéria-prima para a solução. Nessa fase, os dados são avaliados quanto à qualidade e são explorados para gerar informações iniciais e formular hipóteses sobre o problema em questão.

Proporcionando uma visão abrangente e representativa do desempenho dos equipamentos ao longo desse intervalo temporal específico. Os atributos são tanto contínuos como categóricos e ao alvo pode assumir duas classes, 0 ou 1, que indica não aprovação e aprovação, respectivamente.

3.2.3 Preparação dos Dados

Os dados observados e tidos como relevantes nas etapas anteriores, considerando os objetivos do projeto, serão separados para utilização na etapa de criação e implementação do modelo. O que inclui etapas como a seleção dos dados (instâncias e atributos), integração, limpeza e transformação.

Após a coleta de dados diante do levantamento de gráficos de distribuição probabilística e a estatística descritiva e EMV dos parâmetros do modelo é comum realizar uma análise exploratória dos dados, incluindo a criação de gráficos para visualizar a distribuição em MTTR e MTBF, pode identificar padrões e determinar quais distribuições podem melhor representar os dados.

Nesta etapa, os dados são preparados para os algoritmos de aprendizagem de máquina e tabulados para determinar a viabilidade. De acordo com Klemettinen et al. (1994), a fase da preparação dos dados é o momento que compromete até 80% do processo de mineração em decorrência da necessidade de realização de atividades de pré-processamento, incluindo limpeza, integração, transformação, seleção de atributos e redução de volume de dados.

3.2.4 Modelagem Estatística

Fase em que um modelo estatístico é explicitado através de uma equação matemática que combina variáveis independentes, chamadas de explicativas, que podem justificar uma variável dependente ou alvo.

Após a estimativa dos parâmetros, é importante avaliar a qualidade de ajustes das distribuições. Feito por meio de teste de aderência sobre as distribuições.

É nessa fase onde as técnicas de Mineração de Dados (MD) são aplicadas, com intuito de descobrir padrões nos dados. Diversas técnicas são utilizadas e a preparação dos dados tem forte influência no resultado obtido, por isso, muitas vezes é necessário voltar uma etapa.

O modelo quantitativo aqui desenvolvido caracteriza-se como probabilístico porque os valores das variáveis de decisão não são conhecidos com certeza. Este é um modelo paramétrico que tenta fornecer uma boa distribuição de probabilidade para seus dados.

A análise estatística começou usando técnicas gráficas para verificar a concordância dos dados, Exponencial, Gama, Log-normal e a distribuição Weibull para cada dispositivo. A estatística de Anderson-Darling mede quão bem os dados seguem uma distribuição particular. Em geral, quanto melhor a distribuição se ajustar aos dados, menor será o valor da estatística AD.

As hipóteses nula (H_0) e alternativa (H_1) para o teste de Anderson-Darling são dadas por:

H_0 : Os dados seguem uma distribuição específica;

H_1 : Os dados não seguem nenhuma distribuição particular.

Essas hipóteses estabeleceram a base para a avaliação estatística, permitindo a determinação de quão bem os dados se alinham com as distribuições consideradas.

Se o valor-p do teste de Anderson-Darling for menor do que o nível de significância escolhido entre 5% ou 10%, conclui-se que os dados não seguem a distribuição especificada. No entanto, o software Minitab® versão 16 nem sempre exibe um valor-p para o teste de Anderson-Darling, pois ele não existe matematicamente para determinados casos. Quando se está comparando o ajuste de diversas distribuições, a determinados casos.

Quando se está comparando o ajuste de diversas distribuições, a distribuição com o maior valor-p, normalmente, tem o ajuste mais próximo aos dados, mas nem sempre os testes não-paramétricos são sensíveis na discriminação de modelos probabilísticos adequados aos dados. Se as distribuições tiverem valores-p similares, deve-se escolher uma das distribuições com base no conhecimento prático e simplicidade das interpretações.

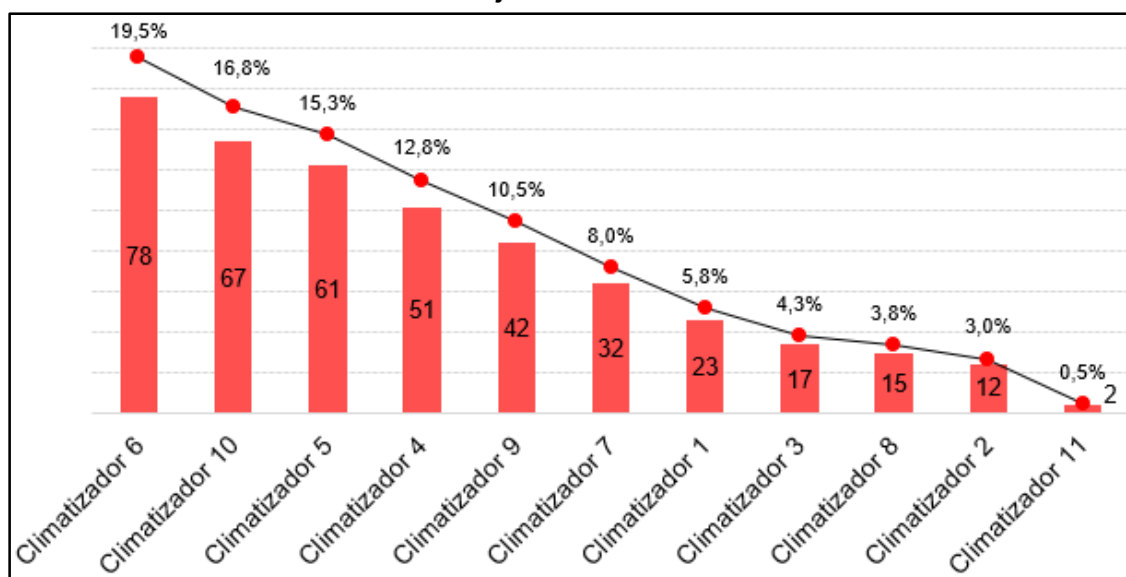
Na disponibilidade se enquadra em todas as fases do modelo de análise de dados trazendo resultados dos modelos obtidos e identificando oportunidades para melhorias.

4. RESULTADOS

4.1 Frequência de Falhas

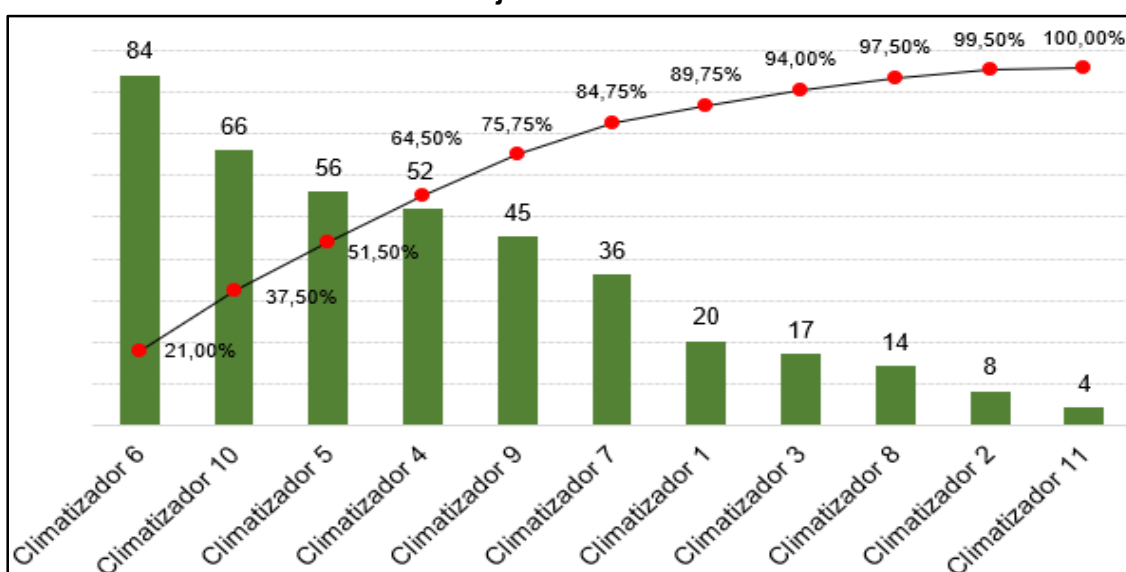
Desse modo, os climatizadores escolhidos para amostra são um conjunto de 11 equipamentos, os quais concentram a maior frequência de falhas. A amostra possui 399 observações referentes aos dados de tempo de reparo e tempo entre falhas como ilustram as Figura 4.1 e 4.2 respectivamente.

Figura 4. 1 - Distribuição de frequência de reparo por climatizador - Período de janeiro de 2012 à junho de 2023



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4. 2 - Distribuição de frequência de falhas por equipamento - Período de janeiro de 2012 à junho de 2023



Fonte: Próprio autor, 2023.

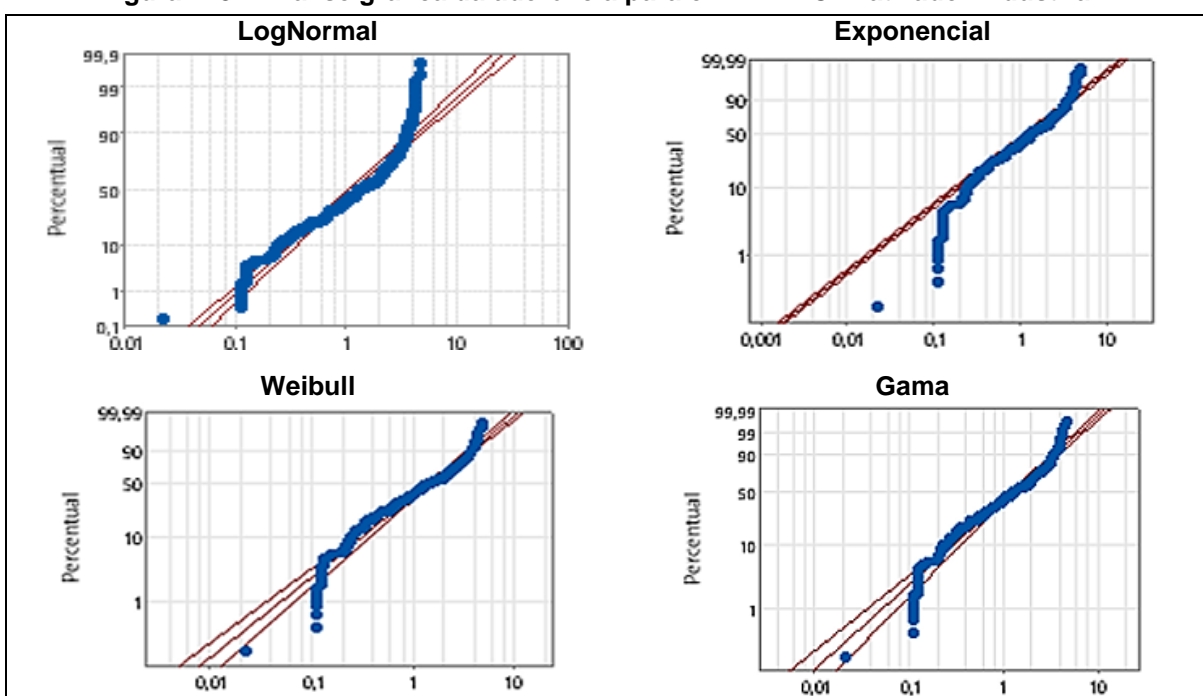
4.2 Análise Gráfica Probabilísticas

Elsayed (1998), destaca em sua pesquisa a aplicação do teste de Anderson-Darling na análise estatística de dados de tempos de reparo e tempo entre falhas em equipamentos industriais, onde explora a sensibilidade do teste na identificação do ajuste de diferentes distribuições probabilísticas, enfatizando a importância da interpretação visual através de gráficos probabilísticos. O estudo evidenciou que a escolha da distribuição mais apropriada pode ser para uma modelagem confiável da confiabilidade dos equipamentos.

Fogliatto (2011) aborda a análise de dados de tempos de reparos e de falhas em equipamentos, destacando a importância desse processo, incluindo o teste de Anderson-Darling, para avaliar o ajuste de diferentes distribuições como LogNormal, Exponencial, Weibull e Gama. Ressalta a importância de considerar a sensibilidade do teste de Anderson-Darling na escolha das distribuições, bem como a necessidade de uma abordagem visual para uma análise mais abrangente.

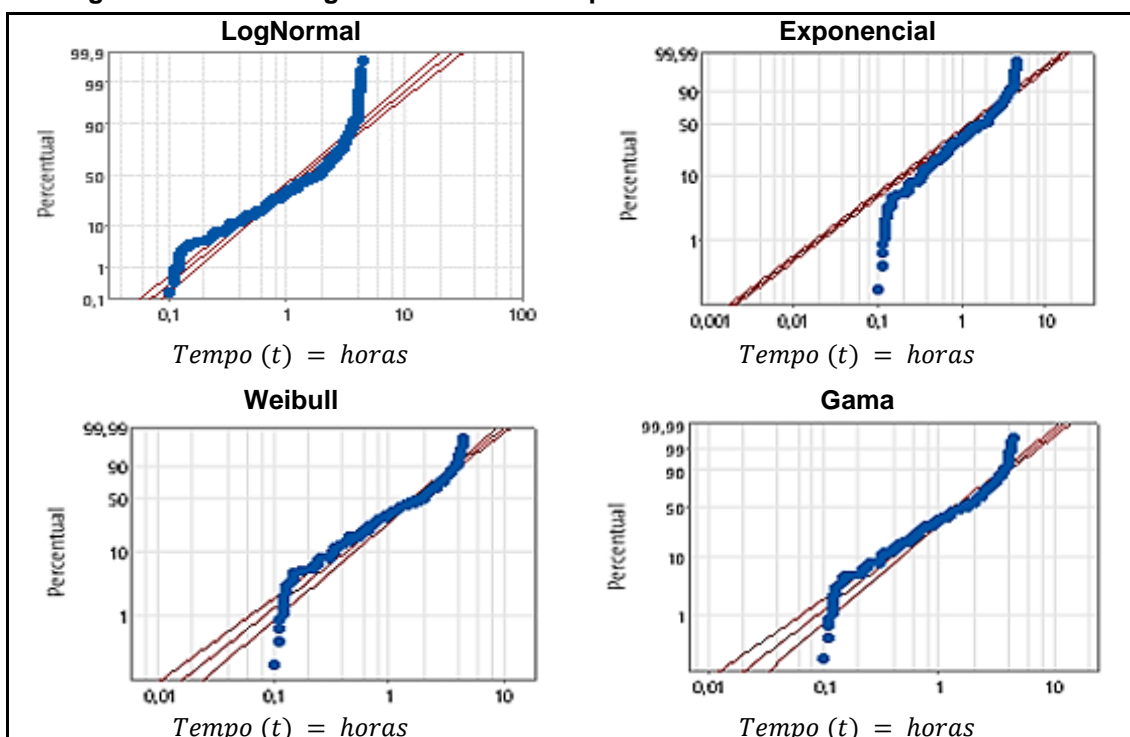
A fim de verificar a adequabilidade do modelo estudado, foi utilizado o uso de gráficos probabilísticos associados a cada distribuição de probabilidade assumida para os dados. As Figuras 4.3 à 4.13 foram obtidos através do software Minitab® versão 16, sendo possível observar a aderência de cada modelo proposto para analisar os tempos de reparo dos 11 climatizadores industriais.

Figura 4.3 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 1



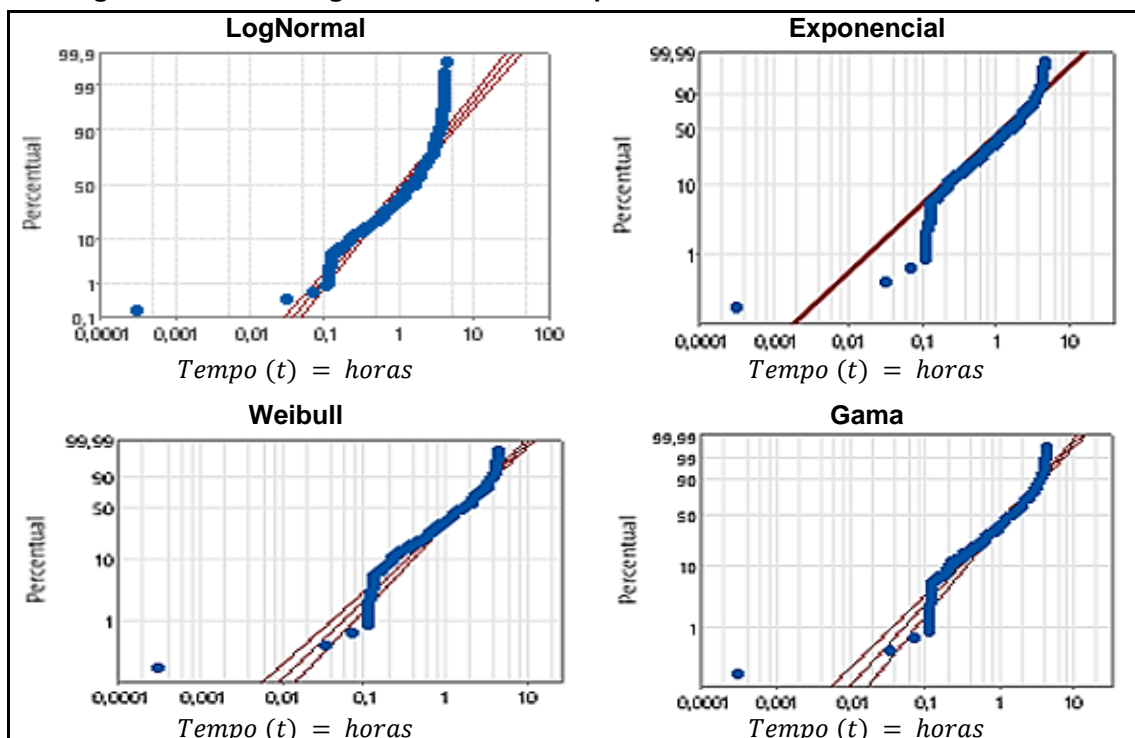
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4. 4 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 2



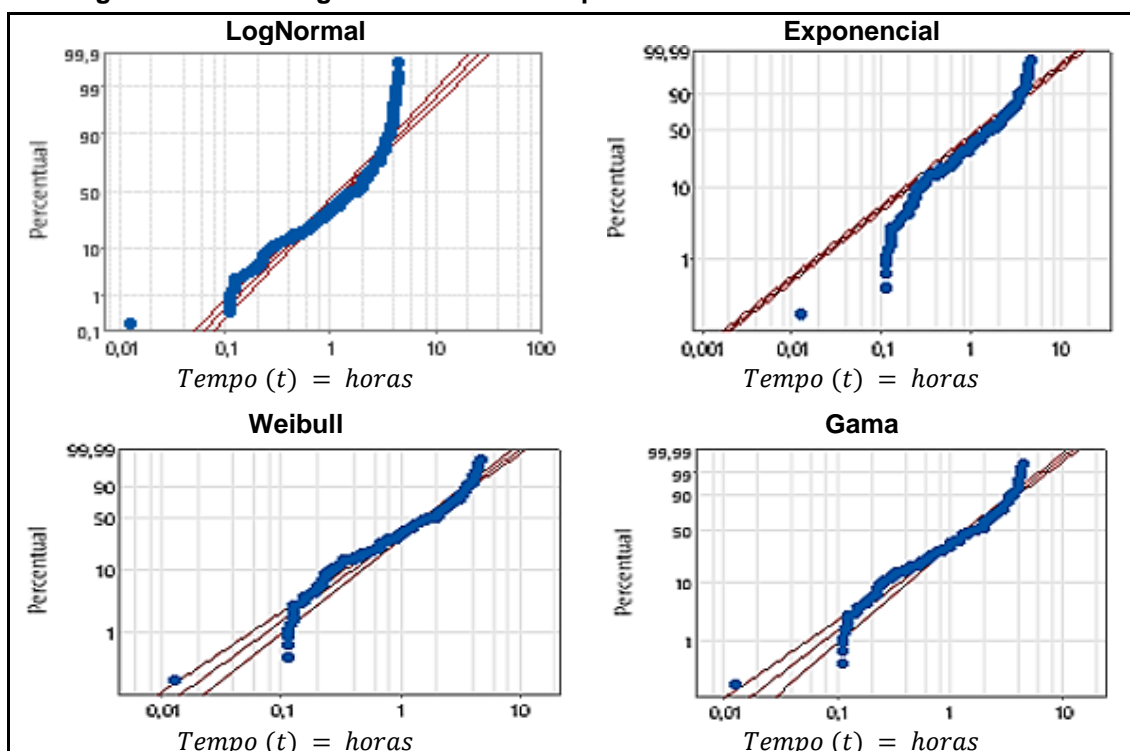
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4. 5 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 3



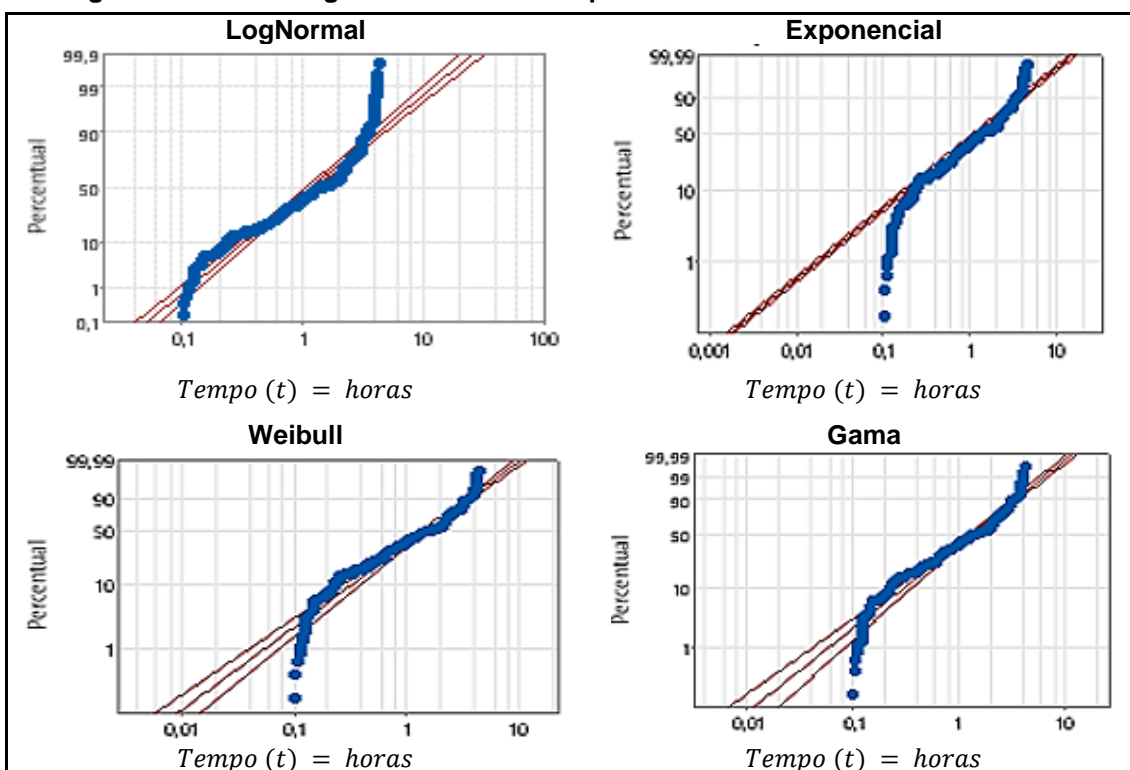
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4. 6 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 4



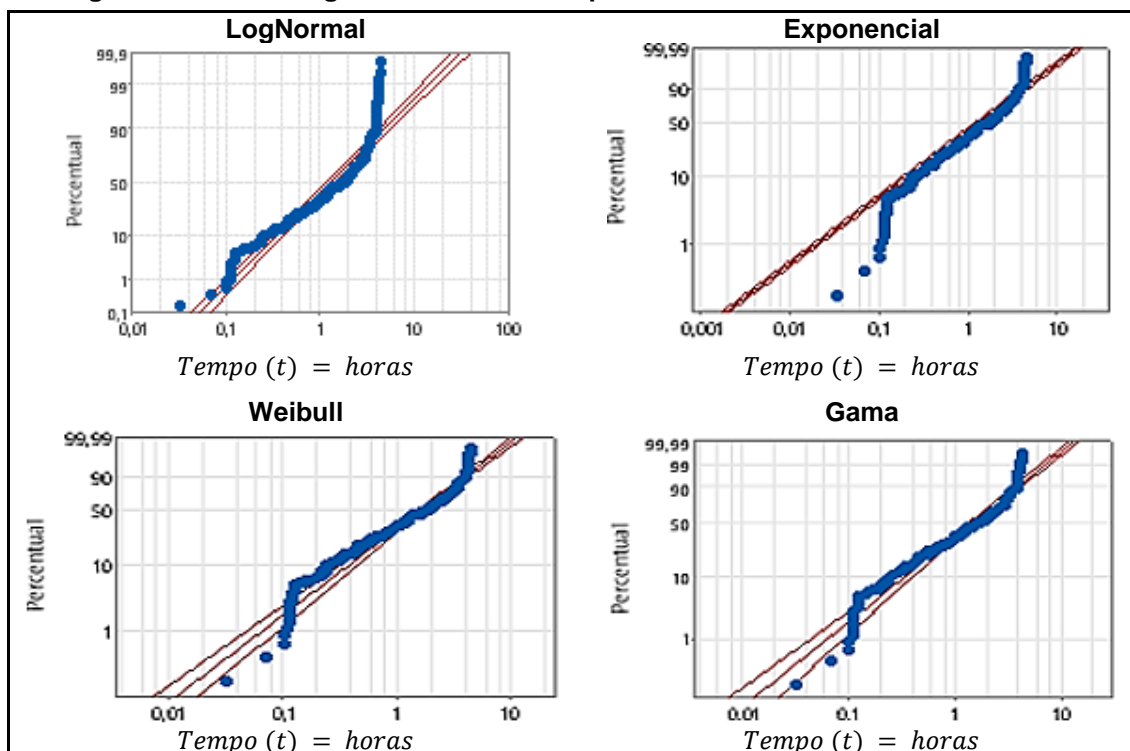
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4. 7 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 5



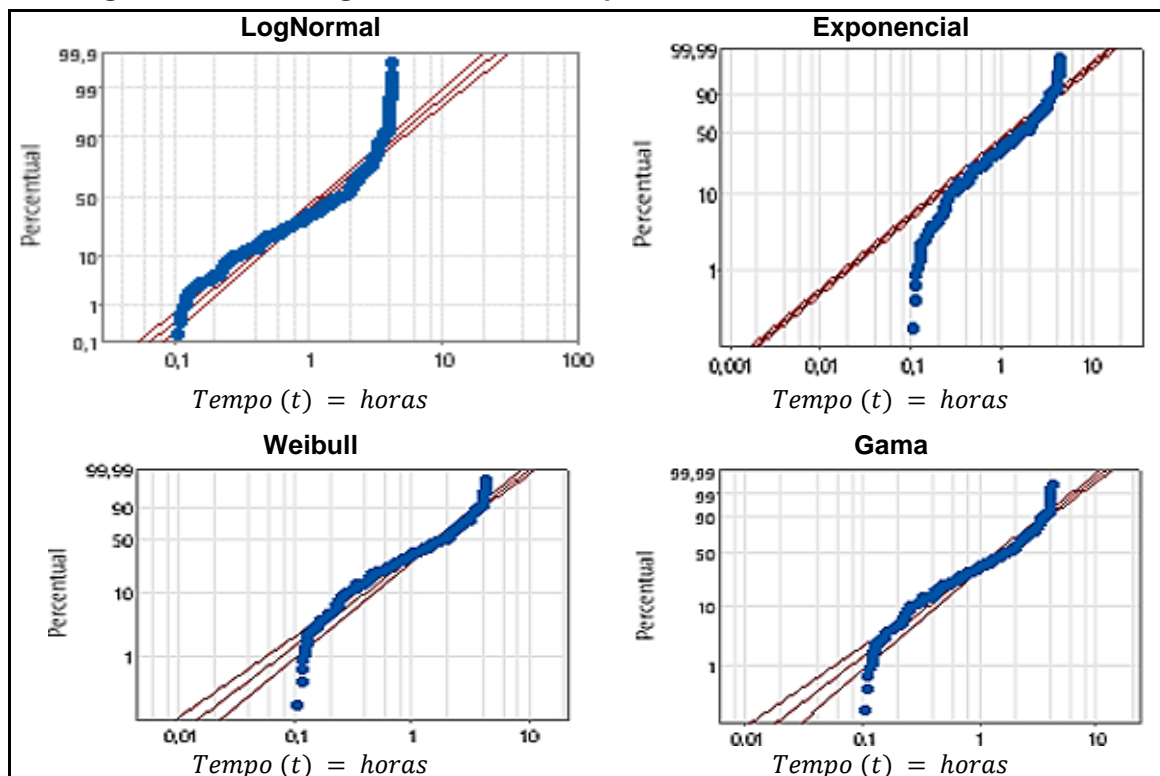
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4. 8 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 6



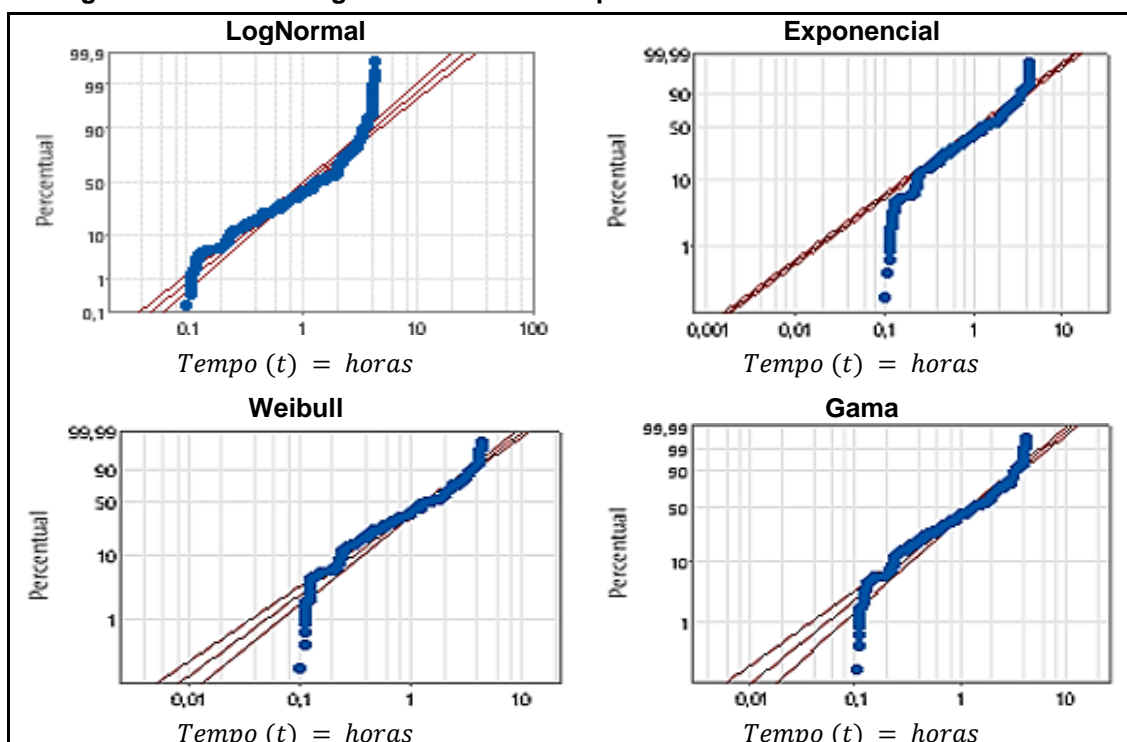
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4. 9 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 7



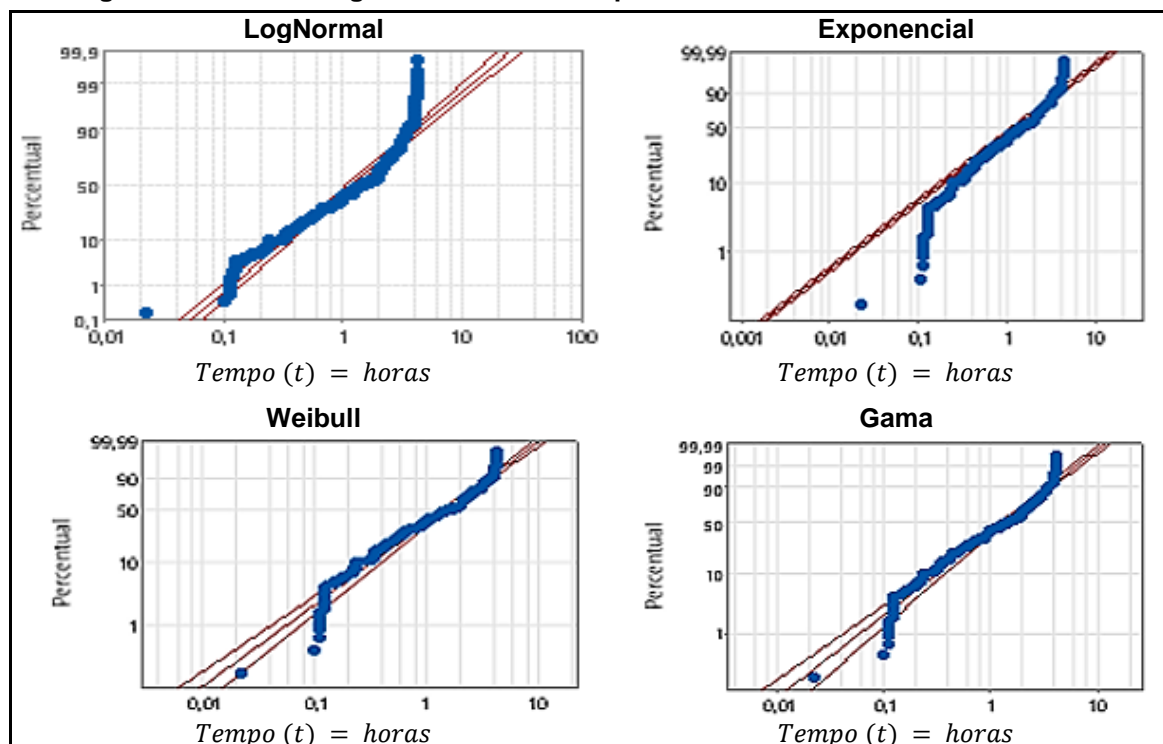
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4. 10 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 8



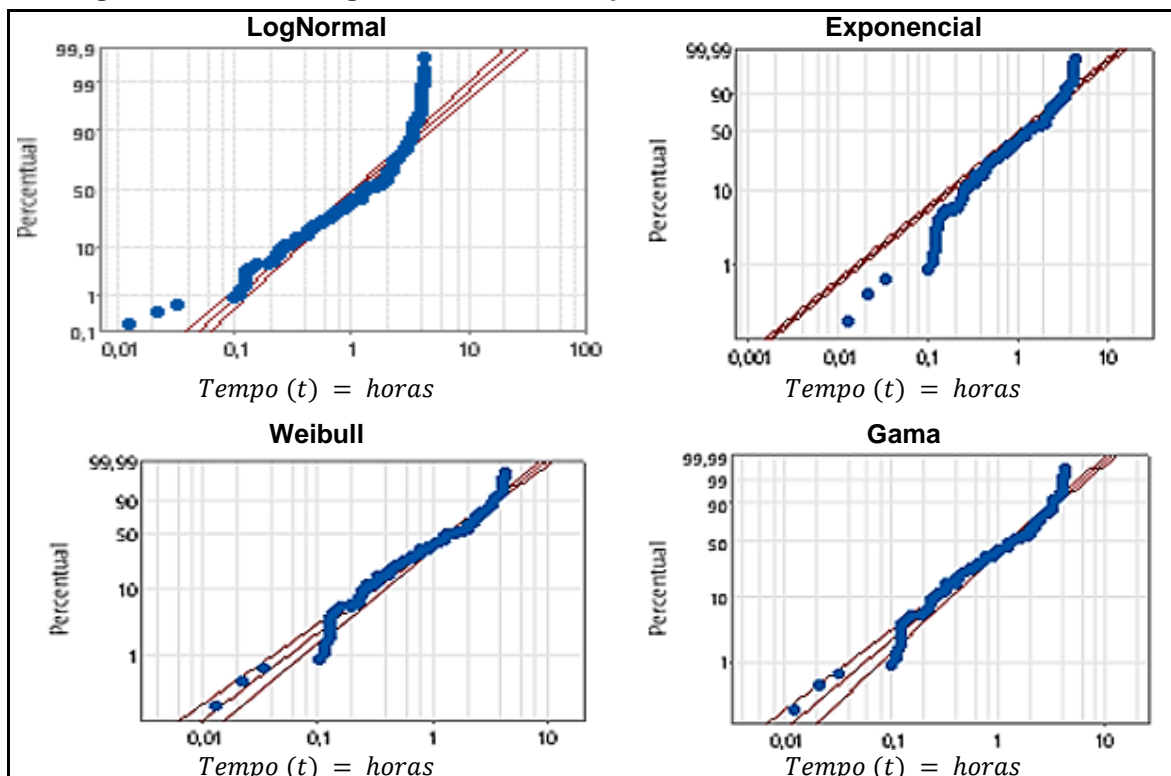
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4. 11 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 9



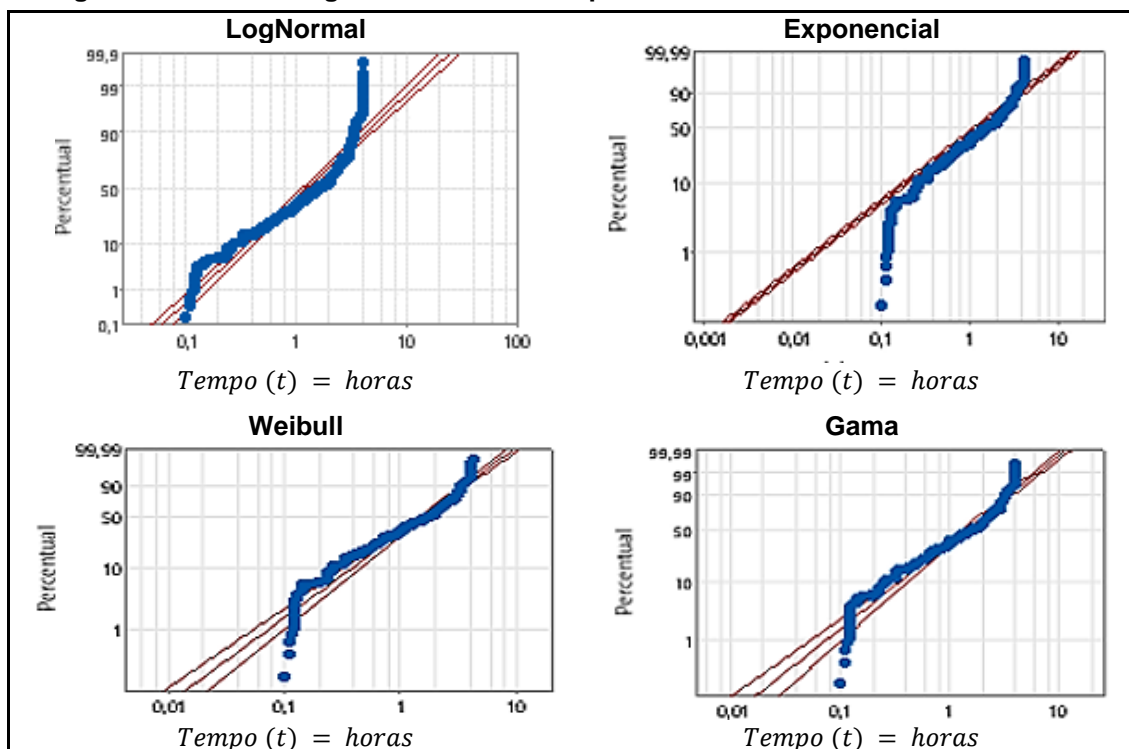
Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4. 12 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 10



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4. 13 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Climatizador Industrial 11



Fonte: Próprio autor, 2023.

A partir da análise gráfica da aderência para os MTTRs foram selecionadas as distribuições com melhor ajuste. No Tabela 4.1 são apresentadas as distribuições selecionadas a partir dos gráficos probabilísticos dados nos Figura 4.3 à 4.13, bem como os valores-p do teste não-paramétrico de Anderson-Darling, que só foi sensível ao ajuste da distribuição: Weibull para o MTTR do Equipamento 10, apresentando $valor - p = 4,365 > 0,010$. Visualmente, é possível verificar o bom ajuste da distribuição Weibull para os MTTR dos 11 Climatizadores Industriais.

Tabela 4. 1 - Seleção da distribuição com melhor ajuste – MTTR

Equipamento	Distribuição			
	LogNormal	Exponencial	Weibull	Gama
1	AD: 7,864 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 6,354 Valor p: >0,003 Rejeitada	AD: 4,443 Valor p: >0,010 Rejeitada	AD: 4,398 Valor p: <0,005 Não Rejeitada
2	AD: 10,371 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 12,178 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 5,355 Valor p: <0,010 Não Rejeitada	AD: 5,722 Valor p: >0,005 Rejeitada
3	AD: 10,484 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 8,137 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 4,340 Valor p: <0,010 Não Rejeitada	AD: 4,699 Valor p: >0,005 Rejeitada
4	AD: 10,315 Valor p: >0,005 Rejeitado	AD: 11,136 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 4,764 Valor p: <0,010 Não Rejeitada	AD: 5,225 Valor p: >0,005 Rejeitada
5	AD: 9,611 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 8,030 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 5,142 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 5,260 Valor p: >0,005 Rejeitada
6	AD: 11,595 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 9,966 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 6,269 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 6,434 Valor p: >0,005 Rejeitada
7	AD:10,755 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 11,283 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 5,681 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 6,055 Valor p: >0,005 Rejeitada
8	AD: 8,859 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 7,122 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 4,994 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 5,025 Valor p: >0,005 Rejeitada
9	AD: 8,182 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 7,776 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 4,130 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 4,266 Valor p: >0,005 Rejeitada
10	AD: 8,238 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 8,234 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 4,365 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 4,470 Valor p: >0,005 Rejeitada
11	AD: 11,238 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 11,639 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 5,812 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 6,205 Valor p: >0,005 Rejeitada

Fonte: Próprio autor, 2023.

Procedendo à análise do Tempo de Reparo (MTTR) para os 11 Equipamentos de Climatizadores industriais. Através da ferramenta, ajustado ao modelo Weibull aos dados de MTTR, permitindo que o software otimizasse automaticamente os parâmetros da distribuição para melhor se ajustar aos dados reais. A análise gráfica revelou uma notável consistência entre a distribuição Weibull e os dados observados de tempo de reparo. Destaca que o Equipamento 10 demonstrou o melhor ajuste durante essas análises, corroborando a eficácia na descrição do comportamento dos tempos de reparo nesse conjunto de equipamentos. Isso modelo Weibull como uma representação adequada da variabilidade nos tempos de reparo, fornecendo uma base para a subsequente modelagem da confiabilidade desses equipamentos.

O procedimento de análise do Tempo Entre Falhas (MTBF) utilizando o software sendo bastante acessível e eficiente. Após a importação simples dos dados dos MTBFs para a plataforma, o pesquisador pode facilmente gerar Figura probabilísticos (4.14 ao 4.24) selecionando as opções apropriadas. Essas Figuras oferecem uma representação visual clara da aderência dos dados aos modelos propostos, simplificando a identificação de padrões e discrepâncias. O processo intuitivo facilita a avaliação do ajuste dos equipamentos às distribuições teóricas, proporcionando ao pesquisador uma abordagem descomplicada e eficaz na escolha dos modelos mais apropriados para a modelagem da confiabilidade dos equipamentos.

Essa abordagem ampliou a compreensão da adequação das distribuições propostas para os tempos entre falhas nos equipamentos de climatização dentro da fábrica de alimentos, conferindo maior confiança aos resultados da análise estatística.

Figura 4. 14 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 1 - Continua

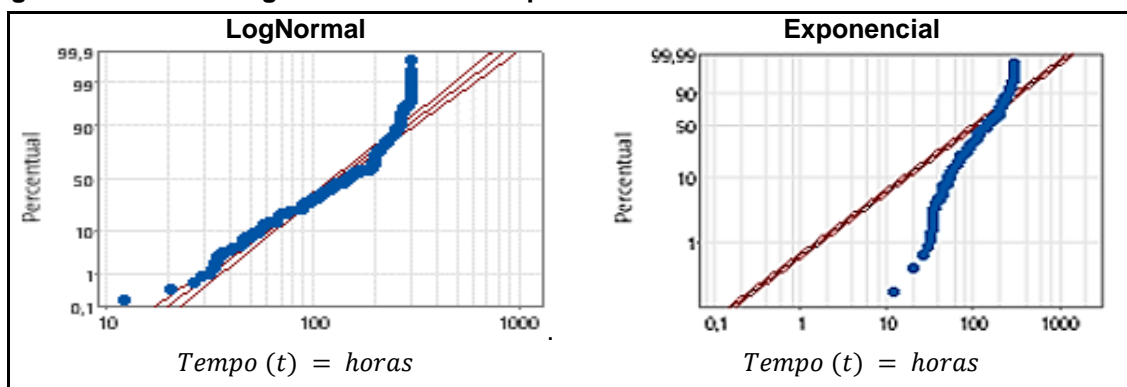
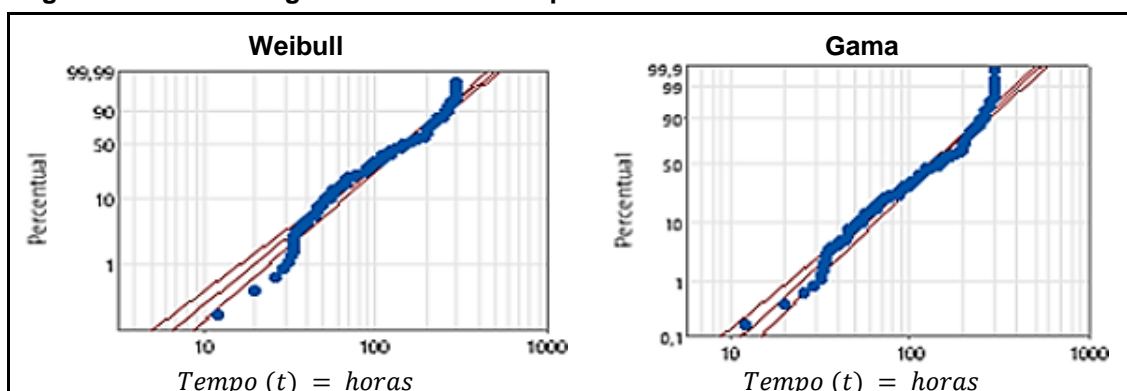
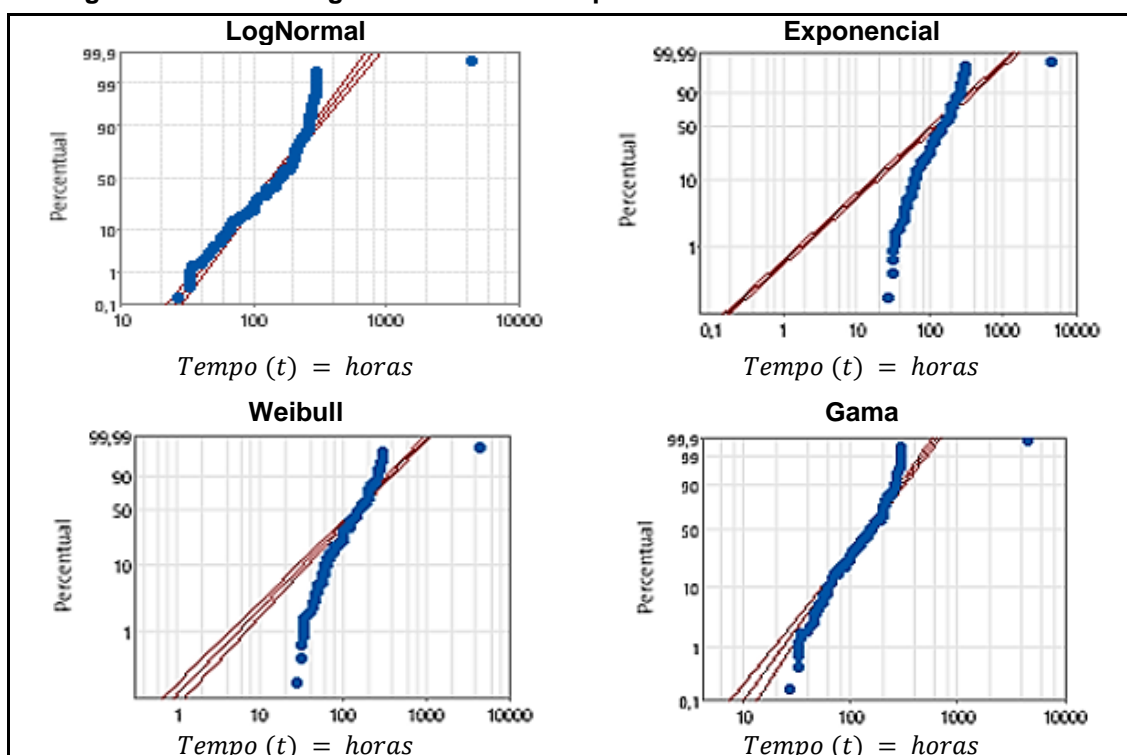


Figura 4.14 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 1 - Final



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4.15 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 2



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4.16 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 3 - Continua

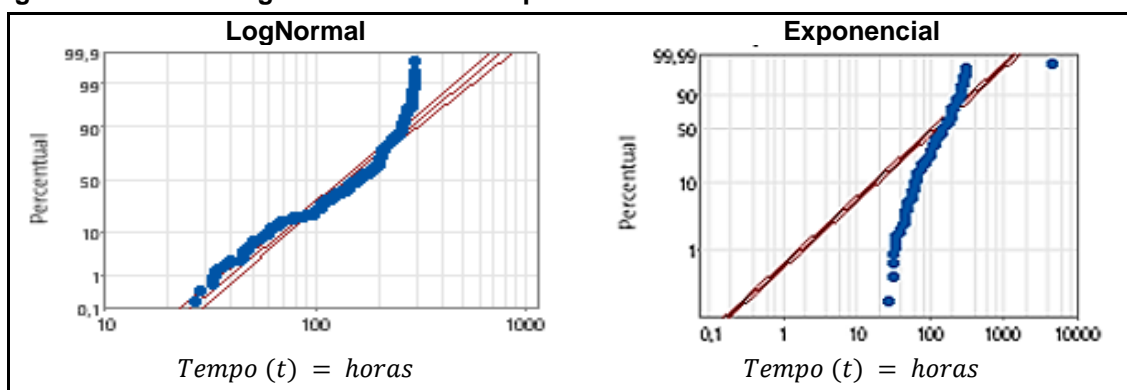
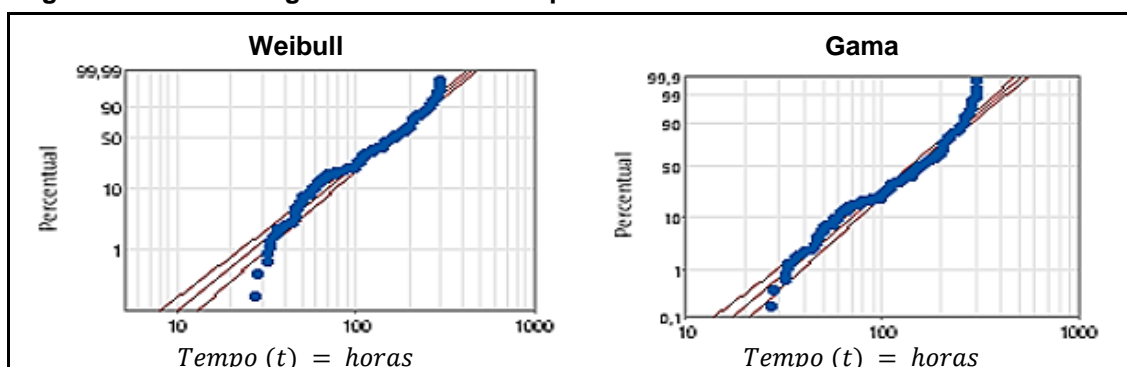
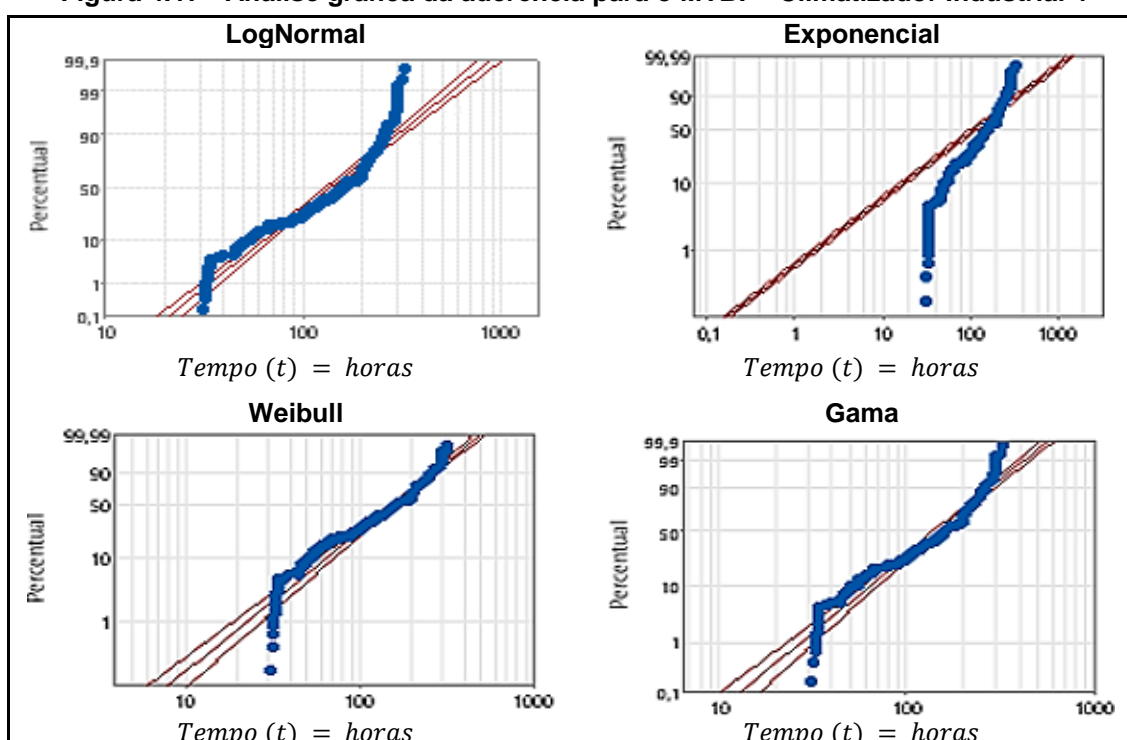


Figura 4.16 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 3 - Final



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4.17 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 4



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4.18 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 5 - Continua

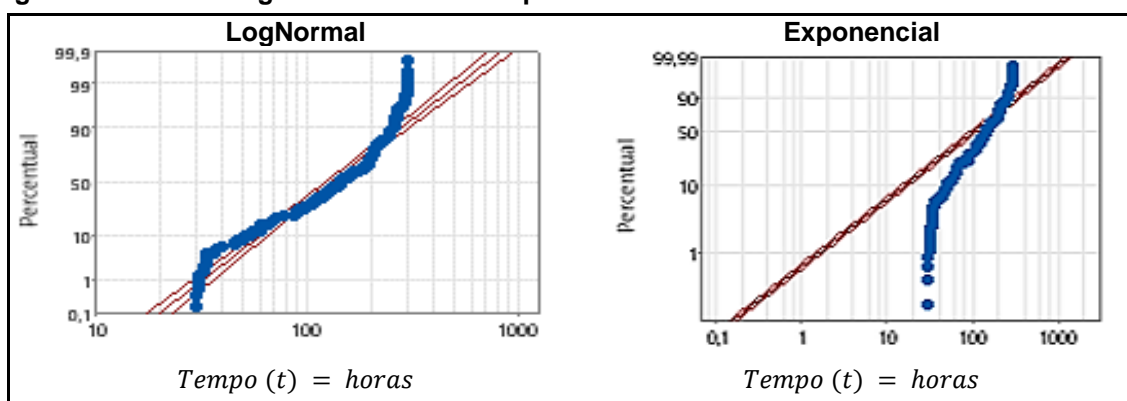
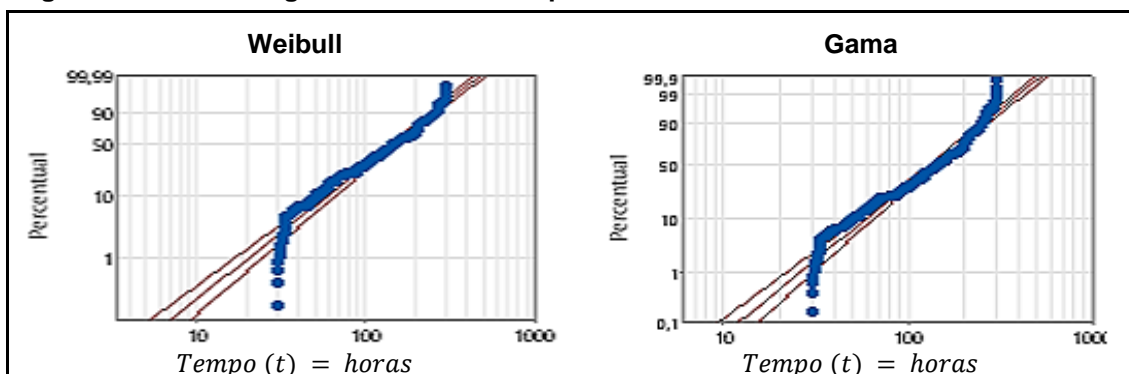
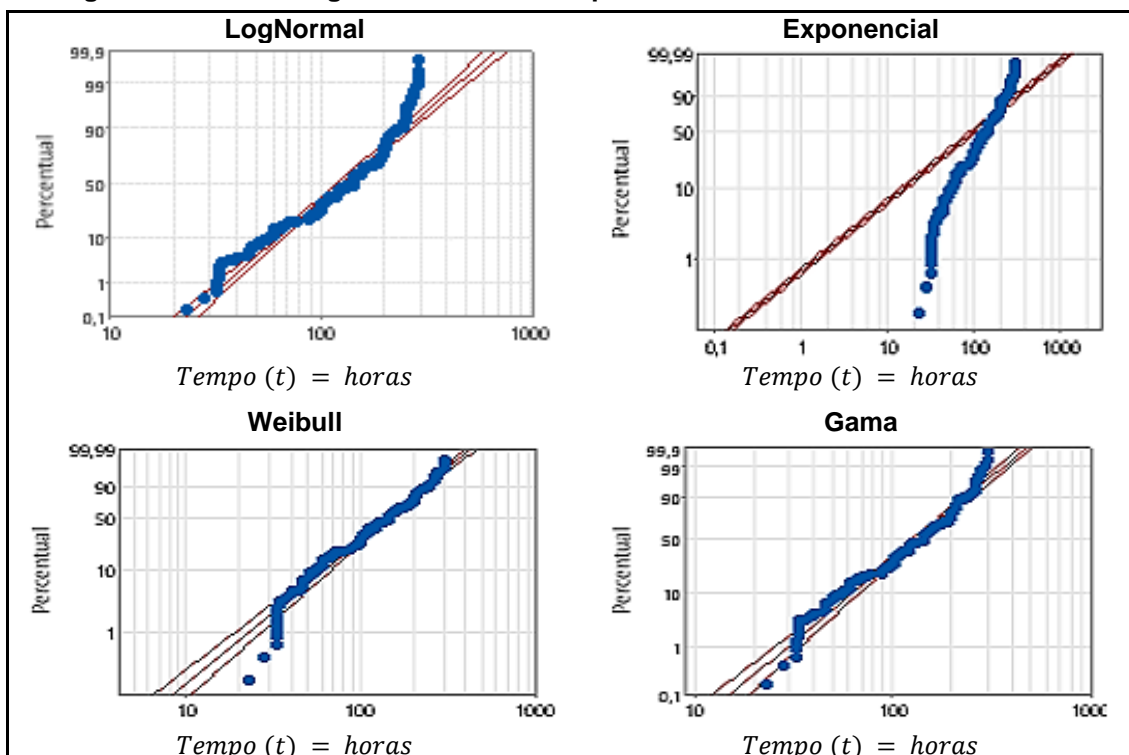


Figura 4.18 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 5 - Final



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4.19 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 6



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4.20 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 7 - Continua

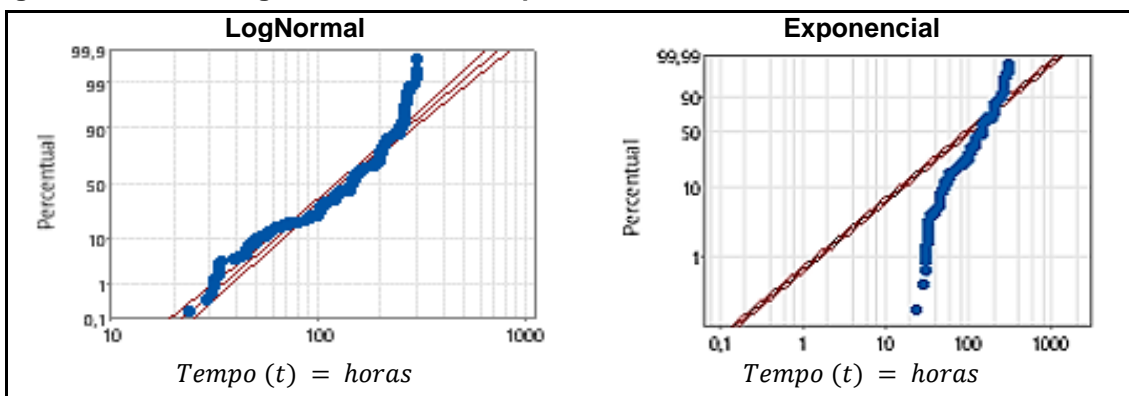
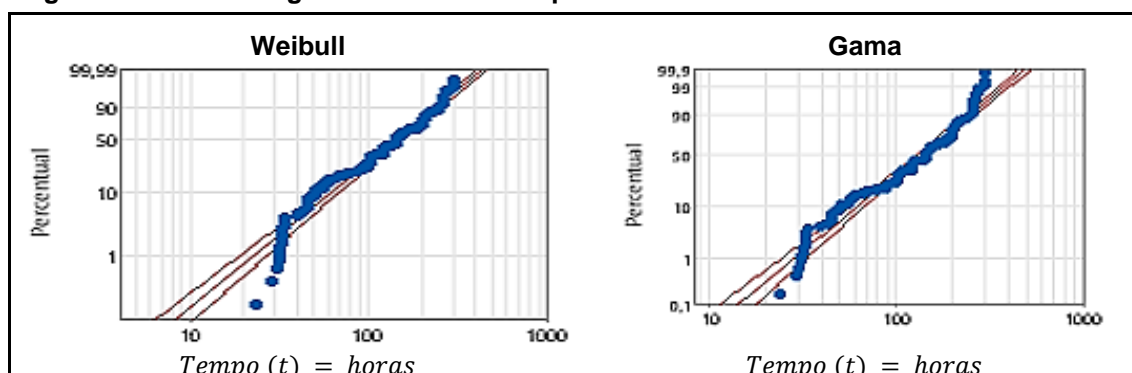
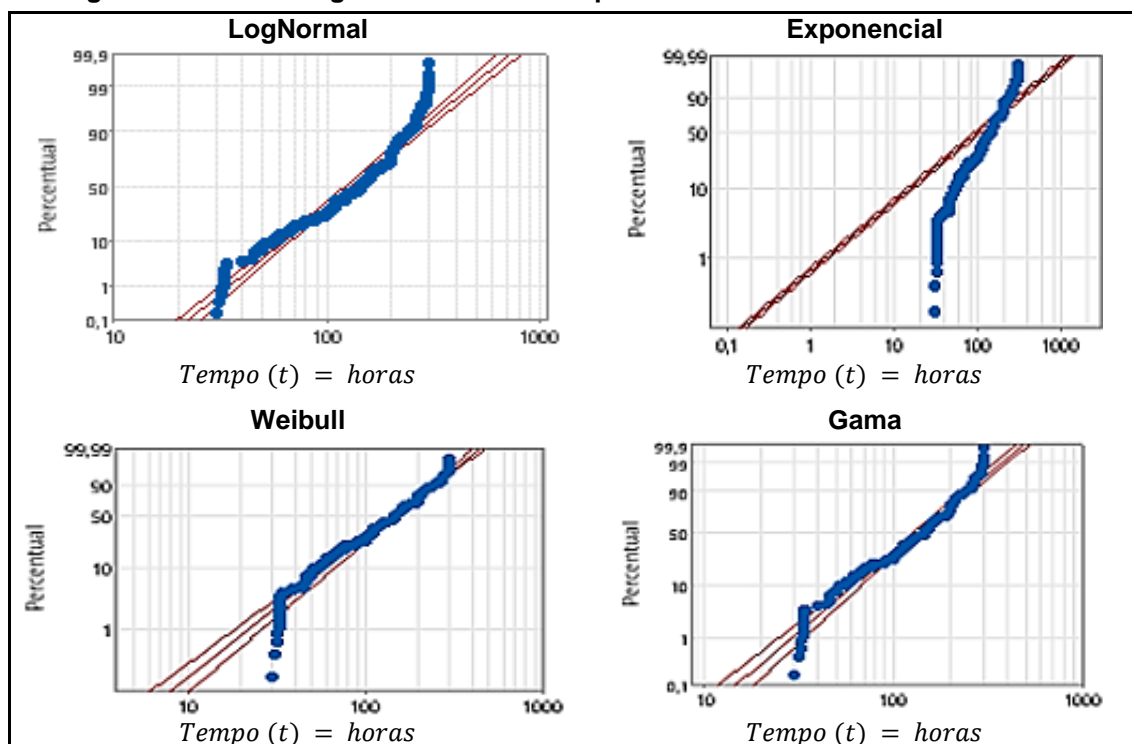


Figura 4.20 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 7 - Final



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4.21 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 8



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4.22 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 9 - Continua

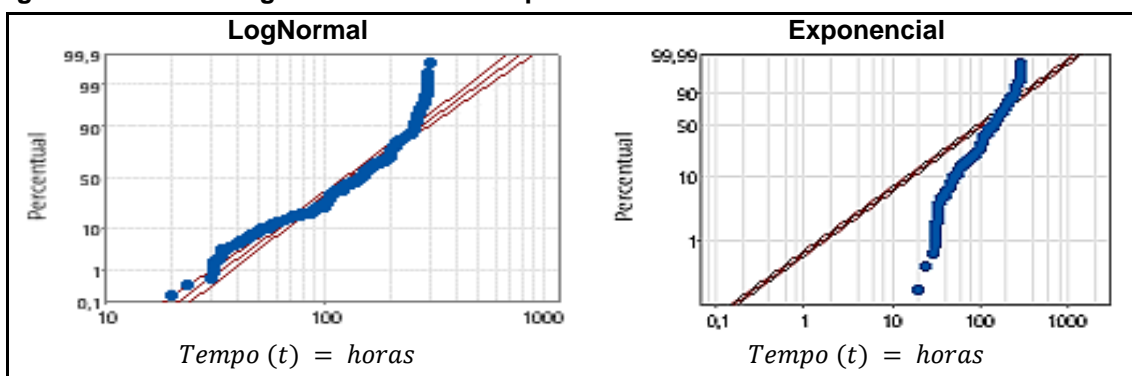
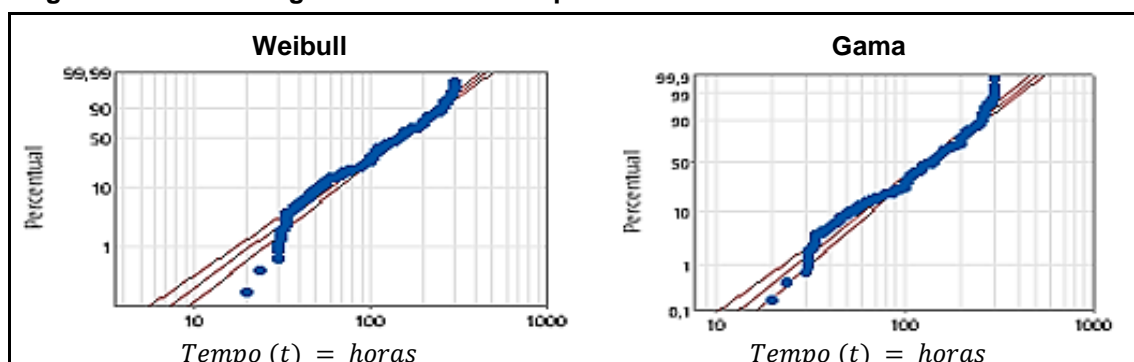
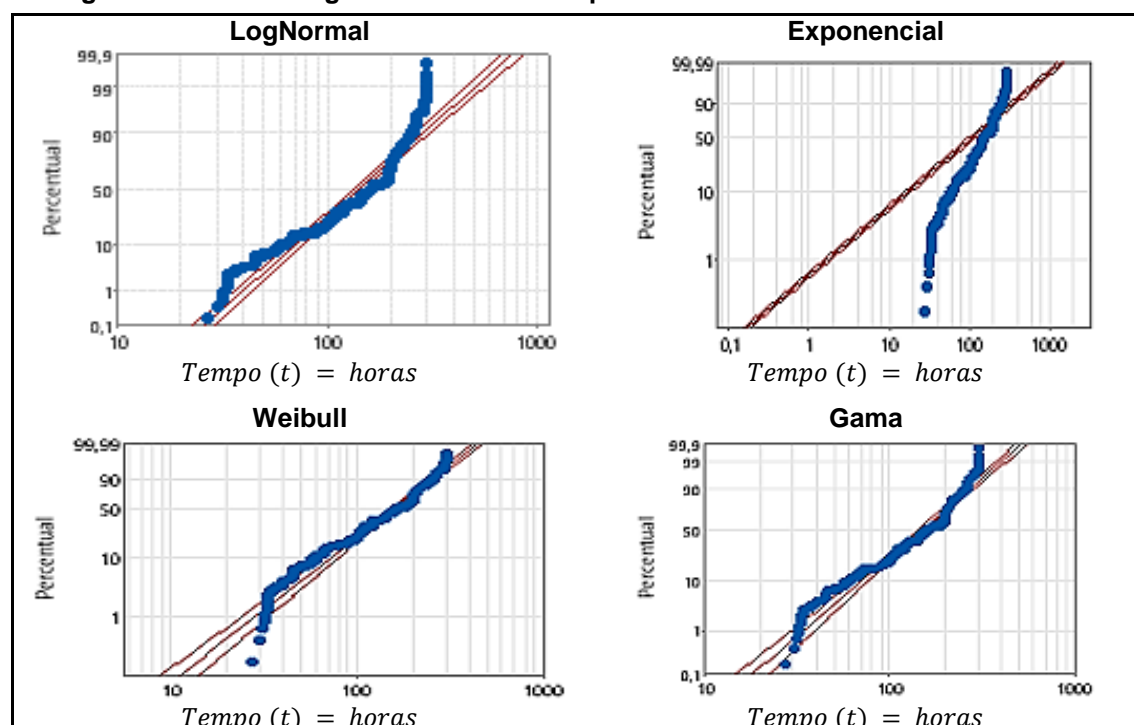


Figura 4.22 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 9 - Final



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4.23 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 10



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4.24 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 11 - Continua

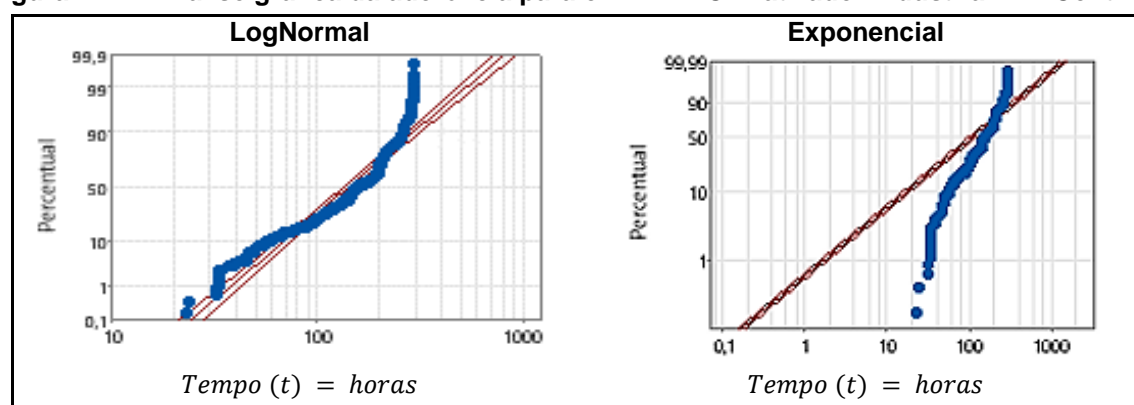
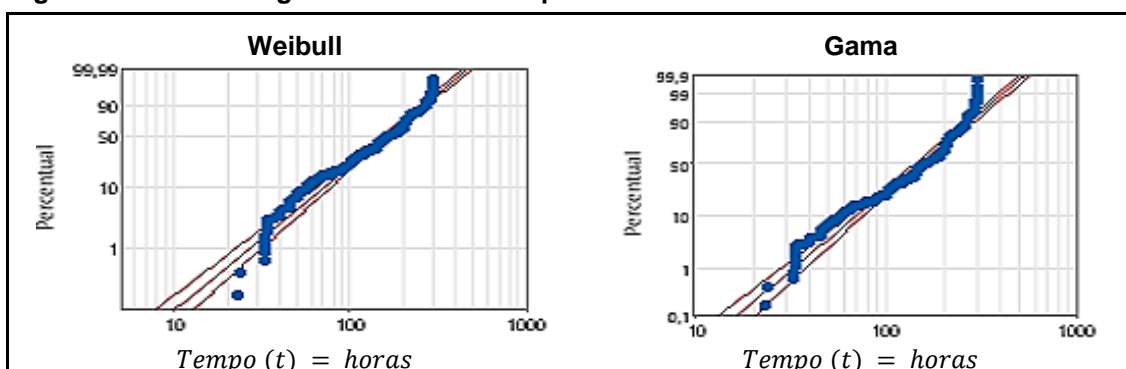


Figura 4.24 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Climatizador Industrial 11 - Final



Fonte: Próprio autor, 2023.

Por meio da análise visual proporcionada pelo software Minitab® versão 16, foi possível observar que a distribuição de probabilidade apresenta o modelo Weibull, oferecendo uma descrição condizente com a amostra dos dados de MTBF para o conjunto de equipamentos. Esta observação inicial destaca a plausibilidade para cada modelo citado acima, uma representação adequada da variabilidade nos tempos entre falhas, sugerindo ser uma escolha promissora na modelagem da confiabilidade desses equipamentos.

Com base na análise visual da aderência para os MTBFs, foram criteriosamente escolhidas as distribuições que melhor se ajustaram aos dados. A Tabela 4.2 ilustra detalhadamente as distribuições selecionadas para cada equipamento de climatização industrial, consolidando as escolhas que respaldaram a modelagem da confiabilidade dos mesmos, tendo como base da Figura probabilísticas 4.14 à 4.24.

Tabela 4.2 - Seleção da distribuição com melhor ajuste MTBF - Continua

Equipamento	Distribuição			
	LogNormal	Exponencial	Weibull	Gama
1	AD: 7,594 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 38,991 Valor p: >0,003 Rejeitada	AD: 4,206 Valor p: < 0,010 Não Rejeitada	AD: 5,125 Valor p: >0,005 Rejeitada
2	AD: 6,145 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 44,778 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 22,423 Valor p: >0,010 Rejeitada	AD: 5,210 Valor p: <0,005 Não Rejeitada
3	AD: 9,241 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 49,566 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 3,209 Valor p: <0,010 Não Rejeitada	AD: 5,545 Valor p: >0,005 Rejeitada
4	AD: 11,272 Valor p: >0,005 Não rejeitada	AD: 42,617 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 4,646 Valor p: < 0,010 Não rejeitada	AD: 7,025 Valor p: >0,005 Rejeitada

Tabela 4.2 - Seleção da distribuição com melhor ajuste MTBF - Final

Equipamento	Distribuição			
	LogNormal	Exponencial	Weibull	Gama
5	AD: 8,244 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 40,400 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 2,955 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 4,615 Valor p: >0,005 Rejeitada
6	AD: 6,569 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 47,846 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 2,005 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 3,420 Valor p: >0,005 Rejeitada
7	AD: 8,733 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 46,836 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 2,797 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 4,788 Valor p: >0,005 Rejeitada
8	AD: 6,858 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 46,126 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 1,761 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 3,441 Valor p: >0,005 Rejeitada
9	AD: 6,504 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 43,345 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 1,875 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 3,103 Valor p: >0,005 Rejeitada
10	AD: 10,989 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 52,574 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 3,829 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 6,727 Valor p: >0,005 Rejeitada
11	AD: 10,439 Valor p: >0,005 Rejeitada	AD: 49,056 Valor p: >0,003 Rejeitado	AD: 3,104 Valor p: <0,010 Não rejeitada	AD: 5,953 Valor p: >0,005 Rejeitada

Fonte: Próprio autor, 2023

O Tabela 4.2 proporcionou ainda os valores-p provenientes do teste não-paramétrico de Anderson-Darling para os tempos entre falhas nos 11 climatizadores industriais. Esses valores-p constituem uma métrica essencial na avaliação estatística do ajuste das distribuições propostas aos dados observados. A inclusão desses resultados contribuiu para uma compreensão mais abrangente da confiabilidade dos equipamentos, fornecendo sobre a congruência estatística entre os modelos selecionados e os MTBFs observados.

Essa abordagem metodológica reforçou a análise estatística realizada, oferecendo uma base sólida para tomadas de decisão informadas no contexto da confiabilidade dos equipamentos.

A modelagem MTTR utilizando o modelo Weibull, juntamente com aplicação de Estimadores de Máxima Verossimilhança (EMV), enriqueceu a análise ao fornecer uma descrição estatisticamente da distribuição dos tempos entre falhas.

A Tabela 4.3, complementa essa análise apresentando estatísticas descritivas dos dados, incluindo valores máximos (Máx) e mínimos (Min), desvio padrão (DP) e o

coeficiente de variação (CV), fornecendo uma compreensão abrangente da dispersão e consistência nos tempos de reparo.

Tabela 4.3 - Estatísticas descritivas e EMV dos parâmetros do modelo de MTTR - Modelo Weibull

Eq	N	Min.	Max.	Média	MTTR	DP	CV	λ	Parâmetro de forma γ	Parâmetro de escala θ	Distribuição
1	399	0,021544	4,7702	1,66027	1,6602	1,24474	74,97214	0,831884	1,38115	1,20209	Gama
2	399	0,10001	4,4	1,84088	1,8338	1,2359	67,13637	0,775314	1,42178	2,01678	Weibull
3	399	0,0003	4,4	1,71113	1,7023	1,22391	71,51931	0,757566	1,28968	1,84027	Weibull
4	399	0,01251	4,5	1,78237	1,7750	1,21545	68,19291	0,784306	1,39219	1,94584	Weibull
5	399	0,1	4,44444	1,64852	1,6442	1,19682	72,59958	0,792042	1,30232	1,78095	Weibull
6	399	0,032555	4,45	1,85183	1,8428	1,28923	69,61924	0,723333	1,33302	2,00509	Weibull
7	398	0,103125	4,23	1,7833	1,7770	1,21704	68,24651	0,785012	1,39503	1,94869	Weibull
8	399	0,101	4,2323	1,62644	1,6231	1,20373	74,01011	0,788195	1,27937	1,75167	Weibull
9	399	0,021544	4,23659	1,65961	1,6557	1,20532	72,6267	0,791777	1,31096	1,79572	Weibull
10	399	0,01251	4,203	1,61219	1,6074	1,162	72,07587	0,817990	1,3149	1,74442	Weibull
11	399	0,100325	4,123	1,71559	1,7086	1,16313	67,79767	0,818342	1,39823	1,87429	Weibull

Fonte: Próprio autor, 2023.

Ao extrair as informações significativas dos dados da amostra, foi possível discernir padrões e identificar áreas de atenção na manutenção do conjunto de equipamentos. A aplicação do coeficiente de variação é uma ferramenta essencial para avaliar a estabilidade ou flutuação nos tempos de reparos, orientando a tomada de decisões relacionadas à otimização de processos e ao aprimoramento contínuo da confiabilidade operacional.

Essa análise conjunta de visualização e modelagem estatística promoveu uma compreensão aprofundada dos tempos de reparo, contribuindo assim para uma gestão mais eficiente e proativa dos recursos de manutenção.

A modelagem do MTBF utilizando o modelo Weibull, juntamente com aplicação de Estimadores de Máxima Verossimilhança, enriqueceu a análise ao fornecer uma descrição estatisticamente consistente da distribuição dos tempos entre falhas.

Na Tabela 4.4 complementa essas visualizações ao apresentar estatísticas descritivas dos dados, destacando valores como máximos e mínimos, desvio padrão e coeficiente de variação. Essas métricas fornecem uma compreensão abrangente da variabilidade e tendências no tempo entre falhas dos equipamentos.

Tabela 4. 4 - Estatísticas descritivas e EMV dos parâmetros do modelo de MTBF - Modelo Weibull

Equipamento	N	Min	Max	Média	MTBF	DP	CV	λ	Parâmetro de forma γ	Parâmetro de escala θ	Distribuição
Equipamento 1	399	12,0001	300,01	151,037	151,2664	76,1526	50,41983	0,013933	2,10763	170,792	Weibull
Equipamento 2	399	27,0327	4506	167,461	167,4616	228,847	136,66	0,01726121	2,89059	57,93337	Gama
Equipamento 3	398	27,0327	299,99	157,403	157,5967	70,9475	45,07379	0,01525032	2,4034	177,7729	Weibull
Equipamento 4	399	31,04	325,025	157,857	157,9279	76,2188	48,28345	0,01399214	2,20975	178,32091	Weibull
Equipamento 5	398	30	300,1	149,055	149,2242	73,8058	49,51582	0,01439894	2,14867	168,4989	Weibull
Equipamento 6	399	23,0326	300	142,716	142,9465	66,4961	46,5933	0,01612911	2,3056	161,35012	Weibull
Equipamento 7	399	23,6	300,02	145,19	145,3384	67,9238	46,7827	0,01577835	2,2932	164,06005	Weibull
Equipamento 8	399	30,006	300,02	144,717	144,9474	68,5329	47,3565	0,01561338	2,26312	163,63975	Weibull
Equipamento 9	399	20,0235	300,3	147,576	147,7678	71,6949	48,58168	0,01485588	2,19522	166,8525	Weibull
Equipamento 10	399	27,0327	300,3	158,835	158,8867	69,6693	43,86269	0,0155682	2,47358	179,12024	Weibull
Equipamento 11	399	23,0326	300	159,473	159,5069	72,2412	45,29996	0,01491591	2,37919	179,96035	Weibull

Fonte: Próprio autor, 2023.

Ao explorar os dados da amostra, conseguimos obter uma compreensão detalhada tanto do comportamento dinâmico do sistema quanto da confiabilidade intrínseca dos equipamentos. A utilização do modelo weibull para a modelagem do tempo médio entre falhas, aliada aos Estimadores de Máxima Verossimilhança, não apenas enriqueceu a análise estatística, mas também permitiu a identificação de padrões específicos na distribuição dos tempos entre falhas.

Esta detecção de padrões foi fundamental para prever potenciais falhas e estabelecer estratégias de manutenção preventiva mais eficazes. A integração harmoniosa entre visualizações gráficas e análises estatísticas ofereceu uma perspectiva, contribuindo assim para uma compreensão mais aprofundada da confiabilidade operacional dos equipamentos. Dessa forma, essa abordagem não apenas fundamentou decisões informadas, mas também impulsionou iniciativas de otimização e eficiência, visando aprimorar continuamente o desempenho do sistema.

4.2.1 Cálculo da Disponibilidade dos Equipamentos

A disponibilidade dos equipamentos de climatização foi calculada usando Equação 4.41.

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (4.41)$$

Na engenharia de confiabilidade, a disponibilidade de um sistema em paralelo pode ser calculada utilizando a fórmula a seguir:

$$A=1-\prod_{i=1}^n(1-A_i) \quad (4.42)$$

Essa equação foi fundamental para a determinação da disponibilidade do sistema, sendo uma métrica na avaliação do tempo em que os equipamentos estão operacionais e prontas para desempenhar suas funções. Os devidos resultados encontrados estão disponibilizados na Tabela 4.5.

Tabela 4. 5 - Disponibilidade dos Equipamentos

Equipamento	MTTR	MTBF	Disponibilidade (%)	Distribuição MTTR	Distribuição MTBF
1	1,6603	151,27	98,91	Gama	Weibull
2	1,8338	167,46	98,92	Weibull	Gama
3	1,7024	157,60	98,93	Weibull	Weibull
4	1,7751	157,93	98,89	Weibull	Weibull
5	1,6443	149,22	98,91	Weibull	Weibull
6	1,8429	142,95	98,73	Weibull	Weibull
7	1,7771	145,34	98,79	Weibull	Weibull
8	1,6232	144,95	98,89	Weibull	Weibull
9	1,6557	147,77	98,89	Weibull	Weibull
10	1,6075	158,89	99,00	Weibull	Weibull
11	1,7086	159,51	98,94	Weibull	Weibull

Fonte: Próprio autor, 2023.

Com os valores apresentados na Tabela 4.5, foi possível obter essenciais sobre o desempenho operacionais do conjunto de equipamentos. Quanto a disponibilidade, as unidades mensuradas refletem a eficácia do sistema em se manter em funcionamento durante um determinado período, considerando tanto os tempos de operação quanto os tempos de inatividade devido a manutenções ou falhas. Essa avaliação quantitativa oferece uma perspectiva para a gestão operacional, permitindo a identificação de potenciais, melhorias e sua implementação.

Na Figura 3.3 ilustram o Layout da Fábrica, desenvolvendo um plano de manutenção preventiva e o diagrama de blocos dos 11 climatizadores, trazendo os resultados destacados na Tabela 4.6, o MTTR (Tempo Médio de Reparo) foi calculado para avaliar a eficiência dos processos de reparo, enquanto o MTBF (Tempo Médio Entre Falhas) fornece uma estimativa do tempo que os equipamentos podem operar sem falhas. A confiabilidade, representada como a probabilidade de os equipamentos estarem operacionais em um dado momento, é uma métrica na manutenção preventiva.

Esses cálculos são essenciais para a gestão eficiente ao longo do tempo,

permitindo análises detalhadas de confiabilidade, identificação de áreas de melhoria na manutenção preventiva e otimização dos intervalos de intervenção. Ao incorporar essas métricas estatísticas, as organizações podem minimizar paradas não programadas, prolongar a vida útil dos equipamentos e assegurar um ambiente operacional confiável e eficiente.

Nos resultados, serão discutidas as implicações práticas desses resultados na gestão eficiente da manutenção preventiva ao longo do período de oito anos.

Estratégias recomendadas com base nos dados analisados, visando a otimização dos intervalos de manutenção, redução de custos e aumento da confiabilidade operacional.

A análise investigará as variações nos níveis de disponibilidade ao longo de um período de oito anos, identificando padrões sazonais, eventos específicos que influenciaram a disponibilidade e possíveis correlações com a aplicação de manutenção preventiva.

Esses cálculos proporcionaram uma visão do tempo de operação anual para os 11 equipamentos de climatização ao longo de um período de oito anos. Sendo de grande utilidade para análises de confiabilidade, manutenção e gestão eficiente desses equipamentos ao longo do tempo. Para proporcionar uma visão integrada dessas análises, os resultados dos parâmetros dos modelos Gama e Weibull (γ , θ) e as equações para o cálculo do MTTR, MTBF e confiabilidade estão resumidas na Tabela 4.6.

Tabela 4. 6 - Equações, disponibilidade e a confiabilidade

Indicador	Parâmetro	Equação	Equipamentos de Climatização Industrial										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
MTTR	Forma (Gama)	γ	1,381	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Escala (Gama)	θ	1,202	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Forma (Weibull)	γ	-	1,422	1,29	1,392	1,302	1,333	1,395	1,279	1,311	1,315	1,398
	Escala (Weibull)	θ	-	2,017	1,84	1,946	1,781	2,005	1,949	1,752	1,796	1,744	1,874
MTBF	Forma (Weibull)	γ	2,1076	-	2,4034	2,2098	2,1487	2,3056	2,2932	2,2631	2,1952	2,47358	2,3792
	Escala (Weibull)	θ	170,792	-	177,773	178,321	168,498	161,35	164,06	163,64	166,852	179,12	179,96
	Forma (Gama)	γ	-	2,8906	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Escala (Gama)	θ	-	57,933	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MTTR (Horas)	Gama	$MTTR = \frac{\gamma}{\lambda}$	1,6603	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Weibull	$MTBF = \theta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)$ $\Gamma = \acute{e} \text{ a função gama}$	-	1,8338	1,7024	1,7751	1,6443	1,8429	1,7771	1,6232	1,6557	1,6075	1,7086
MTBF (Horas)	Gama	$MTTR = \frac{\gamma}{\lambda}$	-	167,46	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Weibull	$MTBF = \theta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)$ $\Gamma = \acute{e} \text{ a função gama}$	1251,27	-	157,6	157,93	149,22	142,95	145,34	144,95	147,77	158,89	159,51
Disponibilidade	(%)	$A_v = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	98,91%	98,92%	98,93%	98,89%	98,91%	98,73%	98,79%	98,89%	98,89%	99,00%	98,94%
Disponibilidade do Sistema em Paralelo	(%)	$A = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_i)$	0,99										

Fonte: Próprio autor, 2023.

4.3 Análise dos Resultados da Modelagem para Cada Equipamento

A análise dos resultados obtidos a partir da modelagem dos dados referentes ao tempo de reparo, tempo entre falhas, disponibilidade e a confiabilidade para cada equipamento, conforme apresentado nas Tabelas 4.8 à 4.10. Esta análise foi conduzida à luz das contribuições de Sellitto (2005; 2007), Mengue e Sellitto (2013), e também incorpora perspectivas relevantes de Elsayed, um renomado pesquisador na área de confiabilidade.

DAMAS *Et al.*(2018) Implantação de PCM em equipamentos industriais: resultados positivos em relação a diminuição do número de paradas, além de melhor resultados para a indústria em termos de custos de manutenção e perdas de produção. Visando evidenciar os pontos positivos da implantação do PCM, traz o resultado para afirmar os benefícios que o processo de manutenção pode acarretar para as empresas.

Os dados obtidos revelam uma clara melhoria na operacionalidade dos equipamentos após a implementação do plano, a redução significativa no número de paradas não programadas indica uma maior confiabilidade dos sistemas, resultando em uma produção mais consistente e eficiente. Onde a análise de indicadores de desempenho mostra um aumento na disponibilidade dos equipamentos ao longo do período de observação, evidenciando o impacto positivo das devidas estratégias de manutenção adotadas, pois consolidam a importância e a eficácia como ferramenta essencial para garantir a continuidade das operações industriais.

Em linha com as metodologias propostas por Sellitto (2005) e Mengue e Sellitto (2013), bem como as idéias discutidas por Elsayed (1998), a estratégia de manutenção preventiva é adotada, especificamente na forma de manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos e a reduzir a probabilidade de falhas ou até mesmo degradação do funcionamento de um tal componente.

A estratégia de manutenção preventiva, alinhada com as abordagens de Sellitto (2005), Mengue e Sellitto (2013), bem como as contribuições de Elsayd, o principal objetivo é reduzir ou eliminar possibilidades de falhas ou até mesmo degradação do equipamento, agindo antecipadamente, ou seja, efetuando trocas de peças conforme as horas trabalhadas.

O Climatizador Industrial 1 foi submetido a uma análise detalhada para avaliar

seu desempenho e confiabilidade. Os principais parâmetros analisados incluem o Tempo Médio até o Reparo (MTTR), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e sua disponibilidade. O MTTR, calculado com base na distribuição Gama, foi encontrado como 1.6603 horas, isso indica que, em média, o tempo necessário para reparar é de aproximadamente 1.6603 horas. Para o MTBF, calculado com base na distribuição Weibull com um tempo médio entre falhas de aproximadamente 151.27 horas. Esse valor representa a frequência média em que ocorrem falhas no equipamento. Quanto à disponibilidade, demonstrou uma taxa de operacionalidade de 98.91%. Com base nessas análises, podemos concluir que o mesmo exibe um desempenho confiável, com um tempo médio de reparo razoavelmente baixo e uma alta disponibilidade. Esses resultados indicam a eficácia do equipamento na manutenção das condições ambientais ideais na indústria alimentícia.

O Climatizador Industrial 2 foi submetido a uma análise detalhada para avaliar seu desempenho e confiabilidade. Os principais parâmetros analisados incluem o Tempo Médio até o Reparo (MTTR), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e sua disponibilidade. O MTTR, calculado com base na distribuição Gama, foi encontrado como 1.8338 horas, o que indica que, em média, o tempo necessário para reparo é de aproximadamente 1.8338 horas. Para o MTBF, calculado com base na distribuição Weibull, apresentou um tempo médio entre falhas de aproximadamente 167.46 horas. Esse valor representa a frequência média em que ocorrem falhas no equipamento. Quanto à disponibilidade, demonstrou uma taxa de operacionalidade de 98.92%. Com base nessas análises, podemos concluir um desempenho confiável, com um tempo médio de reparo razoavelmente baixo e uma alta disponibilidade. Esses resultados indicam a eficácia do equipamento na manutenção das condições ambientais ideais na indústria alimentícia.

O Climatizador Industrial 3 foi submetido a uma análise detalhada para avaliar seu desempenho e confiabilidade. Os principais parâmetros analisados incluem o Tempo Médio até o Reparo (MTTR), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e sua disponibilidade. O MTTR, calculado com base na distribuição Weibull, foi encontrado como 1.7024 horas, indicando que, em média, o tempo necessário para reparo é de aproximadamente 1.7024 horas. Para o MTBF, também calculado com base na distribuição Weibull, apresentou um tempo médio entre falhas de aproximadamente 157.6 horas. Esse valor representa a frequência média em que ocorrem falhas no equipamento. Quanto à disponibilidade, demonstrou uma taxa de operacionalidade de

98.93%. Com base nessas análises, podemos concluir que exibe um desempenho confiável, com um tempo médio de reparo razoavelmente baixo e uma alta disponibilidade. Esses resultados indicam a eficácia do equipamento na manutenção das condições ambientais ideais na indústria alimentícia.

O Climatizador Industrial 4 foi submetido a uma análise detalhada para avaliar seu desempenho e confiabilidade. Os principais parâmetros analisados incluem o Tempo Médio até o Reparo (MTTR), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e sua disponibilidade. O MTTR, calculado com base na distribuição Weibull, foi encontrado como 1.7751 horas, indicando que, em média, o tempo necessário para reparo é de aproximadamente 1.7751 horas. Para o MTBF, também calculado com base na distribuição Weibull, apresentou um tempo médio entre falhas de aproximadamente 157.93 horas. Esse valor representa a frequência média em que ocorrem falhas no equipamento. Quanto à disponibilidade, demonstrou uma taxa de operacionalidade de 98.89%. Com base nessas análises, podemos concluir que exibe um desempenho confiável, com um tempo médio de reparo razoavelmente baixo e uma alta disponibilidade. Esses resultados indicam a eficácia do equipamento na manutenção das condições ambientais ideais na indústria alimentícia.

O Climatizador Industrial 5 foi submetido a uma análise detalhada para avaliar seu desempenho e confiabilidade. Os principais parâmetros analisados incluem o Tempo Médio até o Reparo (MTTR), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e sua disponibilidade. O MTTR, calculado com base na distribuição Weibull, foi encontrado como 1.6443 horas, indicando que, em média, o tempo necessário para reparo é de aproximadamente 1.6443 horas. Para o MTBF, também calculado com base na distribuição Weibull, apresentou um tempo médio entre falhas de aproximadamente 149.22 horas. Esse valor representa a frequência média em que ocorrem falhas no equipamento. Quanto à disponibilidade, demonstrou uma taxa de operacionalidade de 98.91%. Com base nessas análises, podemos concluir que exibe um desempenho confiável, com um tempo médio de reparo razoavelmente baixo e uma alta disponibilidade. Esses resultados indicam a eficácia do equipamento na manutenção das condições ambientais ideais na indústria alimentícia.

O Climatizador Industrial 6 foi submetido a uma análise detalhada para avaliar seu desempenho e confiabilidade. Os principais parâmetros analisados incluem o Tempo Médio até o Reparo (MTTR), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e sua disponibilidade. O MTTR, calculado com base na distribuição Weibull, foi encontrado

como 1.8429 horas, indicando que, em média, o tempo necessário para reparo é de aproximadamente 1.8429 horas. Para o MTBF, também calculado com base na distribuição Weibull, apresentou um tempo médio entre falhas de aproximadamente 142.95 horas. Esse valor representa a frequência média em que ocorrem falhas no equipamento. Quanto à disponibilidade, demonstrou uma taxa de operacionalidade de 98.73%. Com base nessas análises, podemos concluir que exibe um desempenho confiável, com um tempo médio de reparo razoavelmente baixo e uma alta disponibilidade. Esses resultados indicam a eficácia do equipamento na manutenção das condições ambientais ideais na indústria.

O Climatizador Industrial 7 foi submetido a uma análise detalhada para avaliar seu desempenho e confiabilidade. Os principais parâmetros analisados incluem o Tempo Médio até o Reparo (MTTR), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e sua disponibilidade. O MTTR, calculado com base na distribuição Weibull, foi encontrado como 1.7771 horas, indicando que, em média, o tempo necessário para reparo é de aproximadamente 1.7771 horas. Para o MTBF, também calculado com base na distribuição Weibull, apresentou um tempo médio entre falhas de aproximadamente 145.34 horas. Esse valor representa a frequência média em que ocorrem falhas no equipamento. Quanto à disponibilidade, demonstrou uma taxa de operacionalidade de 98.79%. Com base nessas análises, podemos concluir que exibe um desempenho confiável, com um tempo médio de reparo razoavelmente baixo e uma alta disponibilidade. Esses resultados indicam a eficácia do equipamento na manutenção das condições ambientais ideais na indústria alimentícia.

Para o Climatizador Industrial 8, foram realizadas análises detalhadas para avaliar seu desempenho e confiabilidade. Os principais parâmetros analisados incluem o Tempo Médio até o Reparo (MTTR), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e sua disponibilidade. O MTTR, calculado com base na distribuição Weibull, foi encontrado como 1.6232 horas, indicando que, em média, o tempo necessário para reparo é de aproximadamente 1.6232 horas. Para o MTBF, também calculado com base na distribuição Weibull, apresentou um tempo médio entre falhas de aproximadamente 144.95 horas. Esse valor representa a frequência média em que ocorrem falhas no equipamento. Quanto à disponibilidade, demonstrou uma taxa de operacionalidade de 98.89%. Com base nessas análises, podemos concluir que exibe um desempenho confiável, com um tempo médio de reparo razoavelmente baixo e uma alta disponibilidade. Esses resultados indicam a eficácia do equipamento na

manutenção das condições ambientais ideais na indústria alimentícia.

O Climatizador Industrial 9 foi submetido a uma análise detalhada para avaliar seu desempenho e confiabilidade. Os principais parâmetros analisados incluem o Tempo Médio até o Reparo (MTTR), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e sua disponibilidade. O MTTR, calculado com base na distribuição Weibull, foi encontrado como 1.6557 horas, indicando que, em média, o tempo necessário para reparo é de aproximadamente 1.6557 horas. Para o MTBF, também calculado com base na distribuição Weibull, apresentou um tempo médio entre falhas de aproximadamente 147.77 horas. Esse valor representa a frequência média em que ocorrem falhas no equipamento. Quanto à disponibilidade, demonstrou uma taxa de operacionalidade de 98.89%. Com base nessas análises, podemos concluir que exibe um desempenho confiável, com um tempo médio de reparo razoavelmente baixo e uma alta disponibilidade. Esses resultados indicam a eficácia do equipamento na manutenção das condições ambientais ideais na indústria alimentícia.

Para o Climatizador Industrial 10, foram realizadas análises detalhadas para avaliar seu desempenho e confiabilidade. Os principais parâmetros analisados incluem o Tempo Médio até o Reparo (MTTR), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e sua disponibilidade. O MTTR, calculado com base na distribuição Weibull, foi encontrado como 1.6075 horas, indicando que, em média, o tempo necessário para reparo é de aproximadamente 1.6075 horas. Para o MTBF, também calculado com base na distribuição Weibull, apresentou um tempo médio entre falhas de aproximadamente 158.89 horas. Esse valor representa a frequência média em que ocorrem falhas no equipamento. Quanto à disponibilidade, demonstrou uma taxa de operacionalidade de 99.00%. Com base nessas análises, podemos concluir que exibe um desempenho confiável, com um tempo médio de reparo razoavelmente baixo e uma alta disponibilidade. Esses resultados indicam a eficácia do equipamento na manutenção das condições ambientais ideais na indústria alimentícia.

Para o Climatizador Industrial 11, foram realizadas análises detalhadas para avaliar seu desempenho e confiabilidade. Os principais parâmetros analisados incluem o Tempo Médio até o Reparo (MTTR), o Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e sua disponibilidade. O MTTR, calculado com base na distribuição Weibull, foi encontrado como 1.7086 horas, indicando que, em média, o tempo necessário para reparo é de aproximadamente 1.7086 horas. Para o MTBF, também calculado com base na distribuição Weibull, apresentou um tempo médio entre falhas de

aproximadamente 159.51 horas. Esse valor representa a frequência média em que ocorrem falhas no equipamento. Quanto à disponibilidade, demonstrou uma taxa de operacionalidade de 98.94%. Com base nessas análises, podemos concluir que exibe um desempenho confiável, com um tempo médio de reparo razoavelmente baixo e uma alta disponibilidade. Esses resultados indicam a eficácia do equipamento na manutenção das condições ambientais ideais na indústria alimentícia.

No estudo, foi observada uma alta disponibilidade dos componentes dos climatizadores industriais, com um índice de 0.99, esse resultado indica que a maioria dos componentes dos equipamentos estava disponível e operacional durante o período analisado, representando uma eficácia significativa no planejamento e na execução da manutenção preventiva. A alta disponibilidade dos componentes é para garantir a operação contínua e confiável dos climatizadores, minimizando o risco de paradas não programadas e interrupções na produção. Esses resultados validam a eficácia do plano de manutenção preventiva elaborado, demonstrando sua importância na promoção da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos industriais.

Com uma boa disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, qualidade do produto é beneficiada, no contexto do controle biológico, a estabilidade e consistência operacional dos sistemas de climatização e outros equipamentos críticos desempenham um papel fundamental na prevenção de contaminação microbológica e na manutenção das condições ideais de produção.

Ao garantir uma temperatura e umidade controladas de forma consistente, os riscos de crescimento bacteriano e deterioração do produto são minimizados, assegurando a conformidade com os padrões de qualidade e segurança alimentar.

4.4 Discussão

Neste capítulo será abordado a aplicação prática dos resultados obtidos nesta pesquisa na definição de estratégias de manutenção para os equipamentos da empresa estudada. Os derivados deste estudo desempenham um papel fundamental na otimização da gestão de ativos e na maximização da eficiência operacional.

Na identificação de prioridade de manutenção com base nos dados coletados e nas análises realizadas, foi identificado as áreas críticas que requerem atenção prioritária em termos de manutenção. Esta segmentação permitiu à empresa

direcionar recursos de maneira eficiente, concentrando esforços nos equipamentos de climatização industrial mais suscetíveis a falhas ou com maior impacto operacional.

Relevância do layout e do diagrama de blocos na eficácia do plano de manutenção preventiva, onde o mesmo, influencia diretamente na acessibilidade e na logística das atividades de manutenção, impactando sua eficiência e custo. Da mesma forma, o diagrama de blocos apresenta uma visão visual clara do fluxo de processo, facilitando a identificação de pontos críticos e a alocação adequada de recursos. Além disso, os devidos resultados da análise de confiabilidade revelam sobre uma vida útil dos equipamentos e as tendências de falhas, informando ajustes necessários ao plano.

A interação entre climatização e controle biológico do produto emerge como aspecto crítico na operação. A manutenção adequada dos sistemas de climatização é fundamental para garantir condições ambientais ideais, controlando fatores como temperatura e umidade, que podem afetar diretamente a qualidade e a segurança dos produtos. A integração de medidas de controle biológico, como a prevenção de contaminação microbiológica, é essencial para garantir a conformidade com regulamentações sanitárias e a preservação da integridade dos produtos ao longo do processo produtivo, diante dos dois aspectos é para garantir a qualidade e a segurança dos produtos fabricados.

Quanto as datas aleatórias para a execução das atividades preventivas proporciona uma forma dinâmica e adaptável, reduzindo o risco de previsibilidade e garantindo a eficácia contínua ao longo do tempo. Esses elementos combinados contribuem para otimização da gestão de manutenção e para a maximização da disponibilidade operacional.

Em virtude do que já foi mencionado, os Climatizadores Industriais de 1 à 11 foram minuciosamente avaliados com base em métricas críticas de desempenho. O Climatizador Industrial 1 exibe um MTTR impressionantemente baixo de 1.66 horas, indicando rápida recuperação após falhas, enquanto o MTBF de aproximadamente 151.27 horas destaca sua sólida média de operação contínua. A alta disponibilidade de 98.91% ressalta a eficiência do equipamento. A análise da distribuição Weibull revela uma clara presença da fase de desgaste na curva da banheira.

O Climatizador Industrial 2 apresenta um MTTR de 1.833811 horas e um MTBF de aproximadamente 167.46 horas, destacando sua eficiência e confiabilidade. No entanto, a análise da distribuição Weibull sugere uma taxa de falha não constante e a

presença da fase de desgaste.

O Climatizador Industrial 10 se destaca como o maior entre os 11, apresentando desempenho notável em várias métricas. Seu MTTR de 1.7086 horas, MTBF de 158.89 horas e alta disponibilidade de 99,00% indicam eficiência e confiabilidade excepcionais. A presença da fase de desgaste é evidenciada pela distribuição Weibull, esses dados o posicionam como o mais eficiente e confiável entre os equipamentos analisados.

O Climatizador Industrial 11 também exibe desempenho sólido, com MTTR de 1.7086 horas, MTBF de 159.51 horas e alta disponibilidade de 98.94%. A distribuição Weibull sugere uma taxa de falha não constante, indicando a fase de desgaste. Em comparação com os demais, ambos os Climatizadores 10 e 11 se destacam, enquanto os Climatizadores de 1 à 9 compartilham características semelhantes, com variações nas métricas de desempenho.

Parte superior do formulário com base nas análises apresentadas para os Climatizadores Industriais de 1 à 11, é possível observar que a presença da fase de desgaste na curva da banheira é uma característica comum em todos os equipamentos. A indicação disso surge principalmente a partir da aplicação da distribuição Weibull e Gama aos tempos médios entre falhas e o tempo até reparo, com a presença de um parâmetro de forma γ superior a 1. Esse valor de γ maior que 1 sugere uma taxa de falha não constante, indicando a presença da fase de desgaste.

Ao longo das análises individuais, foi mencionado que todos os Climatizadores, do 1 ao 11, apresentam essa característica. Por exemplo, valores específicos de γ foram fornecidos para cada Climatizador, indicando uma tendência de aumento gradual da taxa de falha ao longo do tempo, o que é característico da fase de desgaste na curva da banheira.

Ao MTBF, o equipamento 6 tem o mais baixo no valor de 142.9464939, indicando que, em média, esse equipamento tem um tempo menor entre falhas. Isso pode sugerir que esse equipamento tem uma tendência a falhar mais frequentemente em comparação com os outros e o equipamentos 10 e 11, onde o mesmo estão relativamente altos sendo igual à 158.8867186 e 159.5068676, respectivamente, indicando uma maior confiabilidade.

No MTBF o desvio padrão é mais alto nos equipamentos 1, 2, 3, 4, 5, 9 e 11, indicando maior variabilidade nos tempos de reparo desses equipamentos. Essa variabilidade pode ser resultado de diferentes condições operacionais, métodos de

manutenção ou outros fatores que afetam o tempo de reparo. O equipamento 6 tem o menor desvio padrão, indicando uma maior consistência nos tempos de reparo. Os desvios padrão nos Equipamentos 7, 8 e 10 estão em uma faixa intermediária e a maior baixa será o equipamento 6.

Quanto ao MTTR o equipamento 6 tem o maior desvio padrão 1.28923, indicando uma variabilidade significativa nos tempos de recuperação. O equipamento 10 tem o menor desvio padrão 1.162, indicando uma menor variabilidade e maior consistência nos tempos de recuperação. Os demais equipamentos têm desvios padrão em uma faixa intermediária.

Em resumo, o desvio padrão fornece uma medida quantitativa da variabilidade nos tempos de reparo. Um desvio padrão mais alto indica uma maior dispersão dos dados, enquanto um desvio padrão mais baixo indica uma maior consistência em torno da média. A interpretação precisa depende do contexto específico da operação e manutenção dos equipamentos.

Portanto, com base nas informações fornecidas, é razoável concluir que todos os climatizadores industriais analisados estão na fase de desgaste em suas curvas de confiabilidade.

A otimização do ciclo de vida dos equipamentos, compreenderam aos fatores que influenciaram a vida útil destes climatizadores, a partir dos dados obtidos, foi realizado recomendações a fim de otimizar o ciclo de vida dos ativos, incluindo práticas de manutenção preventiva que prolongam a durabilidade e eficiência operacional. A pesquisa forneceu a implementação de sistemas de gestão de manutenção integrada ao alinhar processos, tecnologia e pessoal, desta forma a empresa pode criar uma abordagem para a manutenção, melhorando assim a coordenação e eficácia operacional.

O treinamento e o desenvolvimento de equipes, proporcionará aos resultados que influenciaram as práticas de manutenção, mas também apontaram áreas específicas que podem se beneficiar de treinamentos adicionais, desta forma, investir no desenvolvimento da equipe com base nessas descobertas pode aumentar a competência técnica e a capacidade de resposta da equipe de manutenção. Ao integrar essas recomendações, a empresa estará mais bem preparada para desenvolver estratégias de manutenção proativas e eficazes, resultando em um ambiente operacional mais confiável e eficiente.

4.5 Desenvolvimento do Plano de Manutenção Preventiva

Os dados levantados para os 11 equipamentos de climatização industrial ao longo de 8 anos indicam um tempo total de operação acumulado de 224.00 horas.

Além disso, foram obtidas informações sobre o MTTF e o MTBF dos equipamentos, refletindo a média de tempo entre falhas e o tempo médio de reparo em caso de falha.

Esses dados são para o desenvolvimento de estratégias de manutenção preventiva, visando assegurar a confiabilidade e a eficiência operacional dos sistemas de climatização.

O elevado tempo de operação destaca a importância de uma abordagem de manutenção para minimizar interrupções e maximizar a disponibilidade dos equipamentos ao longo do tempo.

Para apresentar os dados de forma mais completa, incluindo o período de operação de domingo a domingo (24 horas por dia) e o intervalo de coleta das 399 amostras de MTTF e MTTR entre janeiro de 2012 e junho de 2023, podemos expandir a Tabela 4.7 da seguinte maneira:

Tabela 4.7 - Resumo dos dados de operação e coleta para equipamentos de climatização industrial

Descrição	Valor
Número de Equipamentos	11
Amostra de MTTR e MTBF	399
Horas de Operação Anual por Equipamento	2550 horas
Horas de Operação Anual para os 11 Equipamentos	28050 horas
Horas de Operação Total em 8 Anos para os 11 Equipamentos	224400 horas
Tempo Total em 8 Anos (em horas)	224.4 horas
Período de operação	De Janeiro de 2012 à Junho de 2023
Intervalo de Coleta das Amostras MTTR e MTBF	Janeiro de 2012 à Junho de 2023
Frequência de Operação	Domingo à domingo (24 horas por dia)

Fonte: Próprio autor, 2024.

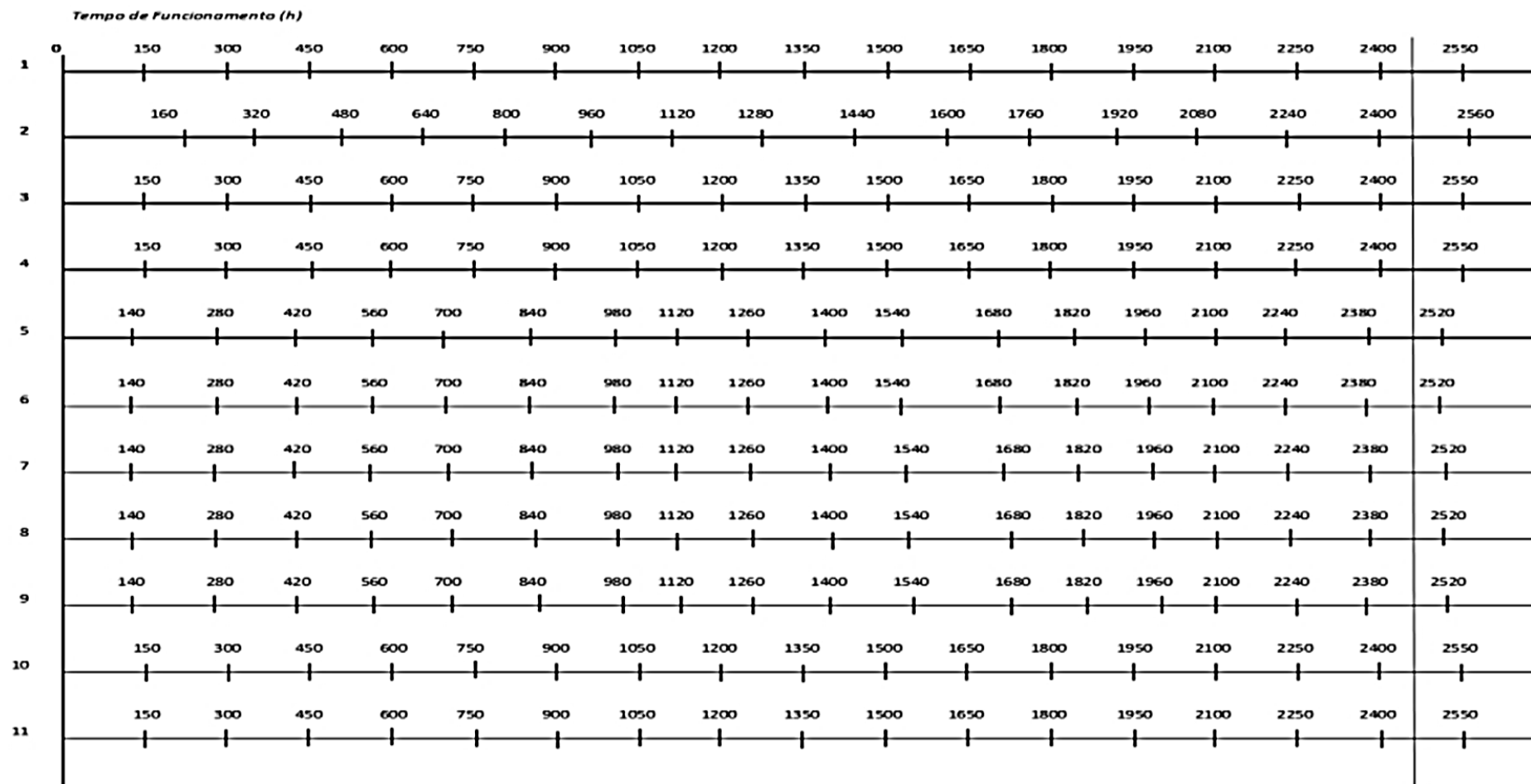
Na frequência, realiza a manutenção preventiva em intervalos regulares para evitar falhas inesperadas e minimizar o tempo, pois as atividades são para trabalhos futuros incluindo inspeções visuais, limpeza de componentes, verificação e calibração.

Diante das análises de tendências e monitoramento contínuo para identificar possíveis problemas antes que se tornem grandes falhas.

Este desenvolvimento traz diversos benefícios, são eles: redução de risco de falhas catastróficas, aumento da eficiência, prolongamento de vida útil e redução de custo.

Com base nos resultados fornecidos, foi desenvolvido o plano de manutenção preventiva para garantir o funcionamento com levantamento em 1 ano com 2550 horas para cada equipamento como mostra na Figura 4.25.

Figura 4. 25 - Tempo operacional (anual) por equipamento



Fonte: Próprio autor, 2024.

O tempo acumulado em um determinado intervalo:

1. Intervalos: compreender os períodos de tempos específicos em que as atividades ou eventos ocorrem;
2. Tempo de operação acumulada: quantidade de tempo em que uma máquina, equipamento ou processo está em operação;
3. Cálculo do tempo acumulado: somar os tempos de operação de cada intervalo ao longo do tempo para obter o tempo total acumulado, como mostra na Tabela 4.8.

Tabela 4. 8 - Intervalos para cada equipamento

Eqto.	Intervalo	%D	Tempo Anual	Manutenção Preventiva
1	16	0,9891	8664,516	As atividades de manutenção preventiva durante a parada do Intervalo 16 podem incluir, intercalando para cada equipamento: Limpeza dos filtros de ar, inspeção dos componentes mecânicos, verificação dos sistemas de controle e limpeza das bobinas do evaporador e condensador.
2		0,9892	8665,392	
3		0,9893	8666,268	
4		0,9889	8662,764	
5		0,9891	8664,516	
6		0,9873	8648,748	
7		0,9879	8654,004	
8		0,9889	8662,764	
9		0,9889	8662,764	
10		0,99	8672,4	
11		0,9894	8667,144	

Fonte: Próprio autor, 2024.

Com base no tempo de operação anual de 2550 horas para cada equipamento e nos valores de MTBF de 140, 150 e 160 horas, podemos calcular a frequência média de falhas por ano para cada equipamento. Para o equipamento com MTBF de 140 horas, espera-se aproximadamente 18 falhas por ano ($2550 \text{ horas}/140 \text{ horas} \approx 18$).

Para o equipamento com MTBF de 150 horas, espera-se no intervalo 17 ($2550 \text{ horas}/150 \text{ horas} \approx 17$).

E para o equipamento com MTBF de 160 horas, espera-se no intervalo 16 ($2550 \text{ horas}/160 \text{ horas} \approx 16$).

Com essas informações, podemos definir uma frequência de manutenção preventiva adequada para cada equipamento, realizando intervenções planejadas para minimizar falhas e maximizar a disponibilidade operacional no intervalo 16.

4.6 Comparação do Resultado dos Climatizadores 6 e 10.

Na seção 4.3 pode ser evidenciado que os climatizadores industriais 1 a 11, compartilham tanto os modelos e operam sob condições de forma diferente tanto no MTTR como no MTBF, contudo os resultados da modelagem de confiabilidade desses equipamentos apresentaram notáveis discrepâncias.

Seguem abaixo as análises dos resultados da modelagem do equipamento 6, destaca se como os indicadores desfavoráveis em comparação com as demais do conjunto estudado. Esse equipamento registrou o maior tempo médio de reparo, menor tempo médio entre falhas, menor disponibilidade operacional.

Figura 4.8.3 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Distribuição Weibull do Climatizador Industrial 6

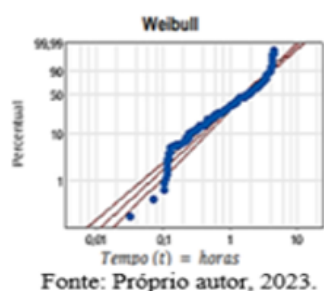
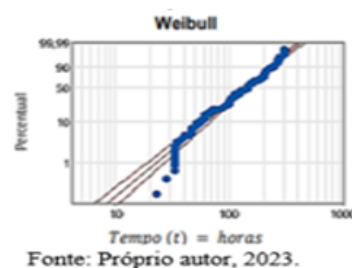


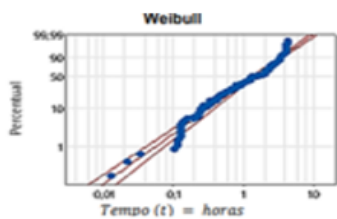
Figura 4.19.3 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Distribuição Weibull do Climatizador Industrial 6



Mengue e Sellitto (2013), argumentam que essa transição é um indicador positivo das ações de manutenção, apontando para o sucesso na gestão do equipamento.

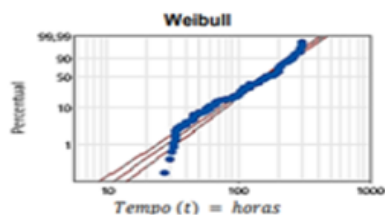
Por outro lado, o climatizador 10 se destaca com a maior disponibilidade e com desempenho confiável, tendo um maior MTBF e menor MTTR, esse resultado, indica a eficácia e atende o objetivo principal no estudo.

4.12.3 - Análise gráfica da aderência para o MTTR - Distribuição Weibull do Climatizador Industrial 10



Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 4.23.3 - Análise gráfica da aderência para o MTBF - Distribuição Weibull do Climatizador Industrial 10



Fonte: Próprio autor, 2023.

Contudo é importante ressaltar que a qualidade dos dados de paradas dos equipamentos no banco de dados da empresa é limitada.

Autores como Sellitto (2005), Mengue e Sellitto (2013), Diedrich e Sellitto (2014), Machado e Andrade (2013), Cerveira e Sellitto (2015), destacam a importância da quantidade e qualidade dos registros de atividades de manutenção para o desenvolvimento de modelos mais precisos que descrevam o sistema estudado.

5.CONCLUSÃO

Este estudo aborda a importância da confiabilidade na manutenção de equipamentos, destacando a importância de estratégias eficazes de manutenção na prevenção de falhas e na maximização da disponibilidade. Pode abordar como análise de confiabilidade sendo fundamentais para identificar e mitigar os pontos de falhas, bem como a adoção de tecnologias modernas, como a mecatrônica, pois oferece ferramentas em tempo real.

Na revisão bibliográfica, Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a abordagem na seleção dos tópicos denota a convicção de que o papel do Engenheiro de Produção na esfera da Confiabilidade e Manutenção Industrial deve ser direcionado primordialmente para a coleta e análise de dados de desempenho de equipamentos e produtos, além do planejamento de programas voltados para a manutenção e aprimoramento das unidades fabris.

De acordo com Roberts e Barringer (1997), a confiabilidade é definida como a probabilidade de um período de operação livre de falhas sob condições operacionais especificadas pelo projeto. No entanto, para um item reparável, a confiabilidade é conceituada como a probabilidade de desempenho sem falhas durante um intervalo de tempo específico e sob condições operacionais determinadas.

Serão apresentados os conceitos e a metodologia proposta por esses autores, utilizando técnicas avançadas de coleta e análise da confiabilidade para avaliar o desempenho do estudo, oferecendo uma base teórica sólida e atualizada.

Na metodologia, os dados foram extraídos do histórico de paradas, devidamente registrado e gerenciado pela Engenharia de Manutenção da empresa objeto de estudo. Evidencia-se a importância do registro dessas informações para garantir que estudos dessa natureza forneçam resultados confiáveis aos gestores de manutenção de equipamentos.

Tabela 5. 1 - Probabilidade de falha (anual)

Descrição	Valor
Probabilidade de falha por dia	0,01 (ou 1%)
Número de dias em 1 ano	365 dias
Tempo de falha esperado em 1 ano (dias)	$0,01 \times 365 = 3,65$
Disponibilidade do sistema	0,99 (ou 99%)
Tempo de falha esperado em 1 ano (horas)	$3,65 \text{ dias} \times 24 \text{ horas/dia} = 87,6 \text{ horas}$
Número esperado de falhas em 1 ano	Aproximadamente 4 falhas

Fonte: Próprio autor, 2024.

Nesta tabela, os valores são calculados com base na probabilidade de falha diária de 0,01 (ou 1%), o número de dias em um ano (365 dias) e a disponibilidade do sistema de 99% (0,99). O tempo de falha esperado em um ano é convertido para horas multiplicando o tempo em dias por 24 horas/dia. Concluímos que, com esses parâmetros, é esperado aproximadamente 4 falhas em um ano, fornecendo uma estimativa útil para o planejamento de manutenção e a gestão da disponibilidade do sistema.

Nos resultados essa análise destaca a necessidade de desenvolver a manutenção preventiva de forma adequada, antecipando e mitigando possíveis falhas para minimizar o impacto sobre a operação.

Em suma, este trabalho enfatiza a importância de adotar uma abordagem baseada em dados para o gerenciamento da confiabilidade de equipamentos industriais. A implementação de planos de manutenção preventiva eficazes, baseados em análises de tempo de operação e probabilidade de falha, é fundamental para garantir a disponibilidade operacional e prolongar a vida útil dos equipamentos de climatização industrial, contribuindo para a eficiência e o sucesso das operações industriais.

Este estudo ressalta a importância de uma abordagem baseada em dados no gerenciamento da confiabilidade de equipamentos industriais. A implementação de planos de manutenção preventiva eficazes, apoiados em análises precisas de tempo de operação e probabilidade de falha, é essencial para garantir a disponibilidade operacional e prolongar a vida útil dos sistemas de climatização industrial, ou seja, melhorar a eficiência das operações industriais e garantir seu sucesso a longo prazo.

5.1 Trabalhos Futuros

Como prospecto para pesquisas futuras, recomenda-se a exploração da confiabilidade com o estudo dos modos de falhas individuais de cada equipamento, visando compreender a natureza das falhas.

O desenvolvimento e o monitoramento do plano de manutenção preventiva, bem como a avaliação de sua eficácia ao longo do tempo, apresentando intervalos e paradas para cada equipamento. Além disso, considerando que os componentes específicos serão citados em futuras investigações, onde poderão se concentrar em analisar mais detalhadamente cada componente, identificar possíveis pontos de falha e desenvolver estratégias de manutenção mais específicas e eficientes.

É possível explorar a aplicação da Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA) como uma ferramenta para identificar e mitigar falhas em sistemas e processos. Uma extensão significativa seria a realização de estudos mais aprofundados sobre como a FMEA pode ser adaptada e integrada em diferentes setores industriais ou contextos de engenharia, visando aprimorar a confiabilidade, segurança e eficiência dos sistemas.

Além disso, seria interessante investigar técnicas avançadas de análise de risco, combinando a FMEA com outras metodologias de análise, como a Análise de Árvore de Falhas (FTA) ou a Análise de Criticidade de Modos e Efeitos (FMECA), para fornecer uma visão mais abrangente e proativa na gestão de riscos.

Esses estudos futuros podem contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de manutenção preventiva e preditiva, bem como para a otimização do desempenho e da confiabilidade dos sistemas em diversas áreas industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2010. Disponível em: https://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2012_3_Mariana.pdf. Acesso em: 20 jan. 2020.

ALSYOUF, I.. **Maintenance practices in Swedish industries: Survey results**. *International Journal Productionv Economic*, v. 121, n. 1, p. 212-223. 2009. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:278723/FULLTEXT01.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2023.

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

BARAN, L. R.. **Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada na Redução de Falhas: Um Estudo de Caso**. Trabalho de Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Industrial: Produção e Manutenção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2011. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/23471/2/PG_CEGIPM_VII_2011_12.pdf. Acesso em: 11 abr. 2023.

BRANCO FILHO, G.. **Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade**. 4 ed., Ciência Moderna Ltda, Rio de Janeiro. 2006

BRANT, R. **Assessing proportionality in the proportional odds model for ordinal logistic regression**. *Biometrics*. 1990. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2532457>. Acesso em: 18 maio 2023.

CERVEIRA, D. S; SELLITO, M. A. **Manutenção centrada em confiabilidade: Análise quantitativa de um forno elétrico a indução**. *Revista Produção Online*, Florianópolis, SC, v.15, n. 2, p.405-432, abr./jun. 2015. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/1615/1266>. Acesso em 07 jan. 2024.

CHUNG, II H.; YUN, W. Y. **A Repair-Time Limit Replacement Model with Imperfect Repair**. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 39, No. 4, pp. 233-238, August 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7232/JKIIE.2013.39.4.233>. Acesso em: 22 abr. 2023.

COLOSIMO, E. A.; GIOLO, S. R. **Análise de sobrevivência aplicada**. Editora Blücher, 2006.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços: Uma Abordagem Estratégica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

COSTA, M. de A.. **Gestão estratégica da Manuensão: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. 2013. 103f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: https://issuu.com/redeindustrial/docs/2012_3_mariana, Acesso em: 22 abr. 2023.

DAMAS, L. F. Q.; NASCIMENTO, L. V. do.; COSTA, E. M. de L.; SILVA, E. dos S. **Implantação de PCM em máquinas industriais: um estudo de caso em uma indústria de autopeças no polo industrial de Manaus sob a perspectiva de gestão de projetos em manutenção.** Anais VII Singep. 2018. Disponível em: <https://singep.org.br/7singep/resultado/455.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2020.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências.** Tradução Joaquim Pinheiro Nunes da Silva. São Paulo: Cengage Learning, 2006.

DIAS, A.. **Confiabilidade na manutenção industrial**, 2010. Disponível em: <http://static.sapucaia.ifsul.edu.br/professores/debarbajr/02.Manuten%C3%A7%C3%A3o%20Industrial/09.Confiabilidade%20na%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20industrial%20-%20curva%20da%20banheira.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2023.

DODSON, B.; SCHWAB, H.. **Accelerated testing: a practitioner's guide to Accelerated and Reliability testing.** SAE International. Warrendale, PA, USA: 2006.

DUTRA, J. T. **Curva PF, O que é e como usar.** Engeteles. 2018. Disponível em: <https://engeteles.com.br/curva-pf/>. Acesso em: 24 abr. 2023.

ELSAYED, E.A. **RELIABILITY ENGINEERING.**3rd Ed., Wiley, 2021.

FEIGENBAUM, A. V. **Controle da Qualidade Total: gestão e sistemas.** Vol.1. São Paulo: Makron Books, 1994.

FILHO, G. B. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção.** Rio de Janeiro, Editora Ciência Moderna Ltda.; 2008.

FOGLIATTO, F. S.; DUARTE, J. L. R.. **Confiabilidade e manutenção industrial.** Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.

FOGLIATTO, F. S., & RIBEIRO, J. L. D. (2009). **Introdução à engenharia de produtos.** Porto Alegre: Bookman.

FONSECA, J. S. da; MARTINS, G. de A.. **Curso de Estatística.** 6 ed. São Paulo; Atlas, 2011.

GARZA, L. **A Case Study of the Application of Reliability Centered Maintenance (RCM) in the Acquisition of the Advanced Amphibious Assault Vehicle (AAAV).** 2002. 85 f. *Thesys (Master) – Naval Postgraduate School, United States Navy.* California, 2002. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA411338.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2023.

GERBERT, P. e colaboradores. **Indústria 4.0: O futuro da produtividade e crescimento nas indústrias de transformação.** abr. 2015. Disponível em: https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx. Acesso em: 13 abr. 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 7. ed. Barueri: Atlas, 2022.

GIANESE, I. G. N.; CORRÊA, H. L. **Administração Estratégia de Serviços.** São Paulo: Atlas, 2010.

GOLDSCHIMIDT, R.; PASSOS, E.; BEZERRA, E.. **Data mining: conceitos, técnicas, algoritmos, orientações e aplicações**. 2. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

GREGÓRIO, G. F. P.; SANTOS, D. F.; PRATA, A. B.. **Engenharia de Manutenção**. Revisão Técnica: André Shataloff. Porto alegre: SAGAH, 2018.

IPETEC (Instituto de Pesquisa Educação e Tecnologia). **A função planejamento na manutenção**. 2021. Disponível em: <https://cursos.ipetec.com.br/curso/a-funcao-planejamento-na-manutencao?categories=course>. Acesso em: 01/05/2024.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design principles for industrie 4.0 scenarios**. In: System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii International Conference on. IEEE, 2016. p. 3928-3937. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7427673>. Acesso em: 12 abr. 2023.

IKEZIRI, L. M.; MELO, J. C.; CAMPOS, R. T.; OKIMURA, L. I.; GOBBO Jr., J. A. **A perspectiva da Indústria 4.0 sobre a filosofia de gestão Lean Manufacturing**. Brazilian Journal of Development. Curitiba, jan. 2020. Disponível: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/5999/5347> . Acesso em: 13 abr. 2023.

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

KARDEC, A.; NASCIF, J.. **Manutenção: função estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2012.

KLEMETTINEN, M.; MANNILA, H.; RONKAINEN, P.; TOIVONEN, H.; VERKANO, A. I.. **Finding Interesting Rules from Large Sets of Discovered Association Rules**. Department of Computer Science - University of Helsinki. P.O. Box 26, FIN-00014 University of Helsinki, Finland, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/191246.191314>. Acesso em: 29 jun. 2023.

KING, R. W.; MAGID, J. **Industrial hazard and safety handbook**. London. UK: Newnes-Butterworths, 1979.

KLEIN, J. P.; MOESCHBERGER, M. L.. **Survival analysis: techniques for censored and truncated data**. 2 ed. Springer; EUA, 2003. Disponível em: <https://sistemas.fciencias.unam.mx/~ediaz/Cursos/Estadistica3/Libros/0a9X.pdf>. Acesso em: 18 maio 2023.

KÖCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2011.

KOTLER, P; KELLER, K.L. **Administração de Marketing**. 12a edição. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2006.

LAWLESS, J. F. **Statistical models and methods for lifetime data**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2011. Disponível em: www.perlego.com/book/2776275/statistical-models-and-methods-for-lifetime-data-pdf. Acesso em: 08 maio 2023.

LEVERETTE, J. C. **An Introduction to the US Naval Air System Command RCM**

Process and Integred Reliability Centered Maintenance Software. In: RCM 2006 - The Reliability Centred Maintenance Managers' Forum. 2006. Anais...: p. 22-29. Disponível em: <https://www.omdec.com/wikifiles/jcLeverette.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2023.

LIMA, F. P.; SELEME, R.. **Gestão da qualidade na indústria alimentar.** X Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção (Conbrepro). 02 a 04 de dezembro de 2020. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/08202020_160832_5f3ece2c9d80b.pdf. Acesso em: 25 abr. 2023.

LUCAMBIO, F. **Introdução à Teoria Estatística: Clássica e moderna.** Notas de aula - fevereiro de 2009. Departamento de Estatística Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~lucambio/CE210/veross.pdf>. Acesso em: 17 maio 2023.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico: projetos de pesquisa, pesquisa bibliográfica, teses de doutorado, dissertações de mestrado, trabalhos de conclusão de curso.** 9 ed. São Paulo: Atlas, 2021.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

MAROCO, J.; **Análise Estatística: Com utilização do SPSS.** 3 ed. Portugal. Edições Sílabo, 2007.

MENDES, A. A.. **Manutenção centrada em confiabilidade: uma abordagem quantitativa.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 85 p. Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/29050/000774312.pdf>. Acesso em 15 mar. 2023.

MENDES, A. A.; RIBEIRO, J. L. D.. **Estabelecimento de um plano de manutenção baseado em análises quantitativas no contexto da MCC em um cenário de produção JIT.** Production, v. 24, n. 3, p. 675-686, july/sept, 2014. Disponível em: [https://www.scielo.br/j/prod/a/xNCjWWWVn3CQLx83dsbNXhv/?format=pdf&lang=pt#:~:text=Cen%C3%A1rios%20just%20in%20time%20\(JIT,ser%20postergado%20para%20%2B1](https://www.scielo.br/j/prod/a/xNCjWWWVn3CQLx83dsbNXhv/?format=pdf&lang=pt#:~:text=Cen%C3%A1rios%20just%20in%20time%20(JIT,ser%20postergado%20para%20%2B1). Acesso em: 20 mar. 2023.

MENGUE, D. C.; SELLITO, M. A. **Estratégia de manutenção baseada em funções de confiabilidade para uma bomba centrífuga petrolífera.** Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.13, n. 2, p. 759-783, abr./jun. 2013. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/1341/1032>. Acesso em: 07 jan. 2024.

MKTRONICS ELETRÔNICA. **Climatizador De Ar Evaporativo Industrial + Duto e Grelha Oscilante KIT para 500m².** Disponível em: <https://www.mktronics.com.br/pcwegcx50-climatizador-de-ar-evaporativo-industrial-comercial-completo-com-duto-e-grelha-eletronica-para-250m>. Acesso em: 19 jan. 2024.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros.** Tradução e revisão técnica: Veronica Calado, Antonio Henrique Monteiro da Fonseca Thomé da Silva. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. de O. **Estatística básica**. 9 ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2017.

MOREIRA NETO, T. C. **A história da evolução da gestão do sistema de manutenção**. 2017. Disponível em: <https://www.webartigos.com/artigos/a-historia-da-evolucao-do-sistemade-gestao-de-manutencao/75650>. Acesso em: 2 fev. 2020.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered Maintenance**: 2. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment**. Washington, september 2008. Disponível em: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_rcmguide.pdf. Acesso em 24 abr. 2023.

OLIVEIRA, S. L. **Tratado de metodologia científica**. São Paulo: Editora Pioneira, 1998.

PAGLIOSA, M. M.; TORTORELLA, G. L.; FERREIRA, J. C. E. **Principais tecnologias da Indústria 4.0 e práticas enxutas: Sistemas Lean**. Organização de Renata Ferreira. Belo Horizonte: Poisson, 2018.

PEREIRA, P. J.; VIVANCO, M. J. F. **Viabilidade da aplicação de mecanismos de censura Tipo I e aleatória em dados entomológicos**. **Estatística e Experimentação Agropecuária**. Ciência agrotécnica. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/fmckK5MwKNYQrvMMXJ59zXYz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 08 maio 2023.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, PMI. **Project Manejament Body of knowledge**. 3 ed. Newton Square, Pensylvania, 2004.

RAUSAND, M.; HØYLOAND, A. **System reliability theory: models, statistical methods, and applications**. John Wiley & Sons, New York, 2004.

REIS, C.S. **Metodologia de análise de confiabilidade de equipamentos médico-assistenciais na fase de utilização**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica. 148 p. Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/128891/327777.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 08 maio 2023.

RIBEIRO, Rhubens E. M.; ABREU, Cecília R. S de. **Inovação em sistemas de produção na era da Indústria 4.0**. Teresina: Kindle Direct Publishing, 2020.

ROBERTS, W.T; BARRINGER, H. **Nova Ferramenta de Confiabilidade para o Milênio: Análise Weibull de Dados de Produção**. 1997. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/New-Reliability-Tool-for-the-Millennium-%3A-Weibull-Roberts-Barringer/d028863b993ae4647da6641e2f2765b8ccdbdd01>. Acesso em: 28 jun. 2023.

SACOMANO, José B.; SÁTYRO, Walter C. **Indústria 4.0: conceitos e elementos formadores. Indústria 4.0: conceitos e fundamentos.** Organizado por José Benedito Sacomano. São Paulo: Editora Blucher, 2018.

SANTOS, W. B. dos; COLOSIMO, E. A.; MOTTA, S. B. da. **Tempo ótimo entre manutenções preventivas para sistemas sujeitos a mais de um tipo de evento aleatório.** Gest. Prod. São Carlos, v. 14, n. 1, p. 193-202, jan/abr 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/gxHHQMgHYBxC7j3yMvDnwjD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 mar. 2023.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de pesquisa.** 5. ed. Tradução: Daisy Vaz de Moraes; Revisão técnica: Ana Gracinha Queluz Garcia, Dirceu da Silva, Marcos Júlio. Porto Alegre: Penso, 2013.

SELLITO, M. A. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos.** Revista Produção, v. 15, n. 1, p. 044-059, Jan./Abr. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/SVhm5tHjcGKbmD4Ng5fMjmC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 maio 2023.

SELLITO, M. A. **Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação metalmecânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos.** Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas, ano 2, v. 3, p. 97-108, 2007. Disponível em: file:///C:/Users/55169/Downloads/Analise_estrategica_da_manutencao_de_uma.pdf. Acesso em: 25 abr. 2023.

SILVA, J. L. de C.; FERNANDES, M. W.; ALMEIDA, R. L. F. de. **Estatística e Probabilidade.** 3. ed. Fortaleza: EdUECE, 2015. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/554261/2/Livro%20Estatistica%20e%20Probabilidade%20.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

SILVEIRA, A. M. da; VILSEKE, A. J.; PEZZATO, A. T.; GREGÓRIO, G. F. P. **Confiabilidade de sistemas.** Revisão técnica: Henrique Martins Rocha. Porto Alegre: SAGAH, 2019.

SIQUEIRA, I.P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade:** Manual de implementação. Qualitymark Editora, 2014.

SLACK, S.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R.. **Administração da produção.** Tradução Daniel Vieira. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2018.

SMITH, A. M. **Reliability-Centered Maintenance.** 1 ed. Boston: McGraw-Hill, 1993.

SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. **RCM: gateway to world class maintenance.** 2. ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, v. 1, 2004.

SOEIRO, M. V. de A.; OLIVIO, A.; LUCATO, A. V. R.. **Gestão da Manutenção.** Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.

SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica.** 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**; tradução, Daniel Moreira Miranda - São Paulo: Edipro, 2016.

TAVARES, L. A.; GONZAGA, M. A. C.; POYDO, P. R. dos S.. **Manutenção Centrada no Negócio**. Rio de Janeiro: Novo Polo Publicações, 2005.

TOBIAS, P.A; TRINDADE, D.C. **Applied Reliability**. 3 ed. Taylor & Francis Group, 2012.

TSAROUHAS, P.H. **Reliability, availability and maintainability analysis in food production lines: a review**. International Journal of Food Science & Technology, v. 47, n. 11, p. 2243-2251, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app10124265>. Acesso em: 16 mar. 2023.

VACCARO, G.L.R. **Modelagem e análise da confiabilidade de sistemas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 222 p. Rio Grande do Sul, 1997. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/128105>. Acesso em: 15 mar. 2023.

VIANA, H. R. G.. **PCM, Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed.. 2002.

VIANA. H. R. G.. **Manual de Gestão da Manutenção**. Volume 1. 1. ed. Brasília: Engeteles Editora, 2020.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Minas Gerais: DG,1998.

ZAIONS, D. R. **Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel**. 2003. 219 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3297>. Acesso em: 11 abr. 2023.

WALPOLE, R. E.; MYERS, R. H.; MYERS, S. L.; YE, K. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciência**. 8. ed. Tradução: Luciane F. Pauleti Vianna. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.