

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE DA CONFIABILIDADE ESTATÍSTICA NO PILAR MANUTENÇÃO
PLANEJADA DO TPM E SUA UTILIZAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA O
CONTROLE DA DISPONIBILIDADE DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FELIPE TERRA MOHAD

RIO GRANDE, RS

2022

FELIPE TERRA MOHAD

**ANÁLISE DA CONFIABILIDADE ESTATÍSTICA NO PILAR MANUTENÇÃO
PLANEJADA DO TPM E SUA UTILIZAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA O
CONTROLE DA DISPONIBILIDADE DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande-FURG como requisito para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Mecânica” – Área de Concentração: Engenharia de Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Carvalho Gomes

Coorientador: Me. Everton Rodrigues da Silva

RIO GRANDE, RS

2022

Ficha Catalográfica

M697a Mohad, Felipe Terra.

Análise da confiabilidade estatística no pilar manutenção planejada do TPM e sua utilização como ferramenta para o controle da disponibilidade dos processos de fabricação / Felipe Terra Mohad. – 2022.

85 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Rio Grande/RS, 2022.

Orientador: Dr. Leonardo de Carvalho Gomes.

Coorientador: Me. Everton Rodrigues da Silva.

1. Confiabilidade Estatística 2. Gestão da Manutenção 3. Pilar Manutenção Planejada 4. Manutenção Produtiva Total (TPM)
I. Gomes, Leonardo de Carvalho II. Silva, Everton Rodrigues da
III. Título.

CDU 621

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
ESCOLA DE ENGENHARIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
PPMec



Ata nº **15/2022** da Defesa de Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Aos vinte e dois dias do mês de dezembro de dois mil e vinte e dois, foi instalada a Banca de Defesa de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, às dez horas, online via web conferência, a que se submeteu o mestrando **Felipe Terra Mohad**, nacionalidade brasileira, dissertação ligada a Linha de Pesquisa simulação e controle de processos de fabricação, com o seguinte título: **ANÁLISE DA CONFIABILIDADE ESTATÍSTICA NO PILAR MANUTENÇÃO PLANEJADA DO TPM E SUA UTILIZAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA O CONTROLE DA DISPONIBILIDADE DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO**. Referendada pela Câmara Assessora do Curso, os seguintes Professores Doutores: Leonardo De Carvalho Gomes, Luciano Volcanoglo Biehl, Lidiana Zocche, sob a presidência do Professor Leonardo De Carvalho Gomes. Analisando o trabalho, os Professores da Banca Examinadora o consideraram:

1. Leonardo de Carvalho Gomes: APROVADO _____
2. Luciano Volcanoglo Biehl: APROVADO _____
3. Lidiana Zocche: APROVADO _____

Foi concedido um prazo de 30 dias para o candidato efetuar as correções sugeridas pela Comissão Examinadora (anexo) e apresentar o trabalho em sua redação definitiva, sob pena de não expedição do Diploma. A ata foi lavrada e vai assinada pelos membros da Comissão.

Assinaturas:

1. _____
CPF: 885.669.350-04

Documento assinado digitalmente
LEONARDO DE CARVALHO GOMES
Data: 22/12/2022 11:21:17-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

2. _____
CPF: 575.195.100-00

Documento assinado digitalmente
LUCIANO VOLCANOGLLO BIEHL
Data: 22/12/2022 11:16:03-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

3. _____
CPF: 056.752.419-14

Documento assinado digitalmente
LIDIANA ZOCCHE
Data: 22/12/2022 11:38:44-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Felipe Terra Mohad: _____

Documento assinado digitalmente
FELIPE TERRA MOHAD
Data: 22/12/2022 11:48:24-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, se não fosse à fé que tenho nele, não teria conseguido. Agradeço também aos meus pais, Jamil e Maria, aos quais devo tudo que sou hoje, eles me deram os ensinamentos que carrego para todas as etapas de minha vida. Agradeço também a minha irmã, Bruna, a minha sobrinha, Isabela, e aos meus familiares e amigos que colaboraram muito durante o mestrado e que souberam compreender minha ausência em alguns momentos.

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande por me proporcionar um grande crescimento profissional e pessoal ao longo desses anos de graduação e mestrado. Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e também a CAPES pelo incentivo à pesquisa e pela bolsa concedida. Ao Prof. Dr. Luciano Biehl, pelo apoio no decorrer do curso e por sempre se colocar à disposição a ajudar em tudo que é possível.

Agradeço ao Prof. Dr. Leonardo de Carvalho Gomes pela orientação, pelos inúmeros comentários/ajustes sugeridos para a dissertação e pelo incentivo que muitos contribuíram para o resultado final deste trabalho. Agradeço também ao meu coorientador Me. Everton Rodrigues da Silva por todo o suporte, transferência de conhecimento e indicação dos caminhos a serem percorridos, os quais foram de fundamental importância para o desenvolvimento da dissertação.

A todos dedico minha satisfação por ter concluído essa etapa importante e deixo aqui o meu obrigado.

RESUMO

Baseado na constante busca pela competitividade, as empresas estão buscando o aumento de sua produtividade e confiabilidade de suas operações, principalmente em indústrias de fabricação. Dentro das operações, a função manutenção tem papel importante nessa busca pela competitividade, pois busca manter seus equipamentos sempre no estado padrão de funcionamento. Um sistema de gestão da manutenção disseminado por várias décadas e implementado pelas empresas é a Manutenção Produtiva Total, do inglês *Total Production Maintenance* (TPM). Dentre os pilares do TPM, o mais significativo é Manutenção Planejada, onde atua no acompanhamento da vida útil e gestão das atividades de manutenção. A presente pesquisa busca analisar a contribuição da confiabilidade estatística para este pilar, a confiabilidade estatística é uma ferramenta estatística que visa demonstrar o quanto um determinado componente pode operar dentro de suas funcionalidades sem que ocorra a falha. O trabalho consistiu em uma revisão da literatura e um estudo de caso de implementação da confiabilidade estatística na área de fabricação em uma das maiores empresas de fertilizantes do mundo, em uma planta localizada no sul do país. Também, foi realizada uma pesquisa qualitativa visando interpretar as informações relatadas pelos colaboradores sobre a influência da confiabilidade estatística no pilar manutenção planejada. Os resultados mostraram que a confiabilidade estatística pode ser usada como suporte ao pilar Manutenção Planejada, atuando na construção e atualização dos planos de manutenção planejada dos componentes, na gestão dos modos de falha dos equipamentos e no acompanhamento da vida útil dos equipamentos. Os resultados também mostram que existem alguns desafios que podem dificultar a implementação da confiabilidade estatística. Por fim, o estudo aponta uma influência positiva da utilização da confiabilidade estatística no pilar manutenção planejada, como uma ferramenta de auxílio na gestão da manutenção.

Palavras-chave: Confiabilidade Estatística; Gestão da Manutenção; Pilar Manutenção Planejada; Manutenção Produtiva Total (TPM).

ABSTRACT

Based on the constant search for competitiveness, companies are looking to increase their productivity and reliability of their operations, mainly in manufacturing industries. Within operations, the maintenance function plays an important role in this quest for competitiveness, as it seeks to keep its equipment always in the standard state of operation. A maintenance management system disseminated for several decades and implemented by companies is Total Productive Maintenance (TPM). Among the pillars of TPM, the most significant is Planned Maintenance, which monitors the service life and manages maintenance activities. The present research seeks to analyze the contribution of statistical reliability to this pillar, statistical reliability is a statistical tool that aims to demonstrate how much a given component can operate within its functionalities without failure occurring. The work consisted of a literature review and a case study of the implementation of statistical reliability in the manufacturing area in one of the largest fertilizer companies in the world, in a plant located in the south of the country. Also, a qualitative research was carried out in order to interpret the information reported by employees about the influence of statistical reliability on the planned maintenance pillar. The results showed that statistical reliability can be used to support the Planned Maintenance pillar, acting in the construction and updating of planned maintenance plans for the components, in the management of equipment failure modes and in the monitoring of the useful life of the equipment. The results also show that there are some challenges that can hinder the implementation of statistical reliability. Finally, the study points to a positive influence of the use of statistical reliability in the pillar of planned maintenance, as an aid tool in maintenance management.

Keywords: Statistical Reliability; Maintenance Management; Planned Maintenance Pillar; Total Productive Maintenance (TPM).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução temporal da manutenção	20
Figura 2 – Os pilares do TPM.....	26
Figura 3 – Diagrama de blocos das etapas da pesquisa.....	36
Figura 4 – Diagrama de blocos das etapas da implementação da confiabilidade estatística no equipamento	38
Figura 5 – Sistema de controle da empresa.....	43
Figura 6 – Gráfico de Pareto da quantidade de paradas não programadas do equipamento	45
Figura 7 – Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Weibull das ocorrências na caída do granulador	47
Figura 8 – Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos da Caída do Granulador para Distribuição de Weibull	48
Figura 9 – Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Weibull das ocorrências no mancal do granulador.....	49
Figura 10 – Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos do Mancal do Granulador para a Distribuição de Weibull	49
Figura 11 – Distribuição Bibliográfica por Estrato.....	76
Figura 12 – Distribuição dos Artigos por Qualis	76
Figura 13 – Distribuição por Data dos Artigos	77
Figura 14 - Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Exponencial das ocorrências na caída do granulador.....	78
Figura 15 - Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos da Caída do Granulador para Distribuição Exponencial.....	79
Figura 16 - Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Lognormal das ocorrências na caída do granulador.....	79
Figura 17 - Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos da Caída do Granulador para Distribuição Lognormal	80
Figura 18 - Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Normal das ocorrências na caída do granulador	80
Figura 19 - Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos da Caída do Granulador para Distribuição Normal	81

Figura 20 - Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Exponencial das ocorrências no mancal do granulador	82
Figura 21 - Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos do Mancal do Granulador para Distribuição Exponencial.....	83
Figura 22 - Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Lognormal das ocorrências no mancal do granulador	83
Figura 23 - Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos do Mancal do Granulador para Distribuição Lognormal	84
Figura 24 - Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Normal das ocorrências no mancal do granulador.....	84
Figura 25 - Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos do Mancal do Granulador para Distribuição Normal	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Desempenho Geral	41
Tabela 2 – Desempenho do granulador	42
Tabela 3 – Principais motivos de parada	44
Tabela 4 – Tempos observados até a falha na caída do granulador.....	46
Tabela 5 – Tempos observados até a falha no mancal do granulador	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ações Recomendadas e Melhoria Esperada	51
Quadro 2 – Ações Recomendadas e Melhoria Esperada	52
Quadro 3 - Influências da Confiabilidade Estatística no pilar Manutenção Planejada relatadas nas Entrevistas.....	58
Quadro 4 – Dificuldades relatadas para implantação da Confiabilidade Estatística no pilar Manutenção Planejada	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMEA - Failure Mode and Effect Analysis

MTBF - Mean Time Between Failures

NBR - Norma Brasileira

OEE - Overall Equipment Effectiveness

PCM – Planejamento e Controle da Manutenção

TPM - Total Productive Maintenance

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 A EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO AO LONGO DOS ANOS	19
2.2 AS FORMAS DE VARIAÇÃO DA MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA COMO INSTRUMENTO DE PRODUTIVIDADE	22
2.2.1 Manutenção Corretiva	22
2.2.2 Manutenção Preventiva	23
2.2.3 Manutenção Preditiva	24
2.3 TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) OU MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL	25
2.4 O PILAR MANUTENÇÃO PLANEJADA	29
2.4.1 Relação entre a Manutenção e o Controle de Processos de Fabricação ..	31
2.5 O USO DA CONFIABILIDADE ESTATÍSTICA NA MANUTENÇÃO	33
3. METODOLOGIA	35
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	35
3.2 ETAPAS DA PESQUISA	35
3.2.1 Proposição Teórica	36
3.2.2 Definição do Objeto de Estudo de Caso	36
3.2.3 Caracterização do Objeto	37
3.2.4 Análise do Desempenho Atual	38
3.2.5 Implementação da Confiabilidade Estatística	38

3.2.6	Análise dos resultados da implementação da confiabilidade estatística	39
3.2.7	Pesquisa Qualitativa	39
3.2.8	Análise e Discussões dos Resultados	40
3.2.9	Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros	40
4.	RESULTADOS	41
4.1	ANÁLISE DO DESEMPENHO ATUAL	41
4.2	IMPLEMENTAÇÃO DA CONFIABILIDADE ESTATÍSTICA	42
4.2.1	Levantamento de Informações	43
4.2.2	Obtenção das Principais Falhas e suas Frequências	44
4.2.3	Seleção dos Componentes	45
4.2.4	Implementação da Confiabilidade Estatística do Componente	46
4.2.4.1	Caída do granulador	46
4.2.4.2	Mancal do granulador	48
4.2.5	Proposição de Ações com Base nas Informações Obtidas	50
4.2.5.1	Ações recomendadas para a caída do granulador	50
4.2.5.2	Ações recomendadas para o mancal do granulador	52
4.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA CONFIABILIDADE ESTATÍSTICA	53
4.4	PESQUISA QUALITATIVA	54
4.4.1	Descrição dos Dados	55
4.4.1.1	Supervisor de Manutenção	55
4.4.1.2	Analista de Manutenção	56
4.4.2	Análises dos Dados	57
4.4.3	Interpretação	59
5.	ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	62
5.1	FREQUÊNCIAS E PLANOS DE MANUTENÇÃO	62
5.2	INFLUÊNCIAS E DIFICULDADES DA IMPLEMENTAÇÃO DA CONFIABILIDADE ESTATÍSTICA NO PILAR MANUTENÇÃO PLANEJADA	64

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	67
7. REFERÊNCIAS	69
7.1 REFERÊNCIAS NOMINAIS	69
7.2 REFERÊNCIAS POR ESTRATO	76
7.3 REFERÊNCIAS POR QUALIS	76
7.4 REFERÊNCIAS POR DATA DOS ARTIGOS	77
8. APÊNDICES	78
8.1 APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÕES OBTIDAS NO SOFTWARE PROCONF 2000 PARA A FALHA NA CAÍDA DO GRANULADOR	78
8.2 APÊNDICE B - DISTRIBUIÇÕES OBTIDAS NO SOFTWARE PROCONF 2000 PARA A FALHA NO MANCAL DO GRANULADOR.....	82

1. INTRODUÇÃO

No atual cenário de negócios, a gestão da manutenção tem se mostrado um fator relevante para a competitividade industrial visando aumentar a produção e reduzir os custos dentro da indústria. Segundo Garcia e Garcia (2019), a partir da indústria 4.0, as empresas de manufatura estão identificando oportunidades para desenvolver sua competitividade de suas operações pela análise de dados dos seus processos organizacionais.

Um dos modelos mais disseminados em gestão da manutenção é a Manutenção Produtiva Total (*Total Production Maintenance-TPM*), que tem como objetivo principal maximizar a eficiência e a utilização dos equipamentos eliminando desperdícios a partir de um sistema de manutenção proativo (NAKAJIMA, 1988). O TPM consiste em um conjunto de estratégias e procedimentos, que visa garantir o pleno funcionamento das máquinas em um processo produtivo para que a produção não seja interrompida e que não haja perda de qualidade no produto final. E, tendo o TPM a manutenção preventiva como sua base segundo Nakajima (1988).

Normalmente, a manutenção não é planejada com base em dados reais, mas realizada a partir da experiência dos funcionários envolvidos, orientados pelos manuais dos fabricantes (KOMNINAKIS; PIRATELLI e ACHCAR, 2018). A fim de maximizar a venda de componentes ou minimizar responsabilidades, alguns fabricantes orientam intervalos curtos de revisão e substituição de partes e componentes (MENDES; RIBEIRO, 2014; RAUSAND, 1998).

A elaboração dos planos de manutenção preventiva, baseados em análises quantitativas, é essencial para a compreensão do tipo e do intervalo de manutenção mais adequado ao comportamento da taxa de falhas de cada equipamento, permitindo assim, formular a melhor estratégia de manutenção para cada equipamento e, também, evitando a execução de atividades desnecessárias ou ineficazes de manutenção (MENDES; RIBEIRO, 2014; SANTOS; SELLITTO, 2016). Pode ser um desafio para as organizações realizar a transição de planejamento dinâmico, baseado em experiência, para o uso de banco de dados. Porém, esta transição é a chave para alcançar o potencial total da manutenção (SALONEN; GOPALAKRISHNAN, 2020).

Uma alternativa para robustecer o pilar Manutenção Planejada do TPM poderia ser a utilização da ferramenta Confiabilidade Estatística, visto a necessidade de uma

maior assertividade nos planos de manutenção dentro da indústria com o objetivo de implementar planos de manutenção preventiva que preveem reparos antes da quebra dos equipamentos. A Confiabilidade Estatística vem se tornando uma ferramenta importante para subsidiar a tomada de decisão em diversos setores da indústria, entre eles a Manutenção.

A implantação da Confiabilidade Estatística requer uma estratégia formal nos atuais sistemas de gestão da manutenção industrial de modo que sua utilização seja consistente e sustentável. Tal estratégia pode ser uma alternativa as estratégias informais encontradas nas empresas, com base na experiência pessoal de gestores geralmente (ANDRADE,2011). Conforme disposto no parágrafo anterior, surgiu uma hipótese na presente pesquisa representada pela questão de pesquisa: Pode a Confiabilidade Estatística robustecer o pilar Manutenção Planejada do TPM, ou seja, facilitar a tomada de decisão e melhoria dos resultados deste pilar.

Neste sentido, o presente trabalho consiste em analisar a influência da Confiabilidade Estatística no pilar Manutenção Planejada do TPM. Esta pesquisa foi realizada através de uma proposição teórica sobre a influência da Confiabilidade Estatística no pilar Manutenção Planejada e, posteriormente, de um estudo de caso em uma empresa fabricante de fertilizantes no sul do Brasil.

1.1 OBJETIVOS

Neste tópico são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

Objetivo geral do presente trabalho é analisar a influência da Confiabilidade Estatística no desempenho do pilar Manutenção Planejada do TPM.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Obter uma proposição teórica sobre a contribuição da Confiabilidade Estatística no pilar Manutenção Planejada;

- Implementar a Confiabilidade Estatística no caso em questão;
- Análise das influências da Confiabilidade Estatística no Pilar Manutenção Planejada.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é composto por seis capítulos. No primeiro capítulo são abordados o tema e o contexto da pesquisa, os objetivos, a estrutura e os limites de trabalho.

No segundo capítulo é abordada uma revisão de literatura, que foi organizada em cinco subseções: A evolução da manutenção ao longo dos anos; As Formas de Variação da Manutenção na Indústria como Instrumento de Produtividade; *Total Productive Maintenance* (TPM) ou Manutenção Produtiva Total (MPT), O Pilar Manutenção Planejada; O Uso da Confiabilidade Estatística na Manutenção.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia da pesquisa, bem como sua caracterização e suas etapas.

No capítulo quatro são apresentados os resultados, obtidos através do estudo de caso e da pesquisa qualitativa. No quinto capítulo são apresentadas a análise e as discussões dos resultados.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões, bem como sugestões para trabalhos futuros.

No sétimo capítulo está disposto as referências utilizadas na pesquisa. No oitavo e último capítulo é apresentado o apêndice com informações complementares a pesquisa.

1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Os resultados práticos e teóricos da pesquisa, referentes à influência da Confiabilidade Estatística na Manutenção Planejada, são limitados ao objeto do estudo de caso, uma indústria de fertilizantes, e ao Pilar Manutenção Planejada.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Essa etapa apresenta a fundamentação teórica, elaborada a partir de artigos, livros e outras fontes. Consta nesse capítulo uma revisão a literatura sobre a evolução da manutenção ao longo dos anos, as formas de variação da manutenção na indústria como instrumento de produtividade, a Manutenção Produtiva Total (MPT), o pilar Manutenção Planejada e a Confiabilidade Estatística.

2.1 A EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO AO LONGO DOS ANOS

A origem do conceito de manutenção surgiu no final do século XIX, com o início da mecanização e a implantação de produtos em série. Desde a Revolução Industrial, a manutenção é um desafio, pois apesar do grande progresso, oriundo do avanço tecnológico, essa ainda é uma atividade desafiadora devido a fatores como complexidade, custo e concorrência que, aliados a uma nova filosofia de organização e responsabilidades, fizeram da manutenção uma das atividades que mais mudaram nas últimas duas décadas (DHILLON, 2002; MOUBRAY, 1997)

Nas indústrias em geral, a manutenção está se tornando cada vez mais fundamental para geração de lucros e mantê-las eficientemente, eficaz e econômica, sustentando sua sobrevivência a longo prazo (SHARMA, et al., 2011). A manutenção está se tornando uma área funcional crítica na maioria das organizações e sistemas, incluindo áreas da construção, fabricação, transportes, etc. (AL-TURKI,2011).

A literatura apresenta diferentes definições para manutenção, mas todas apresentam elementos comuns que possibilitam identificar o conceito e a função manutenção dentro da indústria. Atualmente, as organizações acabam utilizados os mais diferentes tipos de manutenções conforme a necessidade e diretrizes institucionais em que são definidas de acordo com cada segmento de mercado onde a organização está alocada.

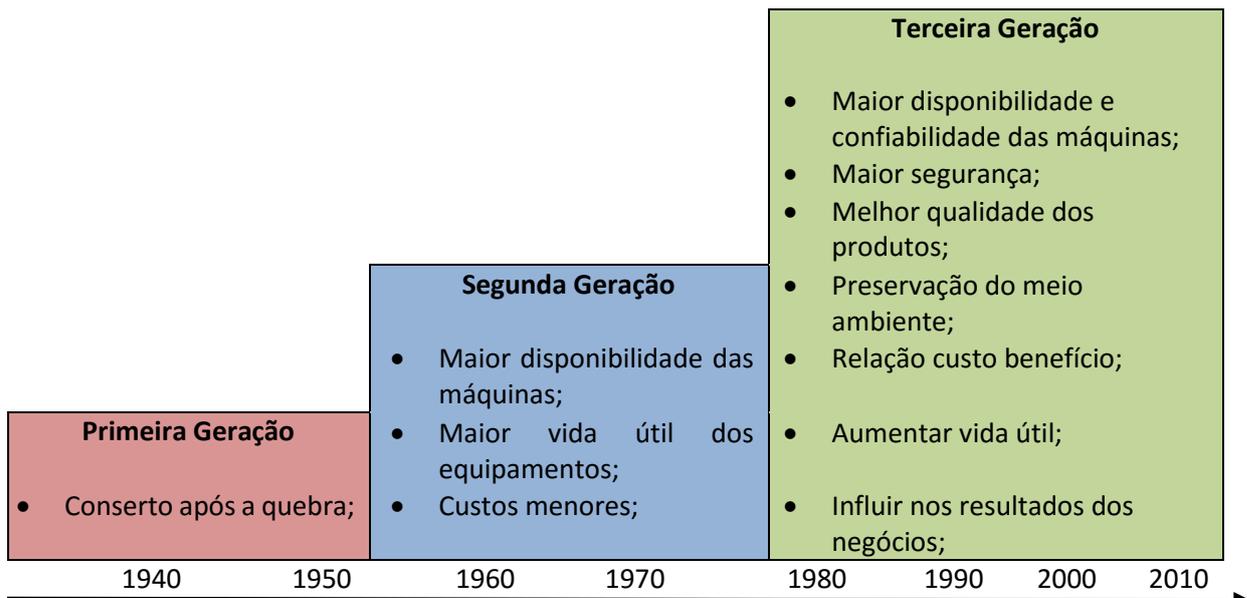
A manutenção pode ser definida conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994) por meio da NBR 5462 de Confiabilidade e Manutenibilidade como “a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar

uma função requerida. Sendo que, item é qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente”.

Segundo Kardec e Nasfic (2009), além de executar sua função, a manutenção deve garantir a confiabilidade e disponibilidade do item, atendendo ao processo com segurança, preservando o meio ambiente e com custos adequados, sendo essa a missão da manutenção.

Para Moubray (1997) e Siqueira (2009), a evolução da manutenção pode ser dividida em três gerações, conforme Figura 1, com características próprias e diferenciadas, onde cada uma corresponde a um período tecnológico de produção.

Figura 1 – Evolução temporal da manutenção



Fonte: Adaptado de Moubray, 1997.

Na primeira geração da manutenção, a indústria era pouco mecanizada e períodos desde a paralisação de equipamentos até a chegada do conserto não eram longos. A maioria dos equipamentos eram simples e muitos deles superdimensionados, tornando-os fáceis de consertar e até certo ponto confiáveis. Conseqüentemente, não era necessária uma manutenção sistemática e a necessidade de habilidades para realizar a manutenção era menor que a necessidade de hoje em dia (BARAN, 2015).

Durante a Segunda Guerra Mundial, a grande demanda por produtos e serviços, aliada a escassez de disponibilidade de mão de obra técnica, colaborou para o aumento da mecanização dos processos de produção. Sendo assim, com a disseminação da linha de produção contínua, surgiram equipamentos e máquinas mais numerosas e complexas, aumentando assim os custos relacionados a manutenção (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2009).

A partir dessa perspectiva, criou-se uma expectativa em relação ao desempenho das máquinas ao longo do tempo, evidenciando a necessidade de garantir suas confiabilidades e disponibilidades. Esse fato contemplou a necessidade de diminuir os custos operacionais decorrentes das falhas, que conseqüentemente paravam a produção por algum período (KARDEC e NASFIC, 2009).

A necessidade por maior disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos em busca de maior produtividade levou a busca por um menor número de falhas nos equipamentos através da manutenção preventiva.

Na terceira geração, a partir da década de 70, houve a aceleração no processo de mudança das indústrias. Segundo Nascif e Kardec (2009), a tendência mundial pela utilização do sistema Just in Time, onde eram utilizados estoques reduzidos, transformavam qualquer parada ou falha nas máquinas em uma provável paralisação da produção da fábrica. Essa tendência tornou cada vez mais necessária uma maior confiabilidade, disponibilidade e vida útil dos equipamentos como pilares para uma competitividade na indústria.

Atualmente, estamos entrando na quarta geração da manutenção, chamada de Manutenção 4.0, onde segundo Jasiulewicz-Kaczmarek e Gola (2019), este ambiente pode favorecer a quebra de paradigmas das estratégias mais antigas, permitindo que as empresas maximizem a vida útil de seus equipamentos, evitando assim, tempo de inatividade não planejado, riscos a segurança de processos e pessoas e o consumo de energia ou recursos.

A manutenção apropriada para cada empresa está ligada a um bom funcionamento de máquinas, podendo levar a um fluxo ininterrupto de processos, a menos falhas e, conseqüentemente, a uma maior produtividade (KHAN; DARRAB, 2010). O objetivo da manutenção 4.0 é a integração e conectividade das máquinas a

partir da extração de dados e informações, e posterior análise dos dados enviados. As manutenções preditivas são recomendadas, fazendo com que as falhas sejam resolvidas antes de qualquer dano e, por diversas vezes, sem ao menos a necessidade do trabalho humano para realizar o reparo.

2.2 AS FORMAS DE VARIAÇÃO DA MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA COMO INSTRUMENTO DE PRODUTIVIDADE

Os tipos de manutenções demonstram de que forma as atividades nos equipamentos são realizadas. Podemos diferenciá-las em dois tipos de manutenção: a planejada e a não planejada.

A manutenção não planejada é estritamente corretiva, e gera perdas de produção, através de paradas na produção por equipamentos ou itens avariados, perdas de qualidade do produto e elevados custos. A Manutenção Planejada é aquela na qual o objetivo é estar atrelado a diminuição ou eliminação da perda de produção, ocasionando a diminuição dos custos e do tempo de reparo.

Os métodos de manutenção podem assumir três formas:

1. Manutenção corretiva;
2. Manutenção Preventiva;
3. Manutenção Baseada em Condições (CBM), também conhecida como manutenção preditiva.

As descrições serão apresentadas nos sub tópicos a seguir.

2.2.1 Manutenção Corretiva

Manutenção corretiva tem como função principal corrigir ou restaurar as condições de funcionamento do equipamento ou sistema. Segundo Wang (2014), a manutenção corretiva é uma tarefa de manutenção realizada para identificar e reparar as causas das falhas em um sistema não conforme.

Dillhon (2006) descreve este tipo de manutenção como toda a ação de reparo, decorrente de uma falha ou defeito onde o objetivo é restabelecer um item a uma condição operacional satisfatória. Um aspecto fundamental, mesmo no caso da manutenção corretiva, é identificar com precisão a causa da falha e resolvê-las, evitando a reincidência da falha a partir dessa causa (XENOS, 1998).

Podemos separar a manutenção corretiva em duas perspectivas: corretiva planejada, onde o conserto é realizado em um período posterior a falha; corretiva não planejada ou de emergência, onde o conserto ocorre logo após a falha, com objetivo de devolver ao item sua função.

A manutenção corretiva planejada pode ser compreendida como um conjunto de atividades com o propósito de eliminar a fonte de falha, sem interromper a continuidade do processo de produção da fábrica. Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção corretiva planejada visa a correção a partir de um desempenho não esperado ou de uma falha, pela decisão de operar o equipamento até a sua quebra visando um determinado prazo de entrega, ou pela necessidade de se cumprir determinada produtividade.

Manutenção corretiva não planejada é a correção da falha de maneira aleatória, caracterizada pela atuação da manutenção em um fato ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho do equipamento menor que o esperado (KARDEC; NASCIF, 2009). A manutenção corretiva é sempre realizada após a falha funcional do equipamento.

2.2.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é uma intervenção de manutenção prevista, preparada e programada antes da data provável do aparecimento de uma falha (MONCHY, 1989).

Segundo Froger (2016), a manutenção preventiva é realizada em intervalos pré-determinados ou de acordo com critérios prescritos, e visa reduzir a probabilidade de falha. Para reduzir ou evitar a falha, bem como queda no desempenho, a

manutenção preventiva segue um plano previamente elaborado de tarefas baseadas em intervalos definidos no tempo, ou seja, um cronograma de manutenções.

A manutenção preventiva é um trabalho de prevenção de falhas ou defeitos, que podem acarretar a uma parada ou desempenho aquém do esperado em uma operação.

Segundo Basri (2017) ações de manutenção preventiva em sistemas ou componentes podem ser feitas a partir de dados confiáveis e servem como procedimento de análise e planejamento. O resultado será um planejamento de manutenção preventiva mais prático que irá fornecer dados mais precisos e atualizados.

Segundo Lee (2013), embora a manutenção preventiva possa garantir alto nível de disponibilidade, ela possui duas armadilhas. A primeira é que a mesma pode se tornar uma atividade cara. A segunda armadilha é que ela não traz um aprendizado sobre a degradação comportamental de um item ou sistema de produção, pois sua manutenção é realizada antes de qualquer sintoma ser observado

2.2.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva, também conhecida por manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento, pode ser definida como a atuação realizada com base em modificações de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática (KARDEC; NASFIC,2009).

Segundo Ruiz-Sarmiento (2020), a manutenção preventiva visa evitar as avarias, agendando as manutenções conforme o uso da máquina, monitorando a situação do maquinário e de acordo com seu nível de degradação, a fim de decidir quando uma operação de manutenção é necessária.

2.3 TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) OU MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL

Segundo Ribeiro (2014), a TPM iniciou através de um esforço das indústrias japonesas em aperfeiçoar a manutenção tradicional que nasceu nos Estados Unidos na década de 50.

Contudo, posteriormente o Japão evoluiu para um sistema de manutenção da produção que consistia na busca incessante por zero perdas nos processos através de zero falhas, zero quebras e zero defeitos, e com as seguintes características:

- Engloba o ciclo de vida completo das máquinas e equipamentos;
- Envolve participação de áreas como a engenharia, a produção (incluindo a logística) e a manutenção;
- Permite a participação de variados níveis hierárquicos da empresa;
- Pode ser considerado um processo motivacional por envolver trabalho em equipe.

A TPM surgiu como uma alternativa à tradicional manutenção corretiva, pois até então a indústria japonesa trabalhava apenas com a manutenção corretiva, adequando-se perfeitamente as exigências de disponibilidade integral de máquinas nos sistemas de produção sem estoques. A TPM é considerada uma forma evolutiva da manutenção corretiva para a manutenção preventiva (KARDEC; NASCIF, 2009; FOGLIATO; RIBEIRO, 2011).

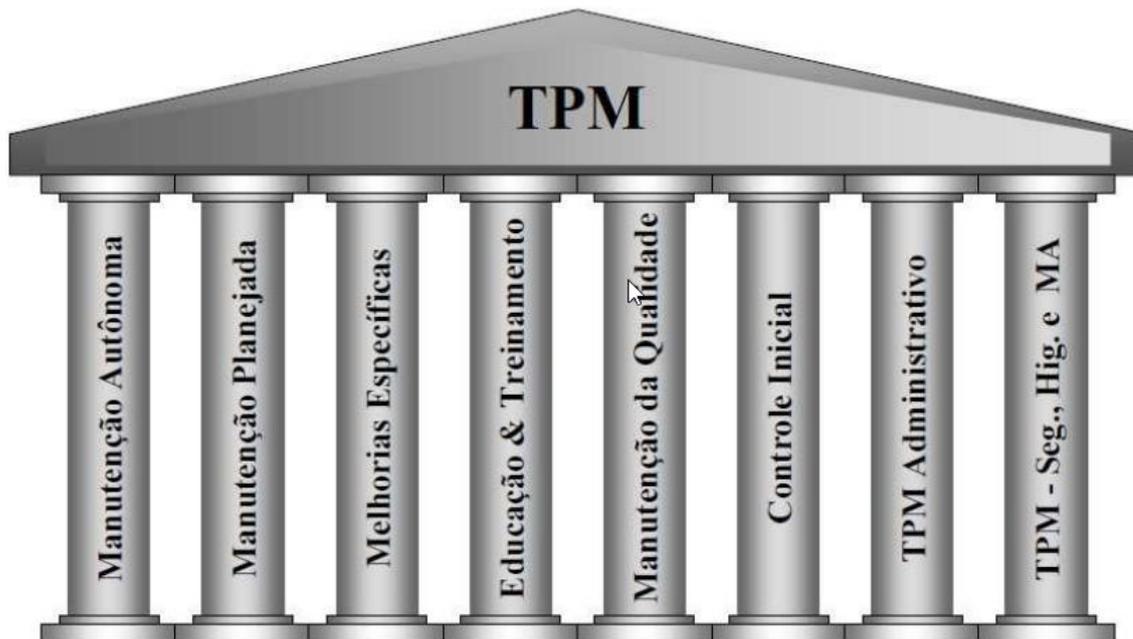
Segundo Kardec e Nascif (2009), diversos fatores econômico-sociais tornam o mercado cada vez mais acirrado, fazendo as empresas se moldarem as necessidades atuais e de modo a continuarem competitivas. Tais fatores são a obtenção de melhor desempenho dos equipamentos, a redução das paradas na produção por quebras ou intervenções, a busca pela eliminação de desperdícios, entre outros.

Segundo Nakajima (1989), os principais objetivos da TPM são o aumento da confiabilidade dos equipamentos, a eliminação das quebras e as melhorias do índice de disponibilidade das máquinas. As perdas ou desperdícios são itens de um processo produtivo ou sistema que atrapalham as necessidades produtivas de uma empresa, gerando impactos nos custos que acabam não agregando valor ao produto final. Por

meio do gerenciamento “homem-máquina” para a melhoria estrutural da empresa, os funcionários são capacitados tecnicamente e conscientizados sobre a importância do desempenho do equipamento. Os treinamentos são investimentos em longo prazo, que geram como benefícios a multifuncionalidade dos operadores, o senso de responsabilidade, a redução no tempo de reparo e a integração entre os operadores e mecânicos (DE MENEZES; SANTOS, 2015).

A TPM, de acordo com Adesta et al. (2018), comporta-se como um sistema para maximizar a eficiência da produção de qualquer organização e é composta por pilares como mostrados na Figura 2:

Figura 2 – Os pilares da TPM



Fonte: Adaptado de Ribeiro, 2014.

Os pilares são definidos com os seguintes objetivos:

- Manutenção autônoma: estruturar a condução da manutenção voluntária ou autônoma pelos operadores.
- Manutenção planejada: possuir o planejamento e controle da manutenção, sendo essencial o treinamento, sistema mecanizado para planejar a programação diária, bem como as paradas de manutenção.

- Melhoria específica: aumentar a eficiência global do equipamento ou processo, a fim de reduzir os problemas e maximizar o desempenho.
- Educação e treinamento: promover a qualificação dos colaboradores da manutenção e operação.
- Manutenção da qualidade: determinar um programa com zero defeitos.
- Controle inicial: estabelecer um sistema para gerenciar projetos e equipamentos logo na fase inicial, em prol de eliminar as falhas e implantar sistemas de monitoramento.
- TPM administrativo: propor um programa de TPM voltado as áreas administrativas, em razão de aumentar a eficiência.
- Segurança, Higiene e Meio ambiente: organizar um sistema de segurança, saúde e meio ambiente.

Para a implementação da TPM é necessário o comprometimento de todos os colaboradores, entendendo que a manutenção é uma atribuição de todos os envolvidos. As práticas da TPM são um planejamento estratégico e eficiente para gestão de negócios. A abordagem TPM afeta diretamente o nível de eficiência e eficácia na organização (HABIDIN, 2018).

Pode-se notar que a situação atual de competição entre as organizações tem aumentado continuamente. Há uma necessidade de se adotar práticas para o aumento da competitividade e a TPM é uma destas práticas de manutenção. O foco principal de cada organização é melhorar sua eficiência e aumentar a produtividade, reduzindo o tempo de entrega para que os clientes fiquem satisfeitos. O objetivo de qualquer programa TPM é melhorar continuamente a produtividade e a qualidade, com o aumento da moral dos funcionários e a satisfação destes por seu trabalho.

A TPM é a manutenção aplicada a partir da colaboração de todos, desde os operadores de máquinas e equipes de manutenção, até os gestores da organização. A TPM tem como principal fator de colaboração o envolvimento do setor da produção na manutenção, visto o operador ser quem melhor conhece o equipamento. Segundo Bartz (2014), a TPM auxilia na melhoria do desempenho industrial e da competitividade. Já para Jain et al. (2014), a implementação da TPM melhora a

produtividade e eficiência dos funcionários, e também melhora a eficácia do equipamento, colaborando para um crescimento da indústria. Muitas organizações ainda têm dificuldades para implementar a TPM com sucesso. As possíveis razões para isso podem ser a diversidade de sistemas de produção e equipamentos, as variáveis dos funcionários, os níveis de habilidade, as diferentes culturas organizacionais e as diferenças na condição prevalente das competências de manutenção.

A manutenção preventiva anterior era considerada um processo que não agregava valor, mas agora é essencial a exigência de maior ciclo de vida das máquinas em uma indústria (SINGH, 2013). A manutenção tradicional pode ser vista como uma forma de produção mais longa, com a necessidade de muito mais paradas e ajustes, considerando que a TPM inclui, além do envolvimento do operador e a comunicação, menos paradas e manutenções mais preditiva e preventiva (AGUSTIADY; CUDNEY, 2018).

A finalidade principal da TPM é maximizar a eficiência dos recursos. Para estabelecer as metas e auxiliar no acompanhamento da evolução, é normalmente utilizado o índice de Eficiência Global do Equipamento ou do inglês Overall Equipment Effectiveness (OEE).

O valor do OEE é expresso em percentual, sendo calculado pelo produto das taxas de disponibilidade do equipamento, desempenho (performance) e qualidade, conforme apresentado na equação 1 abaixo:

$$\text{OEE (\%)} = (\text{DISPONIBILIDADE}) \times (\text{DESEMPENHO}) \times (\text{QUALIDADE}) \text{ (Equação 1)}$$

O indicador de Eficiência Global do Equipamento caracteriza-se por demonstrar a relação esperada entre os resultados dos equipamentos na prática e a previsão estimada para os mesmos, sendo uma das abordagens da Manutenção Produtiva Total (ZHU, 2011).

2.4 O PILAR MANUTENÇÃO PLANEJADA

O pilar Manutenção Planejada consiste em detectar e tratar anormalidades e desvios nos equipamentos antes que eles causem falhas e perdas (RIBEIRO, 2014). Os requisitos de mercado em rápida mudança exigem melhorias no desempenho de uma empresa com foco no corte de custos, aumentando níveis de produtividade e qualidade e pontualidade na entrega para satisfazer os clientes. A qualidade e as funções de manutenção são fatores vitais para alcançar a sustentabilidade em uma organização de manufatura atual (KAUR et al., 2013).

As organizações industriais buscam continuamente novas estratégias para melhorar a eficácia de suas operações, por métodos e processos que levem a melhoria constante na qualidade, custos e produtividade de seus produtos. Atualmente o grande foco é sobre as perdas e desperdícios que ocorrem devido a processos, retrabalho, quebra ou indisponibilidade de equipamentos, paradas inesperadas de manutenção entre outras. Nesse cenário que a Manutenção Planejada se tornou fundamental para as indústrias se manterem no ritmo competitivo que o mercado exige.

Segundo Agustiady e Cudney (2018) a diretriz da Manutenção Planejada é reduzir o tempo de inatividade não planejada e permite que a manutenção seja planejada para momentos em que o equipamento não está programado para execuções de produção ativas. Fazer com propósito de aumentar a sua confiabilidade, melhorar o seu desempenho e reduzir custos em geral da manutenção.

Para implementação do pilar Manutenção Planejada da TPM é utilizado 6 passos. São eles:

- Passo 1: Avaliação da situação atual do equipamento.
- Passo 2: Correção de falhas. Falhas e problemas repetitivos devem ser analisados para evitar a sua reincidência.
- Passo 3: Estruturação de um sistema de controle de informação. Através de registro de intervenções, plano de manutenção, controle de dados de equipamentos.
- Passo 4: Estabelecimento de planos de manutenção.

- Passo 5: Desenvolvimento de sistema de manutenção preditiva. Realização de diagnósticos do equipamento, dos itens críticos que podem comprometer a disponibilidade operacional e a sua vida útil.

- Passo 6: Avaliação dos resultados da manutenção

Práticas de manutenção inadequadas são as principais razões para sistemas de produção ineficientes. A maior dificuldade para que a Manutenção Planejada cumpra suas metas é na parte de definir com qual frequência a atividade de manutenção em um determinado item deve ser realizada. Outras dificuldades encontradas estão atreladas a falta de atualização das informações e dos planos de manutenção ao longo da vida útil do equipamento, fazendo com que a falta de análises das intervenções anteriores no equipamento um problema na parte de seu planejamento. A dissociação da teoria e prática da manutenção pode ser atribuído à falta de resolução de problemas de manutenção real, ou seja, falta de estudos de pesquisa empírica (FRASER et al., 2015).

Segundo Gopalakrishnan (2015), há uma grande lacuna nas práticas das indústrias com respeito a classificação de criticidade e planejamento de manutenção, devendo haver um suporte adicional necessário na tomada de decisão para uma manutenção mais eficaz. A avaliação da criticidade da máquina é uma ferramenta que avalia o criticidade a fim de apoiar as decisões de alocação de manutenção priorizada (MARQUEZ et al., 2016). Conforme Morre e Starr (2006), as análises de criticidade de um equipamento precisam ser contínuas, em virtude da variação da criticidade de determinado item estar ligada muitas vezes ao cronograma de produção, no que diz respeito a produtividade que aquele equipamento terá. A identificação de equipamentos ou componentes críticos e seus impactos na confiabilidade do sistema determinam a ordem de prioridade deles, pois a implementação da manutenção é uma tarefa importante nas indústrias. Um componente é considerado crítico se a falha desse componente tem consequências graves (JEYAMALA et al., 2013).

Segundo Glawar et al. (2018), a escolha errada de período para manutenção afeta de forma significativa a produtividade da indústria devido a tomadas de decisões que não são baseadas em uma base de dados confiável para seu planejamento. Para Coetzee (2004), a priorização da manutenção do equipamento deve ser baseada na contribuição financeira que cada máquina faz para a organização.

Portanto, possuir um bom conhecimento de criticidade dos equipamentos colabora para um melhor planejamento de manutenção. Colaborando com a importância de um melhor planejamento, Ylipää (2017) relata a necessidade de mudança de mentalidade nas organizações referente à manutenção, visto que a maioria dos profissionais de manutenção estão trabalhando principalmente em reparos, ao invés de atividades de manutenção preventiva e planejada. Conforme Shing e Shing (2020), o planejamento da manutenção é mais eficaz do que pequenas melhorias.

O planejamento da manutenção pode ser realizado em três níveis: estratégico, médio e curto prazo. Segundo Al-Turky (2014), um plano estratégico de manutenção, como qualquer outro plano funcional, deve ser consistente com a visão e os objetivos da empresa. No entanto, o planejamento estratégico da manutenção difere de outras áreas funcionais da seguinte forma:

- A visão tradicional da manutenção como um centro de custo em vez de um centro de lucro;
- A forte interconexão entre a manutenção e a gestão de ativos principais;
- A alta influência da manutenção nos objetivos corporativos por meio de aquisição de ativos e sua gestão;
- A natureza de ser altamente técnico e intensivo em mão de obra;
- As principais partes interessadas (principalmente internas).

2.4.1 Relação entre a Manutenção e o Controle de Processos de Fabricação

Atualmente há uma necessidade crescente de integração entre a gestão da manutenção e o controle de processos de fabricação. A Manutenção Planejada pode ser utilizada como ferramenta para controle das variáveis dos processos de fabricação, podendo reduzir taxas de falhas ou avarias, bem como melhorar o desempenho e aumentar a produtividade de uma máquina ou equipamento. Conforme Gopalakrishnan et al. (2020), o planejamento e controle de produção e manutenção

de máquinas industriais são a “espinha dorsal” das empresas de manufatura para alcançar maior produtividade e para se manterem competitivas globalmente.

Segundo Cassady (2000), há uma grande relação entre a manutenção de equipamentos de fabricação e a qualidade dos produtos fabricados, pois produtos de qualidade são fabricados por equipamentos com funcionamento ideal e dentro de parâmetros preestabelecidos. A manutenção corretiva ou preventiva tem um impacto direto na qualidade e confiabilidade, e conseqüentemente no controle de processos de fabricação. Um processo de fabricação de alta qualidade é um pré-requisito crítico para se produzir produtos confiáveis, bem como a garantia de qualidade adequada (HE et al. 2018).

Sistemas de suporte à decisão para planejamento de manutenção que não sejam preditivos e prescritivos também são necessários para permitir que as empresas de manufatura gerenciem, com eficácia, a manutenção de sistemas complexos (GOPALAKRISHNAN et al., 2020). Com a grande evolução das indústrias na área de coleta de informações em processos e equipamentos, os dados de processos de fabricação estão sendo usados para o planejamento de manutenção através das variações dos parâmetros de controle resultantes em indicadores. Um exemplo disso é a necessidade de substituição ou reparos em máquinas, ou equipamentos.

Portanto, uma política de manutenção adequada pode ajudar a reduzir o número de avarias e variações de processo, aumentando os níveis de qualidade dos produtos. O controle de qualidade, através de processos de fabricação e o gerenciamento de manutenção, são uma técnica de otimização conjunta, podendo trazer benefícios econômicos para o crescimento sustentável da indústria (SAHA, 2021). A ideia geral dessa relação é o monitoramento dos processos, máquinas ou produtos acabados e a futura definição a partir de parâmetros do planejamento da manutenção, de modo a não afetar a produtividade, a qualidade e a eficiência geral do processo de fabricação.

2.5 O USO DA CONFIABILIDADE ESTATÍSTICA NA MANUTENÇÃO

Na atual economia, as empresas necessitam estar prontas para as mudanças de demanda que acontecem abruptamente. A partir de tal exigência, a minimização da probabilidade de ocorrência de falhas em uma indústria acarreta uma melhor regularidade de operação. Segundo Muchiri (2011), a manutenção dos equipamentos e a confiabilidade dos sistemas são importantes fatores que acabam afetando a capacidade da organização de fornecer um produto de qualidade ou serviços apropriados aos clientes e estar à frente das organizações concorrentes.

A confiabilidade é o foco principal nas organizações da manutenção e as prioridades são definidas visando melhorar a confiabilidade (GARG et al., 2010). As prioridades da confiabilidade são baseadas por modos de falha e seus riscos e pela importância dos mesmos para o sistema de manufatura. A confiabilidade vem se tornando uma ferramenta importante na indústria de fabricação mecânica, principalmente na área de manutenção e produção, visto que o retrabalho ou parada podem afetar os materiais no processo produtivo.

Segundo Andrade (2011), a mudança dos sistemas de gestão da manutenção a partir estratégias informais e com base na experiência pessoal dos gestores, geralmente evoluem para estratégias fundamentadas na teoria da confiabilidade e podem ser uma alternativa aos atuais sistemas de gestão da manutenção.

O suporte à decisão, baseado em dados, é necessário atualmente para o gerenciamento de manutenção. A abordagem baseada em dados permite analisar o sistema de produção dinâmico em tempo real. Os problemas mais comuns no gerenciamento de manutenção são as decisões de manutenção serem baseadas na experiência das pessoas, focadas em algo estreito e estático (GUO et al., 2013). Com o desenvolvimento de tecnologia de computador e abundância de dados coletados pelo sistema de fabricação, as indústrias atingiram um estágio onde a decisão baseada em dados pode ser realizada (SUBRAMANIYAN et al. 2016).

Os intervalos de Manutenção Planejada com base nas recomendações dos fabricantes podem não ser o ideal, visto que as condições reais de operação podem ser muito diferentes daquelas que o fabricante considerou como modelo para o funcionamento daquele item (AHMAD; KAMARUDDIN, 2012).

Como cada equipamento se comporta de forma diferente, seria ineficaz apenas uma análise qualitativa das informações. Assim, a definição do tempo entre as manutenções depende de uma avaliação matemática do processo de falha do equipamento (RAUSAND, 1998). A coleta de dados é de extrema importância para um estudo de confiabilidade. Problemas de coleta, tais como ausências e incoerências nas informações de tempo de máquina parada ou tempo entre falhas poderão ter grande impacto nos resultados das análises de confiabilidade (LEMES, 2006).

Segundo Alaswad e Xiang (2017), nos últimos anos a manutenção, baseada nas condições do equipamento, recebeu muita atenção da comunidade de pesquisa. A manutenção baseada na condição é uma abordagem que o objetivo é reduzir ações de manutenção desnecessárias e eliminar os riscos associados ao não realizar as ações de manutenção preventiva. A manutenção baseada na condição se caracteriza onde as condições dos equipamentos são atestadas por dados coletados, que conseguem demonstrar os graus de confiabilidade em que o equipamento se encontra.

Existem situações comuns onde é complexo desenvolver um cronograma de manutenção adequado e com antecedência. Esse fato pode levar à manutenção de equipamentos que possuem grande quantidade de vida útil ainda e resultando em altos custos de manutenção (PENG, DONG E ZUO 2010). Portanto, várias práticas de manutenção preventiva podem não satisfazer as reais necessidades da indústria atualmente, tornando cada vez mais necessária a utilização de ferramentas matemáticas que auxiliem a manutenção.

3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta e descreve as características e as etapas para o desenvolvimento da pesquisa.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho é classificado em relação à natureza como pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). A pesquisa visa analisar a influência da Confiabilidade Estatística no desempenho do pilar Manutenção Planejada da TPM.

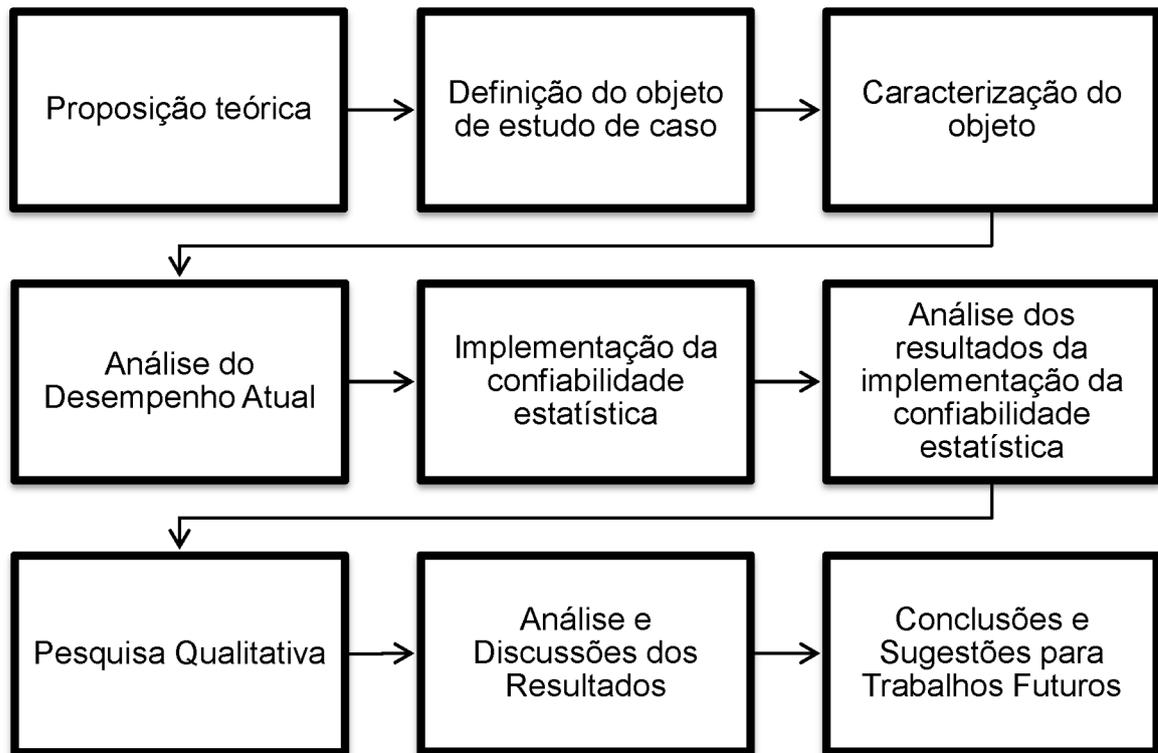
A caracterização da pesquisa quanto ao método de abordagem é classificada como qualitativa e quantitativa, ou mista. Segundo Creswell e Clark (2015), esse método se concentra em coletar, analisar e misturar dados quantitativos e qualitativos em um único estudo ou série de estudos. Na presente pesquisa, limita-se somente a um objeto de estudo de caso e os fenômenos nele correlacionados.

Já em relação aos procedimentos utilizados, o presente trabalho é classificado como estudo de caso, pois é caracterizado pela investigação empírica com coleta e análise de dados de um determinado assunto específico (YIN; Robert K., 2015).

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

As etapas da presente pesquisa partem do objetivo e do referencial teórico, detalhando-se em seguida as etapas do estudo de caso e posteriormente com as análises e discussões dos resultados. A Figura 3 ilustra as etapas da pesquisa.

Figura 3 – Diagrama de blocos das etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.2.1 Proposição Teórica

Partindo-se da hipótese de que a Confiabilidade Estatística pode robustecer o pilar Manutenção Planejada da TPM, ou seja, facilitar a tomada de decisão e melhoria dos resultados do pilar Manutenção Planejada, é proposto teoricamente que a Confiabilidade Estatística pode ser utilizada como uma ferramenta para a gestão dos planos de manutenção preventiva, auxiliando com dados para análises de falhas e acompanhamento da vida útil do equipamento.

3.2.2 Definição do Objeto de Estudo de Caso

Foi identificada uma empresa que estivesse desenvolvendo a TPM na sua unidade e que estivesse disposta a investir na Confiabilidade Estatística para melhoria do planejamento da manutenção. A empresa definida como objeto de estudo do caso

foi uma fabricante de fertilizantes líder mundial com uma de suas filiais localizadas no sul do Brasil.

A definição do equipamento, o objeto do estudo de caso desta pesquisa, ocorreu através da comunicação com o setor de manutenção da empresa, além de ser um dos principais equipamentos para o processo produtivo e por ser um equipamento já consolidado na empresa, no qual possui um histórico maior de informações necessárias para a presente pesquisa. Além disso, o estudo e análise este equipamento são de interesse do setor de manutenção.

3.2.3 Caracterização do Objeto

A empresa objeto do estudo está desenvolvendo o sistema Lean Manufacturing globalmente e, como parte desse sistema, a mesma está desenvolvendo a TPM. Como objeto do estudo de caso, foi definido a máquina granulador. Esta escolha se deu devido a importância dessa máquina para o processo produtivo da empresa e também devido a sua maior disponibilidade de históricos de atividades realizadas no mesmo.

O objeto de estudo do presente trabalho fica localizado na unidade da planta de granulação da empresa de fertilizantes. O Granulador é o principal equipamento da planta de granulação, sendo um dos mais importantes na produção de fertilizantes, no qual qualquer parada do mesmo acarreta interrupção do processo produtivo da unidade, gerando um grande impacto para a empresa. Agronomicamente falando, a granulação é responsável por reduzir a área superficial dos fertilizantes (grão), fazendo com que a liberação dos nutrientes seja de forma contínua e lenta para a planta. O seu processo pode ser dividido em três etapas: a primeira etapa é a mistura, onde a matéria-prima é misturada no tambor. A segunda etapa é a granulação, onde a matéria-prima ganha forma. E a terceira etapa é secagem do grão, onde é adicionado vapor para se retirar a umidade dos grãos.

Atualmente o setor de manutenção, responsável pelos equipamentos da empresa. Atua a partir de 3 abordagens de manutenção: preventiva sistemática, realizada com base em planos definidos a partir da recomendação do fornecedor, por

corretivas programadas, oriundas dos apontamentos nas inspeções, e manutenções corretivas.

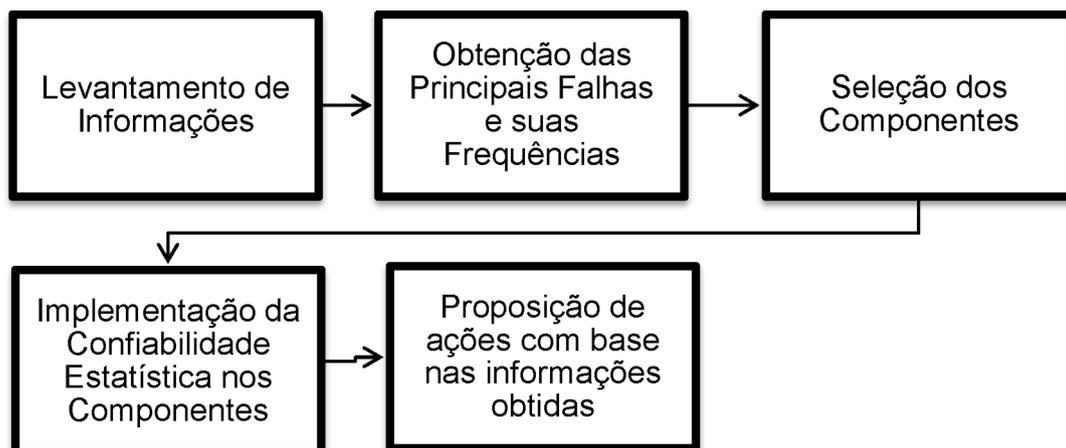
3.2.4 Análise do Desempenho Atual

A etapa de análise do desempenho atual foi realizada com o propósito de verificar o desempenho do equipamento, a partir de dados de disponibilidade baseados no período do estudo.

3.2.5 Implementação da Confiabilidade Estatística

Para a etapa de implementação da Confiabilidade Estatística e posterior realização da pesquisa qualitativa foi formada uma equipe, composta pelo supervisor de manutenção e o analista de manutenção da empresa. A implementação da Confiabilidade Estatística foi realizada conforme as etapas demonstradas na Figura 4.

Figura 4 – Diagrama de blocos das etapas da implementação da confiabilidade estatística no equipamento



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A primeira etapa foi a realização o levantamento das informações necessárias, no caso o histórico de paradas do granulador.

Na segunda etapa foi realizado o levantamento das falhas, com o propósito de se obter as principais falhas e suas respectivas frequências de ocorrência.

Na terceira etapa realizou-se a relação da cada falha com o respectivo componente do granulador que a gerou. Dada a identificação de todos os componentes que falharam, foi selecionado o componente com a maior incidência de falhas. Neste componente foi aplicada a Confiabilidade Estatística.

Na quarta etapa implementou-se a Confiabilidade Estatística no componente selecionado, através da utilização do software [®]ProConf 2000, calculando o tempo médio entre falhas MTBF e a Confiabilidade Estatística do componente.

Na quinta e última etapa foram propostas ações, a partir das informações obtidas nas etapas anteriores e conforme a descrição das atividades de manutenção realizadas atualmente no componente selecionado. Estas informações foram obtidas com os envolvidos na pesquisa, a partir dos modos de manutenção realizadas atualmente na empresa.

3.2.6 Análise dos resultados da implementação da confiabilidade estatística

Esta etapa foi responsável por analisar os resultados encontrados na implementação da Confiabilidade Estatística nos componentes selecionados do granulador.

3.2.7 Pesquisa Qualitativa

Com propósito de complementar a verificação da influência da Confiabilidade Estatística no pilar Manutenção Planejada da TPM, uma pesquisa qualitativa foi realizada para mostrar a percepção dos envolvidos sobre a influência da Confiabilidade Estatística no pilar Manutenção Planejada da TPM.

Foi realizada uma entrevista com os colaboradores da empresa e envolvidos no estudo. Essa entrevista foi realizada através de encontros com os colaboradores

envolvidos, no qual foram realizadas perguntas relacionadas com a Confiabilidade Estatística para o suporte à Manutenção Planejada. As perguntas foram:

- 1) Qual a sua experiência em Confiabilidade Estatística?
- 2) Você acredita em mudanças do desempenho do pilar Manutenção Planejada após o estudo da Confiabilidade Estatística nos componentes do equipamento?
- 3) O uso da Confiabilidade Estatística pode contribuir para análise das falhas do equipamento?.
- 4) A Confiabilidade Estatística pode ser utilizada como suporte ao planejamento da manutenção? Como?.

Após a coleta dessas informações, as seguintes etapas da pesquisa qualitativa foram realizadas de acordo com Ribeiro e Nodari (2000), os quais determinam três etapas: descrição, análise e interpretação dos dados da entrevista.

- 1) Descrição: onde se visa descrever as observações;
- 2) Análise: que consiste em seguir uma forma criteriosa e sistemática de identificação de fatores-chave e suas relações;
- 3) Interpretação: onde se busca o significado dos dados coletados e o entendimento do contexto de aplicação.

3.2.8 Análise e Discussões dos Resultados

A partir dos resultados obtidos na implementação da confiabilidade e na pesquisa qualitativa, foram analisados e discutidos os resultados obtidos nas etapas contempladas na pesquisa.

3.2.9 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Na última etapa, a de Conclusões, a mesma consistiu em realizar a verificação se os experimentos e pesquisas realizadas respondem aos questionamentos levantados ao longo da pesquisa. Além disso, foi realizada a sugestão para elaboração de trabalhos futuros.

4. RESULTADOS

Nesse capítulo foram apresentados os resultados encontrados na pesquisa, contemplados a partir da etapa de análise de desempenho atual da Figura 3.

4.1 ANÁLISE DO DESEMPENHO ATUAL

O desempenho atual da planta de granulação foi baseado a partir das informações coletadas de disponibilidade do equipamento e de tempo das paradas programadas e não programadas, conforme demonstrado na Tabela 1. Os dados coletados correspondem ao período de janeiro a novembro de 2021 e de fevereiro a maio de 2022, nos quais o equipamento estava disponível para seu funcionamento normal.

Tabela 1 – Desempenho Geral da Planta de Granulação

Análise de Desempenho da Planta de Granulação		
Horas Disponíveis	10.152 (h)	
Paradas Programadas	1.142,2 (h)	11,25%
Paradas Não Programadas	1.014,6 (h)	10,00%
Total de Horas de Paradas	2.156,8 (h)	21,25%
Disponibilidade da Planta	7.995,2 (h)	78,75%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o cálculo de disponibilidade da planta de granulação, foram consideradas as horas disponíveis (A), as horas de paradas programadas (B) e as horas de paradas não programadas (C), conforme demonstrado na Equação 2:

$$\text{Disponibilidade (\%)} = (A - B - C) / A \quad (\text{Equação 2})$$

A partir dos dados foi possível analisar que o tempo de funcionamento pleno do equipamento pela manutenção foi de 7.995,2 horas durante o período estudado, correspondendo a 78,75% do tempo disponível para operação do mesmo. Já as paradas na operação correspondem a 21,25% do tempo disponível, sendo as paradas programadas e não programadas de manutenção respectivamente 52,95% e 47,05% do tempo de indisponibilidade motivada por manutenção do equipamento.

Desses valores, o granulador obteve nos meses estudados uma disponibilidade conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Desempenho do Granulador

Análise de Desempenho do Granulador		
Horas Disponíveis	10.152 (h)	
Paradas Programadas	1.142,2(h)	11,25%
Paradas Não Programadas	132 (h)	1,3%
Total de Horas de Paradas	1.274,2(h)	12,55%
Disponibilidade do Granulador	8.877,8(h)	87,45%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A disponibilidade do granulador ficou em 87,45% no período, considerando a disponibilidade em que o equipamento estava disponível para a sua operação padrão pelo setor de manutenção, não disposto o período em que o mesmo ficou sem operação motivado por outros fatores. A diferença do total de horas de paradas da planta de granulação em relação ao granulador corresponde a paradas de outros componentes que fazem parte do complexo de funcionamento da planta de granulação. Para o estudo considerou-se apenas o desempenho do granulador.

4.2 IMPLEMENTAÇÃO DA CONFIABILIDADE ESTATÍSTICA

Essa seção apresenta as etapas que foram seguidas para a implementação da Confiabilidade Estatística do equipamento. Os dados de falhas coletados foram tratados e inseridos no software [®]ProConf 2000 para o início da análise. Posteriormente, foram analisadas as principais falhas e, a partir da definição da principal falha do estudo e conseqüentemente seu componente, a implementação da Confiabilidade Estatística no componente foi realizada. Na etapa seguinte foi recomendada ações para o componente a partir dos dados analisados anteriormente e a partir de seu plano de manutenção atual.

4.2.1 Levantamento de Informações

A base de dados utilizada para a análise do granulador foi o *Uptime* do setor de produção. Na base de dados é possível verificar os eventos que impactaram na produção, ou seja, eventos que pararam o equipamento de forma não programada. A Figura 5 mostra a base de dados.

Figura 5 – Sistema de controle da empresa

Date	Equip	Equip Detail	Loss Hours	Category
18/05/2022	Lack of utility	CALDEIRA	0,2	Reduced Rate
18/05/2022	Process	PLANTA DE GRANULAÇÃO	0,5	Reduced Rate
18/05/2022	Human factor	EMPOADOR DE PRODUTO	0,6	Reduced Rate
19/05/2022	Process	PLANTA DE GRANULAÇÃO	0,7	Reduced Rate
19/05/2022	Electricity	TRANSPORTADOR HELICOIDAL	0,8	Reduced Rate
19/05/2022	Blockages	TRANSPORTADOR HELICOIDAL	3,17	Unscheduled Downtime
19/05/2022	Blockages	TRANSPORTADOR BULK TOWER TP23C P/ RR02	0,5	Minor Stops
19/05/2022	Process	PENEIRA PRIMEIRA CLASSIFICAÇÃO	0,5	Reduced Rate
20/05/2022	Mechanical	RESFRIADOR DE PRODUTO GRANULADO	10,8	Unscheduled Downtime
20/05/2022	Process	PLANTA DE GRANULAÇÃO	0,4	Reduced Rate
21/05/2022	Process	PLANTA DE GRANULAÇÃO	0,9	Reduced Rate
21/05/2022	Process	PLANTA DE GRANULAÇÃO	1,4	Reduced Rate
21/05/2022	Mechanical	RESFRIADOR DE PRODUTO GRANULADO	10,17	Unscheduled Downtime
21/05/2022	Mechanical	RESFRIADOR DE PRODUTO GRANULADO	0,8	Reduced Rate
22/05/2022	Process	PLANTA DE GRANULAÇÃO	0,4	Reduced Rate
22/05/2022	Process	PLANTA DE GRANULAÇÃO	0,6	Reduced Rate
23/05/2022	Mechanical	SECADOR	19,2	Unscheduled Downtime
24/05/2022	Plant start-up and shutdown	FORNALHA A LENHA	0,58	Reduced Rate
24/05/2022	Plant start-up and shutdown	TRANSPORTADOR P/ BALANÇA 01	2,5	Reduced Rate
24/05/2022	Blockages	GRANULADOR	1,5	Unscheduled Downtime

Fonte: Tela do sistema de controle da empresa, 2022.

Foi realizado o levantamento do histórico de paradas não programadas na produção causadas pelo equipamento previamente definido, no caso o granulador, incluindo as datas que os eventos ocorreram, a descrição do problema e o tempo de parada.

Para a análise dos dados foram adotadas as seguintes premissas:

- O sistema é reparável (por esse motivo o tempo médio entre falhas MTBF será considerado);
- A base de dados será considerada em dias de funcionamento;
- A análise dos dados será do dia 04/01/2021 ao 25/05/22;
- O MTBF considerado para falhas que ocorreram no mesmo dia é de 0,5 dias;

- Para o estudo foi considerado apenas os eventos categorizados no sistema da empresa como *unscheduled downtime* (paradas não programadas) e *minor stops* (pequenas paradas);

4.2.2 Obtenção das Principais Falhas e suas Frequências

Na Tabela 3, estão demonstrados os principais tipos de falhas, correspondentes a um total de 70,51% do tempo de paradas não programadas do granulador, falhas essas ocorridas nos diferentes componentes do granulador e ocasionando um impacto produtivo, visto que todas as paradas ocasionaram 132 horas de paradas não programadas apenas no período estudado.

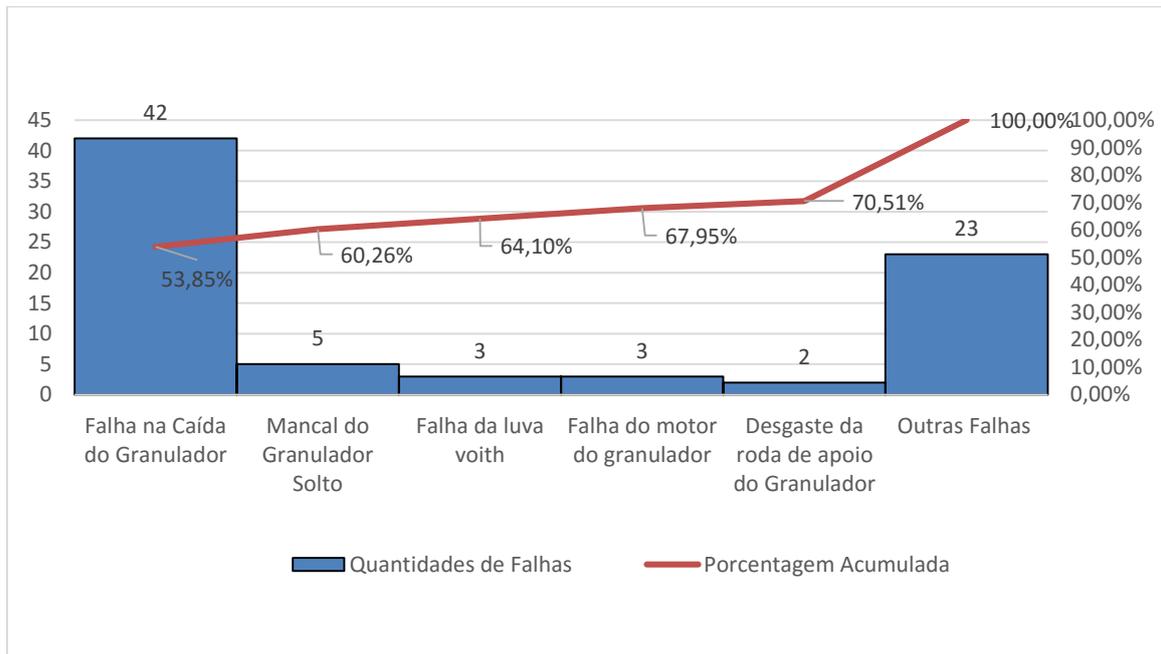
Tabela 3 – Principais motivos de parada

Modo de Parada	Porcentagem do Total de Paradas
Falha na Caída do Granulador	53,85%
Mancal do Granulador solto	6,41%
Falha da Luva Voith	3,84%
Falha do motor do Granulador	3,84%
Desgaste da Roda de apoio do granulador	2,56%
Outra Paradas	29,49%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir das falhas foi possível identificar as paradas não programadas conforme a sua frequência, através do Gráfico de Pareto mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Gráfico de Pareto da quantidade de paradas não programadas do equipamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Diagrama de Pareto é uma ferramenta importante para identificação dos problemas que causam paradas nas empresas. No caso deste estudo, foi visto que as 5 principais falhas correspondem a 19% dos tipos de falhas e representam 70,51% das ocorrências, enquanto as outras falhas correspondente a 81% dos tipos de falhas e representam apenas 29,49% das falhas. Foi possível notar com base na regra de Pareto 80/20, que 80% das consequências são resultados de 20% das causas, que o referido caso coincide aproximadamente a regra de Pareto.

4.2.3 Seleção dos Componentes

Após a verificação das principais falhas do equipamento foi definido os próximos passos do estudo. O próximo passo foi então o estudo das duas principais falhas do granulador: a falha na caída do granulador e a falha do mancal do granulador. Esta escolha se deu devido o número elevado de ocorrência das mesmas que ocasionaram 60,26% das paradas não programadas no equipamento.

4.2.4 Implementação da Confiabilidade Estatística do Componente

Nesta etapa foram realizadas as implementações da Confiabilidade Estatística nos componentes definidos na etapa anterior.

4.2.4.1 Caída do granulador

Os dados demonstrados na Tabela 4 apresentam as falhas ocorridas na caída do granulador e o tempo das falhas, estes considerados em dias devido a falta de informação referente a hora em que o evento aconteceu.

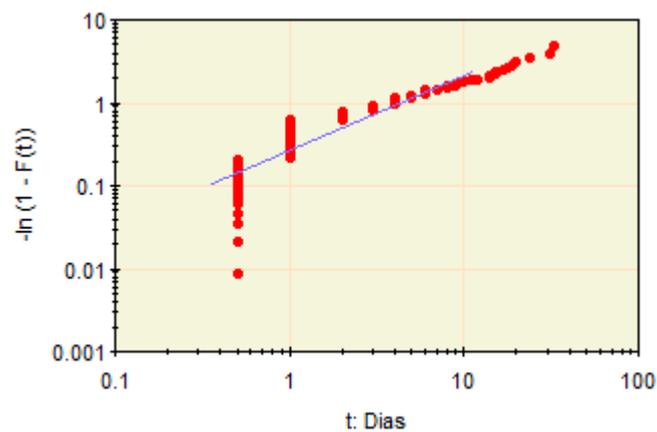
Tabela 4 – Tempos observados até a falha na caída do granulador

Observação	Tempo até a falha (em dias)	Observação	Tempo até a falha (em dias)
1	1	22	2
2	10	23	1
3	14	24	3
4	14	25	5
5	45	26	15
6	11	27	24
7	18	28	4
8	1	29	33
9	13	30	1
10	4	31	21
11	31	32	6
12	1	33	3
13	5	34	4
14	8	35	5
15	1	36	1
16	0,5	37	22
17	3	38	29
18	0,5	39	22
19	1	40	1
20	2	41	0,5
21	3	42	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

O cálculo do MTBF foi realizado através do *software* ®ProConf 2000. O mesmo utiliza métodos analíticos e gráficos para ajustar amostras de tempo de falhas à modelos de distribuições de probabilidade. Os dados foram testados para as distribuições: exponencial, weibull, gamma, normal e lognormal. A partir da análise gráfica obtida no software, o modelo de probabilidade de Weibull foi o que melhor representou os dados da amostra, conforme Figura 7, demonstrados assim como nos resultados analíticos.

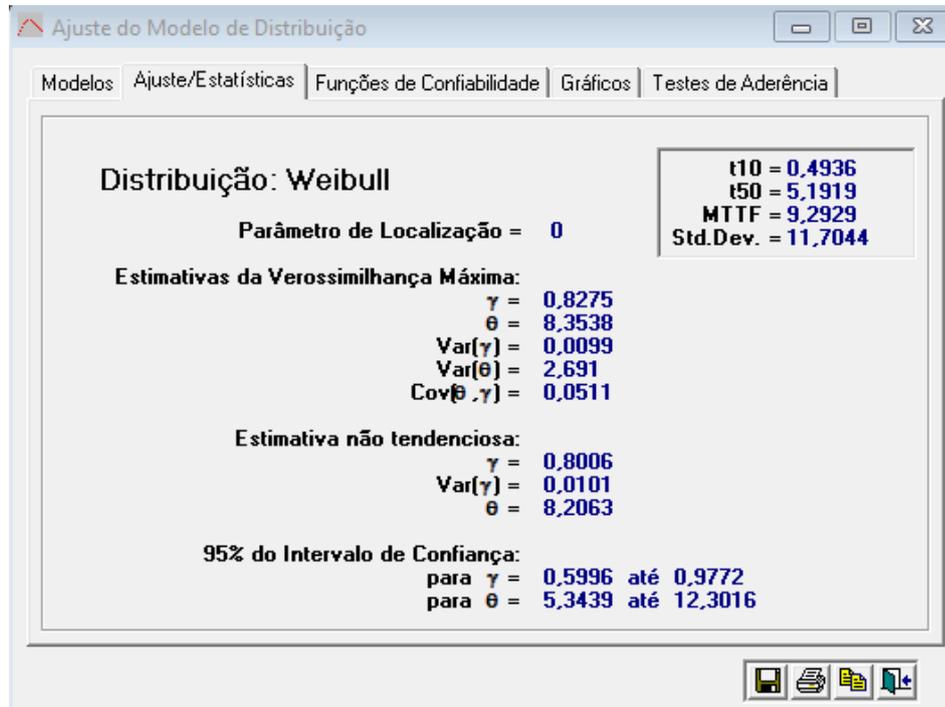
Figura 7 – Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Weibull das ocorrências na caída do granulador



Fonte: software ®ProConf 2000.

Através dos dados coletados foi realizada a análise de Confiabilidade Estatística, também através do software ®ProConf 2000. No qual para a falha da caída do granulador foi diagnosticado, a partir das observações, um período médio entre falhas MTBF correspondente a 9,2929 dias para uma confiabilidade de 95% dada uma distribuição Weibull (Figura 8).

Figura 8 – Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos da Caída do Granulador para Distribuição de Weibull



Fonte: Imagem obtida pelo software [®]ProConf 2000.

4.2.4.2 Mancal do granulador

Os dados demonstrados na Tabela 5 apresentam as falhas ocorridas no mancal do granulador.

Tabela 5 – Tempos observados até a falha no mancal do granulador

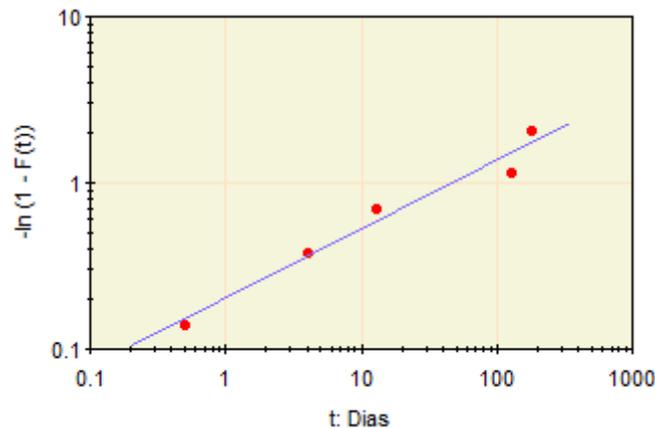
Observação	Tempo até a falha (em dias)	Observação	Tempo até a falha (em dias)
1	183	4	13
2	128	5	4
3	0,5		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como para o componente anterior, os dados foram testados para as distribuições exponencial, weibull, gamma, normal e lognormal com o software [®]ProConf 2000. A partir da análise gráfica obtida no software, o modelo de probabilidade de Weibull é também o que mais descreve os dados para a falha do

mancal do granulador, conforme Figura 9, demonstrados assim como nos resultados analíticos.

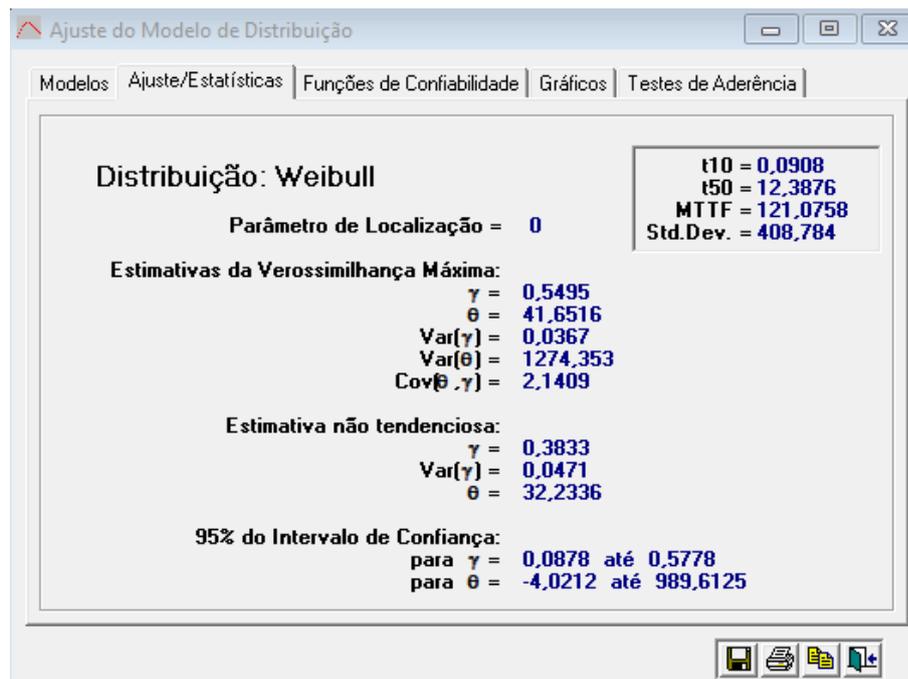
Figura 9 – Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Weibull das ocorrências no mancal do granulador



Fonte: software ®ProConf 2000.

Para o componente mancal do granulador foi diagnosticado, a partir das observações, um período médio entre falhas MTBF correspondente a 121,0758 dias para uma confiabilidade de 95% dada uma distribuição Weibull, conforme Figura 10.

Figura 10 – Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos do Mancal do Granulador para a Distribuição de Weibull



Fonte: Imagem obtida pelo software ®ProConf 2000.

4.2.5 Proposição de Ações com Base nas Informações Obtidas

O MTBF é um indicador que pode ser utilizado para observar possíveis diferenças entre os planos de manutenção, no caso o tempo programado para Manutenção Planejada, e o tempo médio de ocorrência entre falhas de um equipamento, o qual está essencialmente ligado a confiabilidade do equipamento e quanto maior o seu valor mais confiável é um sistema ou equipamento.

Atualmente a manutenção preventiva na empresa está sendo realizada de 3 formas sistematicas: por ordens de serviço; através de planos definidos pela recomendação do fornecedor, oriundas de notas de inspeção, que são as corretivas programadas; e corretivas emergenciais.

Visto as análises anteriores sobre a falha e seu tempo médio entre falhas, foi possível elencar as ações para as falhas de maiores impactos produtivos, baseando-se nos planos de manutenção aplicados até o referido estudo na empresa.

4.2.5.1 Ações recomendadas para a caída do granulador

A atual estratégia de manutenção no componente da caída do granulador é realizada de duas formas. A primeira forma de manutenção ocorre a cada 45 dias quando acontece uma parada programada na planta de granulação com duração de 3 dias correspondendo a 72 horas de inatividade da planta. Nessa parada é realizada uma inspeção sensitiva, no qual o inspetor utiliza seus sentidos para avaliar a situação atual do componente e a compara com a situação ideal para o seu funcionamento. Após a inspeção, caso se comprove a necessidade, uma manutenção preventiva é realizada.

A outra forma de manutenção realizada no período em que o equipamento deveria estar em funcionamento ocorre de forma corretiva quando ocorre a falha, no caso a obstrução na caída do granulador, sendo essa atividade realizada pela própria equipe responsável pelo setor de produção da empresa e não havendo um planejamento prévio para a manutenção do mesmo ao longo do funcionamento do equipamento. A atividade de manutenção para esse componente não possui procedimentos de instrução de trabalho para tais intervenções.

Em virtude da planta de granulação operar 24 horas por dia, durante 45 dias corridos, em 4 turnos de 12 por 36 horas, qualquer parada realizada durante esse período é considerada corretiva e não programada.

A seguir foram recomendadas ações, conforme Quadro 1, com base nas questões elencadas nas etapas anteriores.

Quadro 1 – Ações Recomendadas e Melhoria Esperada

Ação recomendada	Melhoria Esperada
Análise da viabilidade de se realizar a manutenção preventiva de forma mais frequente e programada.	Redução de paradas não programadas ocasionadas por manutenção corretiva.
Maior detalhamento dos modos de falha no sistema de registro de paradas do equipamento.	Identificação das causas das recorrentes falhas.
Elaboração de Instrução de Trabalho para a Tarefa.	Padronização da tarefa específica e conseqüentemente a melhora de seu desempenho na realização da tarefa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira recomendação visa verificar, junto as equipes responsáveis dos setores de Planejamento e Controle da Produção e de Manutenção, a viabilidade da realização da manutenção preventiva, de forma que atenda os números oriundos do resultado da aplicação da Confiabilidade Estatística. A análise do tempo médio entre falhas indicou uma diferença do que é realizado atualmente no plano de manutenção para o que indica a confiabilidade estatística.

A segunda recomendação foi para que sejam fornecidos maiores detalhes das paradas no sistema de registro da empresa, a fim de obter uma maior embasamento das causas das recorrentes falhas ocorridas durante a produção. É importante que se faça um estudo de verificação aprofundado das paradas, buscando gerir os modos de falhas e descobrir suas reais causas para tal acontecimento, a fim de evitar ou diminuir sua reincidência.

A terceira recomendação foi que seja realizada uma instrução de trabalho para a atividade que vise uma padronização da mesma. Como essa atividade é realizada pela equipe de produção, pode ocorrer variação na forma e nos padrões de como cada equipe de trabalho realiza a atividade.

4.2.5.2 Ações recomendadas para o mancal do granulador

A atual estratégia de manutenção para o mancal do granulador se dá de algumas formas. É feita de forma preventiva e sistemática, realizadas com base em planos definidos pela recomendação do fornecedor. Também é feita de através de corretivas programadas, oriundas das notas de inspeção, ou seja, ordens condicionais e manutenções corretivas.

O plano atual de manutenção, realizado pelo setor de manutenção da empresa no mancal no granulador, compreende a verificação dos seguintes componentes:

- Fixação
- Base
- Vedações
- Temperatura
- Sistema de lubrificação
- Ruídos Anormais
- Limpeza

Essas atividades de verificação são realizadas com a periodicidade de 45 dias, o que coincidem com o período em que a planta de granulação se encontra sob parada periódica. Antes desse período de parada, o granulador passa por uma análise de vibração a cada 2 semanas para se verificar o nível de vibração em que o equipamento se encontra e identificar possíveis anomalias em seu funcionamento.

No Quadro 2 está relacionada as ações recomendadas conforme os modos de manutenção e inspeção já realizados pela empresa em outros equipamentos.

Quadro 2 – Ações Recomendadas e Melhoria Esperada

Ação recomendada	Melhoria Esperada
Rota de Inspeção para os Mancais	Maior acompanhamento do componente
Análise de Vibrações e Temperatura nos Mancais	Diagnóstico antecipado de possíveis não conformidades nos mancais

Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira recomendação é a elaboração de rotas de inspeção para os mancais, pois percebeu-se uma necessidade de acompanhamento individualizado para esses componentes. Esta recomendação se justifica pelos grandes e constantes esforços que os mancais são submetidos durante o período previamente definido de funcionamento da planta de granulação.

A segunda recomendação baseia-se na análise de dois parâmetros de essencial importância para o bom funcionamento de um mancal, a fim de se obter um maior acompanhamento da vida útil do mesmo. São eles:

- Análise de vibrações: as maiores ocorrências de falhas registradas para os mancais referem-se à fixação dos mancais na base, pois os mesmos “afrouxam”. Este fato se origina da hipótese que o equipamento, durante algum período, está trabalhando acima dos esforços previstos para os mancais, ocasionando a perda da fixação do suporte com a base do componente.
- Análise de Temperatura: devido o funcionamento contínuo do equipamento e dos esforços envolvidos na granulação, a análise da temperatura do mancal pode ser utilizada como um indicador para a detecção de problemas, visto que ocorrem paradas por temperatura excessiva nos mancais.

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DA CONFIABILIDADE ESTATÍSTICA

Os resultados encontrados na implementação da Confiabilidade Estatística demonstraram a existência de uma “lacuna” entre os dados obtidos de tempo médio entre falhas e o plano atual de manutenção dos componentes selecionados. A partir dos dados obtidos, foi possível recomendar ações a serem avaliadas pela equipe de manutenção da empresa, a fim de encontrar a sua viabilidade de implementação de acordo com os objetivos do setor.

Para o primeiro componente selecionado, a caída do granulador, foi possível verificar que o mesmo se encontrava com a necessidade de uma reanálise do plano de manutenção vigente, pois o tempo médio entre falhas se encontrava menor que o tempo de manutenção preventiva. A principal ação recomendada foi a implementação de uma manutenção preventiva com maior frequência para o componente. Porém, deve-se analisar o fato de que, para a realização da manutenção preventiva, o

equipamento deve estar com o seu funcionamento interrompido, o que acarretará uma parada para o setor produtivo ao ponto que levará a empresa a estudar se a manutenção preventiva desse item, no tempo recomendado pela análise, se tornara mais vantajoso para a empresa ou se levará aos mesmos resultados atualmente, onde a manutenção é feita de forma de corretiva emergencial. Este reparo é considerado “fácil” pela empresa.

Já para o segundo componente estudado, o mancal do granulador, o mesmo apresentou uma manutenção preventiva coincidente com o tempo médio entre falhas do período estudado. A partir dessa constatação, foram elencadas ações que poderiam ser implementadas a fim de diminuir a imprevisibilidade da ocorrência das falhas, visto que as falhas não apresentavam um padrão de tempo. Dentre as ações, a que se enquadra melhor nas atividades já realizadas pela empresa, seria a implantação de uma rota de inspeções exclusiva para os mancais do granulador, com o propósito de obter um melhor acompanhamento dos componentes.

Os resultados encontrados após a implementação da Confiabilidade Estatística nos componentes do granulador colaboram com o questionamento inicial da pesquisa, no qual visa identificar o uso da Confiabilidade Estatística como suporte à Manutenção Planejada.

4.4 PESQUISA QUALITATIVA

Nessa etapa são apresentados os dados da pesquisa, inicialmente com a descrição dos dados coletados nas entrevistas, posteriormente com a análise dos dados e, por fim, com a interpretação dos dados. As entrevistas foram todas realizadas: a partir do questionário desenvolvido e apresentado anteriormente; de forma individual com cada entrevistado (definidos e apresentados anteriormente); com duração média de 30 minutos cada entrevista; e gravadas em dispositivo eletrônico para uma posterior descrição dos dados ser realizada de forma consistente.

Após a descrição dos dados foram realizadas as etapas de análise e interpretação dos dados, respectivamente.

4.4.1 Descrição dos Dados

A descrição dos dados foi dividida por entrevistado, no caso, o Supervisor de Manutenção e o Analista de Manutenção.

4.4.1.1 Supervisor de Manutenção

O supervisor de manutenção é colaborador da empresa há 18 meses, possui 15 anos de experiência profissional, sendo a confiabilidade uma de suas especialidades ao longo de sua carreira profissional.

Na sua visão: *“O uso da Confiabilidade Estatística na manutenção permite com que a empresa foque no que realmente é necessário, vislumbrando o que às vezes está escondido através dos números e indicadores, sendo possível analisar não apenas a quebra, mas como essa falha se comporta e sua tendência em ocorrer. Perante isso, é possível definir tanto a estratégia de manutenção como as ações que serão adotadas para minimizar ou eliminar essas falhas”*. Ele considera um fator positivo trazer informações a partir da Confiabilidade Estatística, o que não seria possível apenas com os dados de quebras de equipamento. Esta afirmação é demonstrada a partir da análise estatística de como as falhas se comportam e não apenas com um indicador de falha em um período de tempo. Para este colaborador, a confiabilidade estatística torna-se uma ferramenta com a capacidade de trazer um maior acompanhamento da vida útil do equipamento ou componente.

O desempenho do pilar manutenção planejada, na sua opinião: *“Pode melhorar em virtude de se ir ao foco do problema, pois às vezes ficamos olhando apenas para taxas de falhas e quebras pontuais, enquanto as ações de manutenções ficam se repetindo e acabam não resolvendo os problemas em definitivo”*.

Conforme o supervisor, a Confiabilidade Estatística irá contribuir para análise de falhas, argumentando: *“Pelo fato de trabalhar pro ativamente na identificação de possíveis falhas, a utilização da Confiabilidade Estatística em conjunto com o FMEA pode permitir uma melhor gestão dos modos de falhas, identificando as possíveis falhas antes que aconteça”*. A busca por uma manutenção mais precisa e confiável irá levar o setor de manutenção à resolução ou diminuição das falhas encontradas.

Segundo seu relato, através da Confiabilidade Estatística é possível trabalhar nos planos de manutenção, tanto na qualificação das tarefas quanto na identificação das reais necessidades para constar nos planos, visto que para ele: *“Toda intervenção de manutenção, seja ela preventiva ou corretiva, quando demasiada é danosa ao equipamento, trazendo muitas vezes problemas que o equipamento não possuía, sendo de suma importância a realização de apenas intervenções necessárias e numa periodicidade necessária que atenda a necessidade daquele equipamento”*. Este colaborador complementa ainda sua visão sobre a Confiabilidade Estatística afirmando que a mesma pode gerar uma redução nas intervenções e, conseqüentemente, uma redução nos custos através da contínua diminuição do tempo de parada da máquina para realização de manutenções não planejadas. Na sua visão, a Confiabilidade Estatística pode direcionar a construção e atualização dos planos de Manutenção Planejada.

Já as maiores dificuldades para a implantação de Confiabilidade Estatística no setor da manutenção da empresa estão especificamente localizadas em dois fatores, segundo a visão desse colaborador: fatores normais em qualquer empresa, como o acultramento da política ou estratégia de manutenções em que são realizadas atualmente; e outros específicos de cada empresa, que no caso da empresa em questão é a falta de estruturação das informações utilizadas.

4.4.1.2 Analista de Manutenção

O analista de manutenção é colaborador da empresa há 5 anos e possui vivência no uso da Confiabilidade Estatística, tanto na empresa atual quanto em outras empresas nas quais o mesmo já atuou profissionalmente.

Conforme o analista, o desempenho da máquina poderá mudar em virtude de se poder prever algumas quebras que ainda são desconhecidas para a manutenção, e também, no quesito de traçar uma melhor estratégia de manutenção e monitoramento do equipamento. Na visão dele, a utilização da Confiabilidade Estatística acarretará em uma capacidade de construção e revisão dos planos de manutenção, de modo que compara-se o trabalho realizado atualmente com o que se pode mudar para cada tipo de falha que se apresenta. Além disso, na visao dele: *“A*

Confiabilidade Estatística proporciona o acompanhamento da vida útil do equipamento de forma mais confiável devido esse acompanhamento ser realizado com informações e dados obtidos com uma maior precisão”.

Segundo o entrevistado: *“A contribuição da Confiabilidade Estatística está muito ligada com a análise de falhas, sendo que uma boa base de dados, aliada ao uso da Confiabilidade Estatística acaba sendo responsável por revelar, em alguns casos, a causa raiz dos problemas encontrados no equipamento, obtendo uma melhor gestão das falhas do equipamento”.*

Na sua opinião, o uso dessa ferramenta pode proporcionar um maior embasamento para o setor de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), no qual será mais um indicador ou fator para auxiliar o planejamento das atividades necessárias para o melhor funcionamento da planta de granulação. Além disso, a Confiabilidade Estatística colabora para o desenvolvimento de uma maior capacidade estrutural do setor de manutenção, ou seja, disponibiliza uma maior quantidade de informações e dados para buscar-se uma manutenção mais precisa e confiável.

Na visão do analista: *“Existem várias pequenas dificuldades, mas destaca-se o fator da cultura organizacional, a partir da necessidade de convencimento dos colaboradores sobre a importância e benefícios da utilização da Confiabilidade Estatística”.* Outros fatores relatados pelo analista, que vale o registro, é sobre a burocracia apontada pelos colaboradores do setor de produção para realizarem o registro das informações no sistema de controle da empresa. Além disso, o histórico de informações acaba sendo um pouco defasado, o que causa a utilização de dados não confiáveis, dificultando a implantação da Confiabilidade Estatística nos componentes dos equipamentos.

4.4.2 Análises dos Dados

Verificou-se através das entrevistas de que maneira a utilização da Confiabilidade Estatística influenciava na Manutenção Planejada. No Quadro 3 está indicado as influências descritas pelos entrevistados.

Quadro 3 - Influências da Confiabilidade Estatística no pilar Manutenção Planejada relatadas nas Entrevistas

Influências Relatadas nas Entrevistas	Supervisor de Manutenção	Analista de Manutenção
Acompanhamento da vida útil dos equipamentos	✓	✓
Gestão dos modos de falha dos equipamentos	✓	✓
Construção e atualização dos planos de manutenção planejada	✓	✓

Fonte: Elaborado pelo autor.

Todas as influências relatadas pelos entrevistados convergiram, pois ambos relataram de diferentes formas as mesmas consequências da utilização da Confiabilidade Estatística no pilar Manutenção Planejada. Segundo 100% dos entrevistados, a utilização da Confiabilidade Estatística para a melhoria da Manutenção Planejada pode auxiliar no acompanhamento da vida útil do equipamento, visando uma maior confiabilidade do mesmo.

Outra influência relatada é sobre o aumento de informações para a gestão dos modos de falhas dos equipamentos a partir da implementação da Confiabilidade Estatística. A partir da verificação e revisão das informações obtidas da implementação da Confiabilidade Estatística mais as planos atualmente utilizados como padrão é possível uma melhor construção e atualização dos planos de manutenção.

Durante as entrevistas também foram apontadas, na visão de cada entrevistado, algumas dificuldades para a implantação da Confiabilidade Estatística. Estas dificuldades foram comparadas e coincidem com as dificuldades encontradas na literatura. O Quadro 4 apresenta as principais dificuldades encontradas, segundo o relato nas entrevistas.

Quadro 4 – Dificuldades relatadas para a implantação da Confiabilidade Estatística no pilar Manutenção Planejada

Dificuldades Relatadas	Supervisor de Manutenção	Analista de Manutenção
Cultura Organizacional	✓	✓
Comunicação entre setores	✓	-
Registro das Informações	✓	✓
Histórico Defasado	-	✓

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na análise de todos os dados relativos às dificuldades relatadas para a implantação da Confiabilidade Estatística, observou-se que a dificuldade relacionada à Cultura Organizacional e ao Registro de Informações foram apontados por 100% dos entrevistados. Já a dificuldade de Comunicação entre setores e o Histórico Defasado foram apontados por 50% dos entrevistados.

4.4.3 Interpretação

Após as etapas de descrição e análise dos dados, foi realizada a etapa interpretação os dados.

Foi possível identificar durante as entrevistas, uma necessidade do setor de manutenção ter à sua disposição uma ferramenta que auxilie com maior detalhamento a tarefa de planejamento da manutenção e também uma necessidade de se ter uma maior capacidade de realizar um acompanhamento da vida útil do equipamento com informações mais confiáveis. Com o crescimento cada vez mais acelerado das empresas, a carência de um bom planejamento e de um controle de gestão eficiente, acaba por não fornecer um suporte à tomada de decisão adequado. As consequências disso são ações precipitadas e não embasadas em informações corretas, o que acarretam problemas, comprometendo assim o sucesso da organização (PERRETTI e VENDRAMETTO, 2007).

Outro fator que ficou evidente é que, com uma maior estrutura e qualidade de dados, é possível realizar de forma mais prática e eficiente a identificação das

principais falhas que ocasionam as paradas no setor produtivo. Isso irá colaborar para a obtenção de resultados importantes para a gestão dos modos de falhas dos equipamentos da empresa.

A percepção nessa pesquisa qualitativa foi de que algumas paradas não são relatadas para o setor de manutenção e são solucionadas diretamente pela própria equipe de operação. Esse fato acarreta a omissão de pequenas falhas, no quesito de tempo parado, o que torna-se grave por existirem paradas frequentes desses tipos. Isso foi percebido no estudo do componente da caída do granulador.

Foi percebido também, que as informações disponíveis no setor de manutenção se encontram defasadas ou com dados incompletos em muitas situações. Essas informações são geradas pelos colaboradores envolvidos, tanto do setor de produção, com a comunicação da parada por um dado motivo, quanto do setor de manutenção, responsáveis por recolocar os equipamentos em seu pleno funcionamento. Existe a necessidade de um melhor aproveitamento do software disponibilizado pela empresa para o registro dessas informações, na forma de trazer um melhor detalhamento de cada parada e não apenas de dados simples em planilhas sem o devido detalhamento das informações ali apresentadas.

A construção e atualização dos planos de manutenção preventiva foram bastante explorados pelos entrevistados, pois a percepção durante a entrevista é que existe a falta de informações para a criação ou atualização dos planos de manutenção preventiva de forma consistente e científica. Os planos de manutenção muitas vezes não são adaptados a realidade operacional da empresa, uma correta adequação dos planos baseadas em informações obtidas no próprio equipamento podem trazer um ganho em confiabilidade para o equipamento.

A partir da detecção da real possibilidade de uso da ferramenta na otimização dos planos de manutenção atuais, levantaram-se as possíveis dificuldades encontradas para a implementação da mesma. Onde se destaca a aculturação nas estratégias de manutenção atualmente na empresa, onde ficou evidente durante a entrevista que haveria dificuldade de aceitação e de nível confiança em uma nova ferramenta de auxílio nos planos de manutenção.

Na busca pela implantação de novas ferramentas ou processos, automaticamente está sendo modificada a cultura organizacional do setor de manutenção e esse processo de mudança causa enorme resistência por parte dos envolvidos. Colaboram com o observado Schein (2009) relatada que a cultura é difícil de ser mudada, porque os membros do grupo valorizam a estabilidade e previsibilidade que ela fornece.

Outro fator relevante levando foi a necessidade de uma maior padronização e detalhamento na gestão dos dados, onde a relatos de falta de registro de dados, de manutenções corretivas realizadas, no programa disponibilizado pela empresa, causado pela comunicação entre os mantenedores dos equipamentos e o setor de engenharia responsável pela manutenção serem realizadas em alguns casos informalmente por aplicativos de mensagens ou por registro em planilhas sem o seu devido preenchimento correto. Conforme Murthy, Karim e Ahmadi (2015), com um maior desenvolvimento tecnológico, aumenta a necessidade de uma boa comunicação e bons dados de gestão, nas organizações a troca de informações internamente é muitas vezes realizada informalmente e pessoal.

Nos relatos foi percebido que há falta de envolvimento por partes dos funcionários para uma melhor comunicação e padronização das atividades que são correlacionadas, visto a necessidade de desenvolver a conscientização da importância da comunicação na forma de registros oficiais, a fim de se obter uma melhor gestão dos dados das operações realizadas ao longo do tempo em uma determinada atividade.

Olen (1998) afirma que modelos matemáticos de otimização para manutenção são raramente utilizados na gestão da manutenção devido à falta de dados completos para o seu desenvolvimento. Colaborando com as informações obtidas nas entrevistas que os registros da empresa apresentam baixos níveis de confiabilidade, ocasionando em resultados não condizentes com a realidade.

5. ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Na fundamentação teórica da seção 2.3 foram mostrados os pilares que compõem a TPM. Nessa pesquisa, verificou-se então a influência da Confiabilidade Estatística apenas no pilar Manutenção Planejada da TPM. Porém, nesse trabalho a TPM da empresa se mostrou um pouco simplificado em relação ao TPM pesquisado na literatura, devido não possuir todos os pilares da TPM implementados. No que diz respeito a manutenção, atualmente a empresa realiza atividades de manutenção de 3 formas: por ordens (através de planos definidos pela recomendação do fornecedor, oriundas de notas de inspeção) também chamadas preventivas; corretivas programadas; e corretivas emergenciais. Após a implantação da Confiabilidade Estatística, os resultados geraram resultados e análises preliminares. Nesse capítulo são apresentadas as discussões dos resultados e estas foram divididas em dois tópicos apresentados nos subtítulos a seguir.

5.1 FREQUÊNCIAS E PLANOS DE MANUTENÇÃO

Na realização do estudo de caso, os resultados demonstraram situações nas quais as frequências de manutenções praticadas não estavam de acordo com as frequências apontadas pela Confiabilidade Estatística. Notou-se que o planejamento da manutenção preventiva baseava-se em dados oriundos de critérios subjetivos como recomendação do fabricante e experiência de operadores e mecânicos. Entretanto, os resultados da aplicação da Confiabilidade Estatística, principalmente os MTBF, mostraram que existe uma defasagem entre as as frequências de manutenção preventiva adotadas pela empresa e as frequências apontadas pelo uso da Confiabilidade Estatística. Porém, a utilização das informações disponíveis na própria empresa poderiam ser utilizadas para criar ou atualizar os planos de manutenção vigentes para cada equipamento, através da utilização da Confiabilidade Estatística.

Para o primeiro caso estudado, o componente da caída do granulador, foi verificado haver uma falta de envolvimento do setor de manutenção para a solução da falha, apresentada como obstrução da caída. A mesma, por se tratar de uma manutenção simples, segundo o relatado pelos colaboradores, era realizada pela própria equipe de operadores da produção, o que em algumas situações ocasionava

o surgimento de dados “mascarados” referente a essas falhas. A falha era potencializada ainda pela falta de buscas por soluções ou alternativas que poderiam ser realizadas para a diminuição ou eliminação da mesma, no qual foi verificada como a maior causadora de paradas não programadas do equipamento.

Foi constatado que a influência da Confiabilidade Estatística na manutenção revelou informações para o setor de manutenção que o mesmo conhecia em detalhes. As informações reveladas se deram ao fato da manutenção ser realizada no componente da caída do granulador pelos operadores da produção da empresa, e os dados de frequência e modos de falhas não serem repassadas ao setor de manutenção. As informações eram apenas registradas no sistema pelo setor de produção, sem serem comunicadas de forma detalhada para o setor de manutenção, ocasionando uma defasagem no controle das informações sobre as paradas do equipamento. Por se tratar de uma falha de grande impacto para a empresa, essa falha deveria receber uma priorização pelo setor de manutenção ao invés de ser realizado apenas soluções paliativas pela própria equipe de produção. Esse fato é apontado por Guo et al. (2013), em que se deve haver uma priorização das atividades de manutenção orientadas pelas informações obtidas pelos dados do comportamento das falhas. Muitas vezes os planos de manutenções são definidos a partir da experiência e do conhecimento dos mantenedores, independente da situação em que se encontra o funcionamento do equipamento.

Para o segundo componente estudado, o mancal do granulador, a partir da implementação da Confiabilidade Estatística podemos verificar que este componente apresentava manutenções corretiva sendo realizadas de forma excedente. Nesse quesito entrou-se na discussão do quanto a manutenção realizada de forma demasiada, sem considerar o estado do ativo, pode ter um impacto negativo. Apesar dessas manutenções do mancal do granulador serem realizadas enquanto a planta de granulação se encontra parada, não causando interrupções da produção, elas acabam sendo onerosas para a empresa. Souza (2008) salienta que um planejamento de manutenção equivocado pode levar a empresa a despender dinheiro com intervenções desnecessárias, troca de peças indevidas e a utilização inadequada de mão-de-obra. Nesse caso, a Confiabilidade Estatística está dando subsídios para gerenciamento dos planos de preventiva e paradas programadas.

5.2 INFLUÊNCIAS E DIFICULDADES DA IMPLEMENTAÇÃO DA CONFIABILIDADE ESTATÍSTICA NO PILAR MANUTENÇÃO PLANEJADA

A partir da realização da pesquisa qualitativa observou-se, baseado nos relatos dos entrevistados, que a utilização da Confiabilidade Estatística auxiliaria no planejamento da manutenção de algumas formas. Uma dessas formas seria a utilização da Confiabilidade Estatística como uma ferramenta de suporte ao acompanhamento da vida útil do equipamento. A sua utilização, aliada a um maior acompanhamento do equipamento, possibilita a identificação da falha ainda no seu princípio, aumentando dessa forma, a vida útil do equipamento e diminuindo os custos de manutenção. No entanto, para que isso ocorra, o direcionamento da gestão da manutenção deve estar alinhado com o planejamento estratégico da empresa, para que, dessa forma, a tomada de decisões traga os resultados esperados pela empresa. Do contrário, a vida útil do equipamento pode estar sendo abreviada. Essa informação coincide com Siniscalchi (2010), o qual afirma que, com a alta competitividade, a gestão da manutenção deve assumir uma nova postura, não se dedicando somente a manter o bom funcionamento dos equipamentos, mas integrando-se de forma eficaz aos processos produtivos e contribuindo para os resultados esperados pela empresa.

Outro ponto levantado é falta de “espaço” no planejamento da produção para realizar-se manutenções programadas, em virtude da necessidade de se cumprir com as metas de produtos que precisam ser produzidos. Este fato ocasiona o surgimento de mais paradas não programadas, que acabam trazendo uma maior imprevisibilidade para a operação e, conseqüentemente, uma menor vida útil para o equipamento, visto que o mesmo pode estar operando em situações nas quais não são as ideais.

Também foi verificado a influência da Confiabilidade Estatística no que diz respeito a gestão dos modos de falhas dos equipamentos. Encarregando-se de evidenciar as principais falhas, a Confiabilidade Estatística pode ser aplicada nos mais diversos equipamentos, trazendo um índice de confiabilidade (indicador) que pode ser analisado e posteriormente colaborar para construção e atualização dos planos de manutenção. Kardec e Nascif (2009) ressalta que é preciso deixar de ser apenas eficaz para se tornar eficiente, ou seja, não basta apenas reparar os equipamentos ou sistema tão rápido quanto possível, é preciso principalmente manter a função do equipamento disponível para a operação, reduzindo a probabilidade de uma parada

não planejada do setor produtivo. Nesse ponto há uma importância na identificação das causas de falhas do equipamento, permitindo a elaboração de soluções e a garantia de uma estabilidade com relação às falhas estudadas. Com isso, é possível um aumento da confiabilidade do equipamento.

Nas entrevistas, também observou-se que haviam fatores que dificultavam a implantação da Confiabilidade Estatística, sendo o registro de informações e a cultura organizacional consenso entre os entrevistados como dificultadores para mudanças na gestão da manutenção. No quesito registro de informações verificou-se que o sistema da empresa *UpTime*, onde são registradas as informações e analisados os dados de histórico de paradas do granulador, necessita um maior detalhamento no registro de dados sobre os tipos de falhas ocasionadas, pois não há uma padronização das causas para cada tipo de falha, dificultando assim uma análise mais consistente sobre as causas das falhas nos componentes. Atualmente, há falhas frequentes que ficam omitidas pela falta de comunicação entre os setores de produção e o setor de manutenção. Estas falhas, que são recorrentes no processo produtivo estudado, acabam sendo resolvidas no curto prazo, mas não são resolvidas de forma a se identificar a causa raiz e solução definitiva da falha. Essa constatação é convergente com o estudo de Komninakis, Piratelli e Achcar (2018), que relata uma grande importância de se ter o registro dessas informações nos sistemas das empresas com qualidade, para o desenvolvimento de estudos que possa trazer resultados confiáveis aos gestores de manutenção de equipamentos, propiciando a inferência e decisão correta de ações que possibilite melhor eficiência e competitividade para a empresa.

Já no tocante a cultura organizacional, apresentaram-se situações onde os colaboradores podem apresentar resistência na utilização de algo novo, principalmente sobre algo que irá modificar a forma como eles fazem certas atividades atualmente e que, na visão deles, possa trazer uma imprevisibilidade nas atividades. As atividades atuais na empresa se mostraram culturalmente consolidadas em termos de execução. A partir dessas informações, a ocorrência de uma transformação cultural torna-se importante para ocorrer um aperfeiçoamento de uma cultura organizacional que facilite a implementação de uma nova gestão da manutenção. Em concordância com a literatura, Dos Santos, Damian e Valentim (2019) destacam que para ocorrer uma transformação cultural é necessário que a organização propicie um ambiente

favorável ao diálogo e ao compartilhamento de informações, bem como a capacitação permanente dos colaboradores.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho atingiu o objetivo geral da pesquisa, que era verificar a influência da Confiabilidade Estatística no pilar Manutenção Planejada da TPM, no qual foi verificado através do estudo de caso e da pesquisa qualitativa.

Através da implementação da Confiabilidade Estatística nos componentes do equipamento e das percepções dos entrevistados com o conteúdo estudado, foi possível identificar a influência da Confiabilidade Estatística na Manutenção Planejada, compreendendo melhor a sua importância e as dificuldades que se apresentaram para a sua implantação.

Também foi possível identificar que a Confiabilidade Estatística pode ser utilizada no acompanhamento da vida útil do equipamento, contribuindo consequentemente para a construção e atualização dos planos de manutenção, bem como para a gestão dos modos de falhas, no que diz respeito a evidenciar os principais causadores de suas paradas. Foram também constatados alguns fatores durante a pesquisa que podem dificultar a implantação da Confiabilidade Estatística. Destacaram-se os dois fatores: a cultura organizacional; e o registro de informações. Estes fatores acabam influenciando negativamente na gestão da manutenção.

Diante da necessidade de se obter mais assertividade e confiabilidade no gerenciamento da manutenção, este trabalho se justificou por se tratar de uma ferramenta, a Confiabilidade Estatística, que pode auxiliar a aperfeiçoar o sistema de tomada de decisões gerenciais tanto no âmbito estratégico como no operacional, principalmente quando as estratégias de manutenção atuais das empresas se mostrarem insuficientes ou defasadas. Esse contexto direciona a busca da Confiabilidade Estatística como uma ferramenta de suporte a gestão da manutenção, com o propósito de diminuir ou eliminar as falhas e, consequentemente, as paradas não programadas sofridas pela empresa. A partir dos dados e informações gerados pelo presente trabalho, os gestores responsáveis pelo setor de manutenção podem estruturar os planos de manutenção com o suporte da Confiabilidade Estatística e, também, já acrescentar essa ferramenta na gestão da manutenção.

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se um trabalho direcionado para a implantação oficial da Confiabilidade Estatística no pilar

Manutenção Planejada de uma empresa, seja esta do estudo de caso ou qualquer outra. Com isso, pode obter dados quantitativos para uma posterior análise comparativa. Além disso, sugeres-se como outro trabalho futuro, avaliar as dificuldades encontradas na implementação da Confiabilidade Estatística, tema que se mostra cada vez mais atual e necessário em um cenário onde se fala em estabilidade, confiabilidade e produtividade dos processos.

7. REFERÊNCIAS

7.1 REFERÊNCIAS NOMINAIS

ADESTA, E. Y. T.; PRABOWO, H. A.; AGUSMAN, D. Evaluating 8 pillars of Total Productive Maintenance (TPM) implementation and their contribution to manufacturing performance. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, Percentil Scopus: 35%; p. 012024. 2018.

AGUSTIADY, Tina Kanti; CUDNEY, Elizabeth A. Total productive maintenance. **Total Quality Management & Business Excellence**, Percentil Scopus: 91%; p. 1-8, 2018.

AHMAD, Rosmaini; KAMARUDDIN, Shahrul. An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. **Computers & industrial engineering**, Percentil Scopus: 96% v. 63, n. 1, p. 135-149, 2012.

ALASWAD, Suzan; XIANG, Yisha. A review on condition-based maintenance optimization models for stochastically deteriorating system. **Reliability engineering & system safety**, Percentil Scopus: 97% v. 157, p. 54-63, 2017.

AL-TURKI, Umar. A framework for strategic planning in maintenance. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Percentil Scopus: 54%; 2011.

AL-TURKI, Umar M. et al. Integrated maintenance planning. In: **Integrated Maintenance Planning in Manufacturing Systems**. Springer, Cham, 2014. p. 25-57.

ANDRADE, J. J. O. **Emprego da confiabilidade na gestão estratégica da manutenção: estudos de caso**. In: Simpósio Internacional de Confiabilidade (SIC), RELIASOFT, Fortaleza, 2011.

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

BARAN, Leandro Roberto. **Proposta de um modelo multicritério para determinação da criticidade na gestão da manutenção industrial**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BARTZ, T.; SILUK, J. C. M.; BARTZ, A. P. B. Improvement of industrial performance with TPM implementation. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Percentil Scopus: 54%; v. 20, p. 2-19, 2014.

BASRI, Ernie Illyani et al. Preventive maintenance (PM) planning: a review. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Percentil Scopus: 54%; 2017

CASSADY, C. Richard et al. Combining preventive maintenance and statistical process control: a preliminary investigation. **IIE transactions**, v. 32, n. 6, p. 471-478, 2000.

COETZEE, Jasper L. **Maintenance**. Trafford, 2004.

CRESWELL, John W.; CLARK, Vicki L. Plano. **Pesquisa de Métodos Mistos-: Série Métodos de Pesquisa**. Penso Editora, 2015.

DE MENEZES, Gigliara Segantini; SANTOS, Maiquel Moreira Nunes; CHAVES, Gisele de Lorena Diniz. O pilar manutenção planejada da manutenção produtiva total (TPM): aplicação da manutenção centrada em confiabilidade (RCM). **Revista Gestão Industrial**, v. 11, n. 4, 2015.

DHILLON, B. S. **Engineering maintenance: a modern approach**. 2^a. ed. Florida: CRC Press, 2002.

DHILLON, B. S. **Maintainability, maintenance and reliability for Engineers**. 1^a. ed. New York: CRC Press, 2006

DOS SANTOS, Nilis Adriano; SELLITTO, Miguel Afonso. Estratégia de manutenção e aumento da disponibilidade de um posto de compressão de gases na indústria petrolífera. **Revista Produção Online**, v. 16, n. 1, p. 77-103, 2016.

DOS SANTOS, Vanessa Cristina Bissoli; DAMIAN, Ieda Pelogia Martins; VALENTIM, Marta Lígia Pomim. A cultura organizacional como fator crítico de sucesso à implantação da gestão do conhecimento em organizações. **Informação & Sociedade**, Percentil Scopus: 30%; v. 29, n. 1, 2019.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.265p

FRASER, Kym; HVOLBY, Hans-Henrik; TSENG, Tzu-Liang Bill. Maintenance management models: a study of the published literature to identify empirical evidence: A greater practical focus is needed. **International Journal of Quality & Reliability Management**, Percentil Scopus: 83%; 2015.

FROGER, Aurélien et al. Maintenance scheduling in the electricity industry: A literature review. **European Journal of Operational Research**, Percentil Scopus: 97%; v. 251, n. 3, p. 695-706, 2016.

GARCÍA, S. Gallego; GARCÍA, M. García. Industry 4.0 implications in production and maintenance management: An overview. **Procedia manufacturing**, Percentil Scopus: 67%; v. 41, p. 415-422, 2019.

GARG, Savita; SINGH, Jai; SINGH, D. V. Availability and maintenance scheduling of a repairable block-board manufacturing system. **International journal of reliability and safety**, Percentil Scopus: 40%; v. 4, n. 1, p. 104-118, 2010.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

GLAWAR, Robert et al. An approach for the integration of anticipative maintenance strategies within a production planning and control model. **Procedia CIRP**, Percentil Scopus: 67%; v. 67, p. 46-51, 2018.

GOPALAKRISHNAN, Maheshwaran et al. Planning of maintenance activities—A current state mapping in industry. **Procedia CIRP**, Percentil Scopus: 67%; v. 30, p. 480-485, 2015.

GOPALAKRISHNAN, Maheshwaran; SUBRAMANIYAN, Mukund; SKOOGH, Anders. Data-driven machine criticality assessment—maintenance decision support for increased productivity. **Production Planning & Control**, Percentil Scopus: 95%; v. 33, n. 1, p. 1-19, 2022.

GUO, Chiming et al. A maintenance optimization model for mission-oriented systems based on Wiener degradation. **Reliability Engineering & System Safety**, Percentil Scopus: 97%; v. 111, p. 183-194, 2013.

GUO, Weihong; JIN, Jionghua Judy; HU, S. Jack. Allocation of maintenance resources in mixed model assembly systems. **Journal of Manufacturing Systems**, Percentil Scopus: 97%; v. 32, n. 3, p. 473-479, 2013.

HABIDIN, Nurul Fadly et al. Total productive maintenance, kaizen event, and performance. **International Journal of Quality & Reliability Management**, Percentil Scopus: 83%; 2018.

HE, Yihai et al. Reliability-oriented quality control approach for production process based on RQR chain. **Total Quality Management & Business Excellence**, Percentil Scopus: 91%; v. 29, n. 5-6, p. 652-672, 2018.

JAIN, Abhishek; BHATTI, Rajbir; SINGH, Harwinder. Total productive maintenance (TPM) implementation practice: a literature review and directions. **International Journal of Lean Six Sigma**, Percentil Scopus: 86%; 2014.

JASIULEWICZ-KACZMAREK, Małgorzata; GOLA, Arkadiusz. Maintenance 4.0 technologies for sustainable manufacturing-an overview. **IFAC-PapersOnLine**, Percentil Scopus: 29% v. 52, n. 10, p. 91-96, 2019.

JEYAMALA, D. et al. Fault-prone components identification for real-time complex systems based on criticality analysis. **International Journal of Computer Science and Informatics**, v. 3, n. 2, p. 17-23, 2013.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

KAUR, Mandeep; SINGH, Kanwarpreet; AHUJA, Inderpreet Singh. An evaluation of the synergic implementation of TQM and TPM paradigms on business performance. **International Journal of Productivity and Performance Management**, Percentil Scopus: 82% 2013.

KHAN, MR Rotab; DARRAB, Ibrahim A. Development of analytical relation between maintenance, quality and productivity. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Percentil Scopus: 54%; 2010.

KOMNINAKIS, Denis; PIRATELLI, Cláudio Luis; ACHCAR, Jorge Alberto. Análise de confiabilidade para formulação de estratégia de manutenção de equipamentos em

uma empresa da indústria alimentícia. **Revista Produção Online**, v. 18, n. 2, p. 560-592, 2018.

LEE, Jay et al. Predictive manufacturing system-Trends of next-generation production systems. **IFAC**, Percentil Scopus: 42%; v. 46, n. 7, p. 150-156, 2013.

LEMES, D. V. **Proposta de Método de Análise de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos Empregando Dados de Retorno em Garantia**. 2006. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MARQUEZ, Adolfo et al. Criticality Analysis for Maintenance Purposes: A Study for Complex In-service Engineering Assets. **Quality and reliability engineering international**, Percentil Scopus: 71%; v. 32, n. 2, p. 519-533, 2016.

MENDES, Angélica Alebrant; RIBEIRO, José Luis Duarte. Estabelecimento de um plano de manutenção baseado em análises quantitativas no contexto da MCC em um cenário de produção JIT. **Production**, Percentil Scopus: 47%; v. 24, p. 675-686, 2014.

MOORE, W. J.; STARR, A. G. An intelligent maintenance system for continuous cost-based prioritisation of maintenance activities. **Computers in industry**, Percentil Scopus: 99%; v. 57, n. 6, p. 595-606, 2006.

MONCHY, François. **A Função Manutenção – Formação para a Gerencia da Manutenção Industrial**. São Paulo: Durban Ltda, 1989.

MOUBRAY, J. **Gerenciamento de Manutenção: um novo paradigma**. São Paulo: SQL Systems Brasil Ltda, 1997.

MUCHIRI, Peter et al. Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. **International Journal of Production Economics**, Percentil Scopus: 98%; v. 131, n. 1, p. 295-302, 2011.

MURTHY, D. N. P.; KARIM, M. R.; AHMADI, Alireza. Data management in maintenance outsourcing. **Reliability Engineering & System Safety**, Percentil Scopus: 97%; v. 142, p. 100-110, 2015.

NAKAJIMA, Seiichi. **Introduction to TPM: total productive maintenance**. Productivity Press, p. 129, 1988.

NAKAJIMA, Selichi. **TPM development program: implementing total productive maintenance**. Productivity press, 1989.

OLEN K. **Improved quality of input data for maintenance optimization using expert judgment**. Reliability Engineering and Systems Safety, Percentil Scopus: 97%; 60. pp. 93-101. 1998.

PENG, Ying; DONG, Ming; ZUO, Ming Jian. Current status of machine prognostics in condition-based maintenance: a review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Percentil Scopus: 84%; v. 50, n. 1-4, p. 297-313, 2010.

PERRETTI, O. D'A.; VENDRAMETTO, O. Gestão da manufatura na pequena indústria. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, Foz do Iguaçu, 2007

RIBEIRO, Haroldo. **Manutenção Produtiva Total: A bíblia do TPM**. 1ª edição. 592p., Viena, 2014.

RAUSAND, M. **Reliability centered maintenance**. Reliability Engineering and System Safety. Percentil Scopus: 97%; 1998.

RUIZ-SARMIENTO, Jose-Raul et al. A predictive model for the maintenance of industrial machinery in the context of industry 4.0. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, Percentil Scopus: 92%; v. 87, p. 103289, 2020

SAHA, Rajesh et al. Integrated economic design of quality control and maintenance management: Implications for managing manufacturing process. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, v. 12, n. 2, p. 263-280, 2021.

SALONEN, Antti; GOPALAKRISHNAN, Maheshwaran. Practices of preventive maintenance planning in discrete manufacturing industry. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Percentil Scopus: 54%; 2020.

SCHEIN, Edgar H. **Cultura organizacional e liderança**. São Paulo: Atlas, 2009.

SHARMA, Anil; YADAVA, G. S.; DESHMUKH, S. G. A literature review and future perspectives on maintenance optimization. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Percentil Scopus: 54%; 2011.

SINGH, Ranteshwar et al. Total productive maintenance (TPM) implementation in a machine shop: A case study. **Procedia Engineering**, v. 51, p. 592-599, 2013.

SINISCALCHI, Roberto Teixeira. **O alinhamento da gestão de manutenção de equipamentos eletromecânicos com o planejamento estratégico de furnas**. 2010.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009

SOUZA, Rafael Doro. **Análise da gestão da manutenção focando a manutenção centrada na confiabilidade: estudo de caso MRS logística**. Juiz de Fora (MG): UFJF, 2008.

SUBRAMANIYAN, Mukund et al. An algorithm for data-driven shifting bottleneck detection. **Cogent Engineering**, Percentil Scopus: 68%; v. 3, n. 1, p. 1239516, 2016.

WANG, Yuanhang et al. A corrective maintenance scheme for engineering equipment. **Engineering Failure Analysis**, Percentil Scopus: 85%; v. 36, p. 269-283, 2014.

XENOS, Harilaus G. Gerenciando a manutenção produtiva. **Belo Horizonte: Editora de desenvolvimento gerencial**, v. 171, 1998.

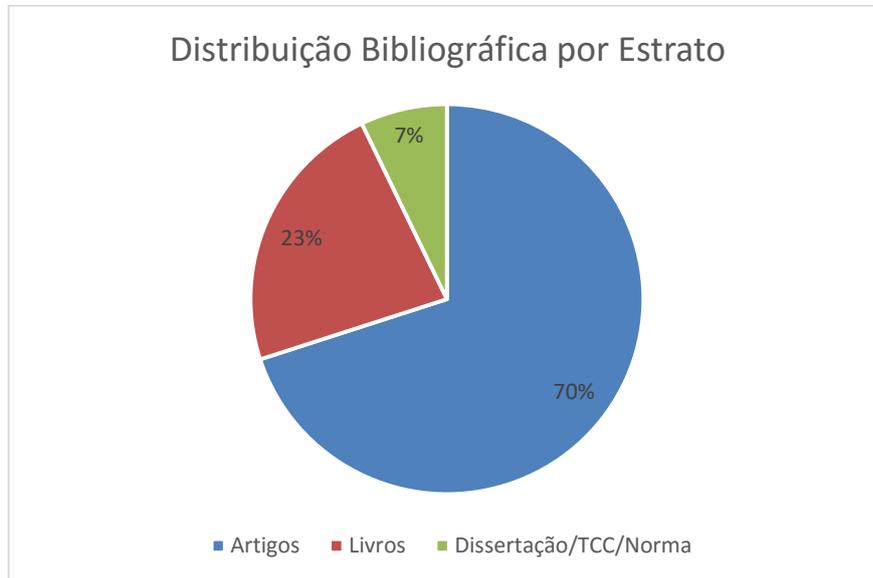
YIN, Robert K. **Estudo de Caso-: Planejamento e métodos**. Bookman editora, 2015.

YLIPÄÄ, Torbjörn et al. Identification of maintenance improvement potential using OEE assessment. **International Journal of Productivity and Performance Management**, Percentil Scopus: 82%; 2017.

ZHU, X. Analysis and Improvement of enterprise's Equipment Effectiveness Based on OEE. In: **International Conference on Electronics, Communications and Control**, 2011.

7.2 REFERÊNCIAS POR ESTRATO

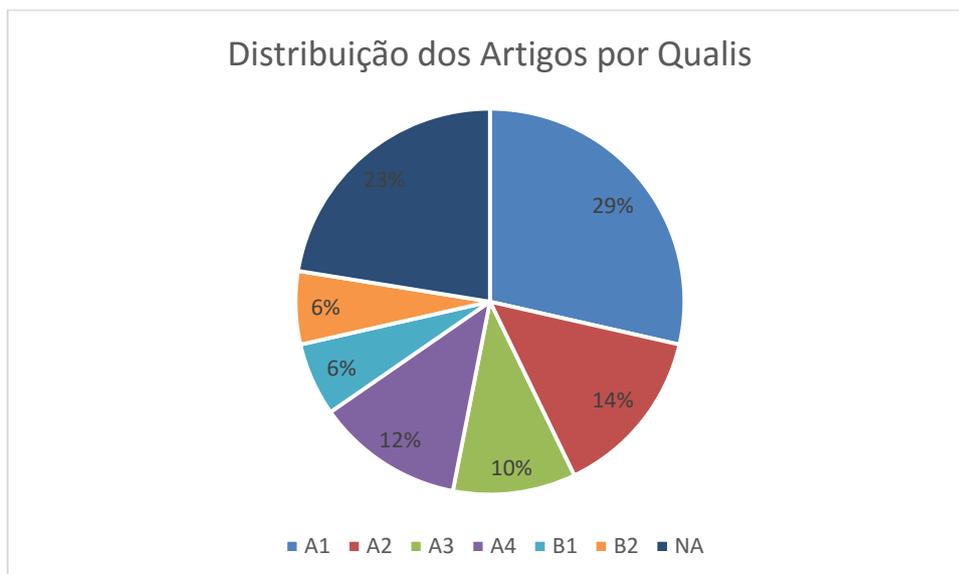
Figura 11 – Distribuição Bibliográfica por Estrato



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

7.3 REFERÊNCIAS POR QUALIS

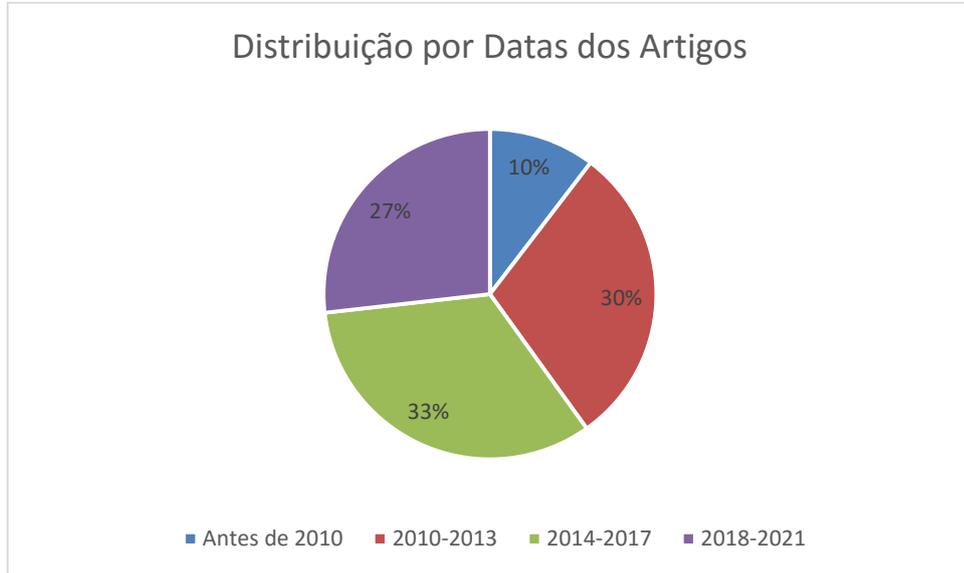
Figura 12 – Distribuição dos Artigos por Qualis



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

7.4 REFERÊNCIAS POR DATA DOS ARTIGOS

Figura 13 – Distribuição por Data dos Artigos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

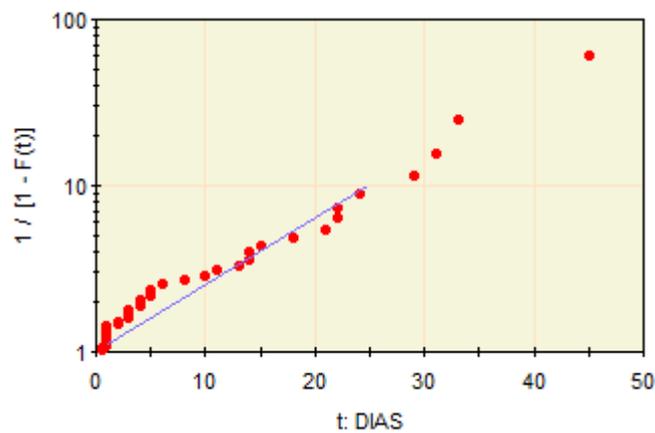
8. APÊNDICES

8.1 APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÕES OBTIDAS NO SOFTWARE PROCONF 2000 PARA A FALHA NA CAÍDA DO GRANULADOR

Nas imagens a seguir são demonstradas as distribuições disponíveis no software, não demonstrada aqui apenas a distribuição já apresentada durante o trabalho, para os dados apresentados para a falha no componente da caída do granulador e os dados referentes a cada distribuição.

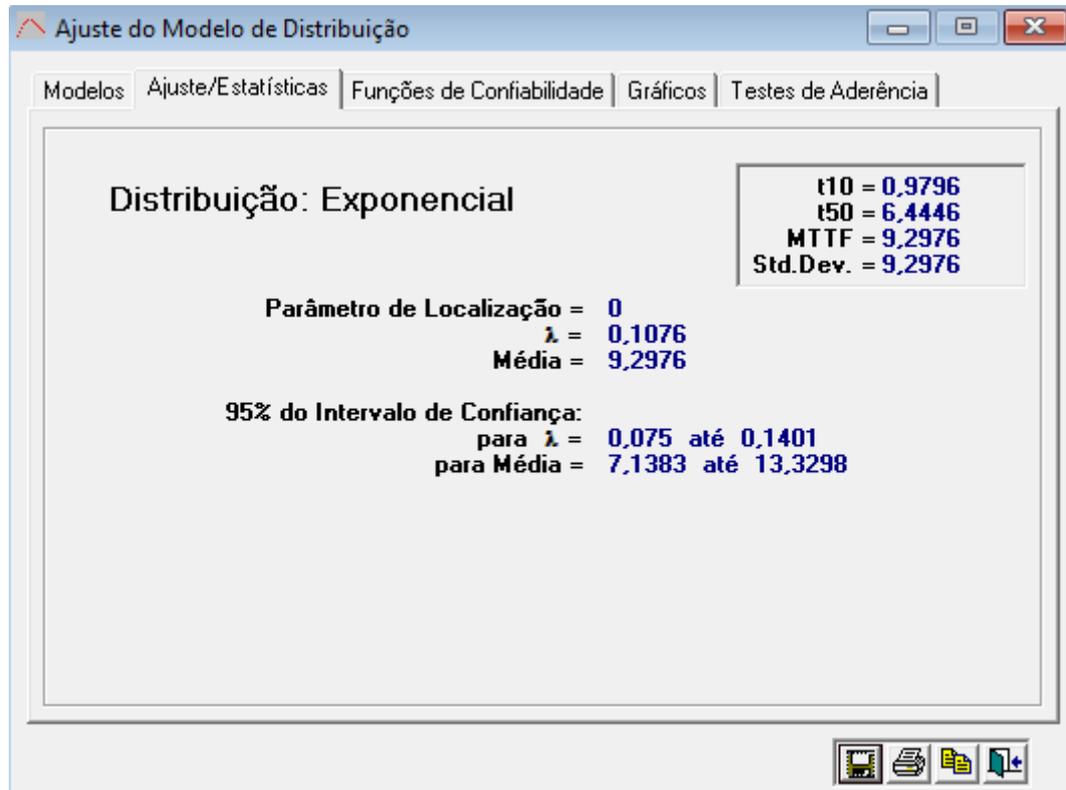
- **Distribuição Exponencial**

Figura 14 - Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Exponencial das ocorrências na caída do granulador



Fonte: software ®ProConf 2000.

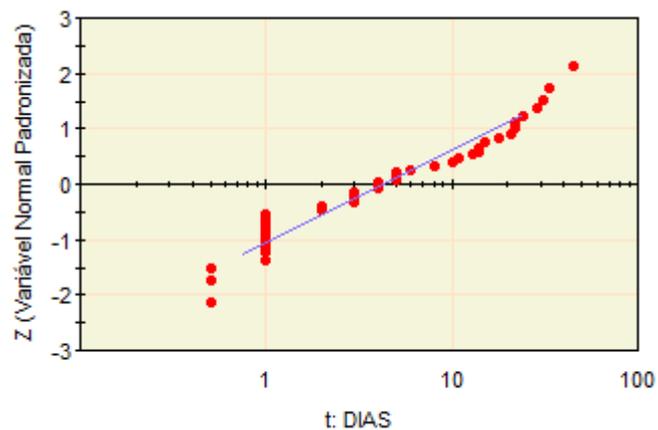
Figura 15 - Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos da Caída do Granulador para Distribuição Exponencial



Fonte: Imagem obtida pelo software ®ProConf 2000.

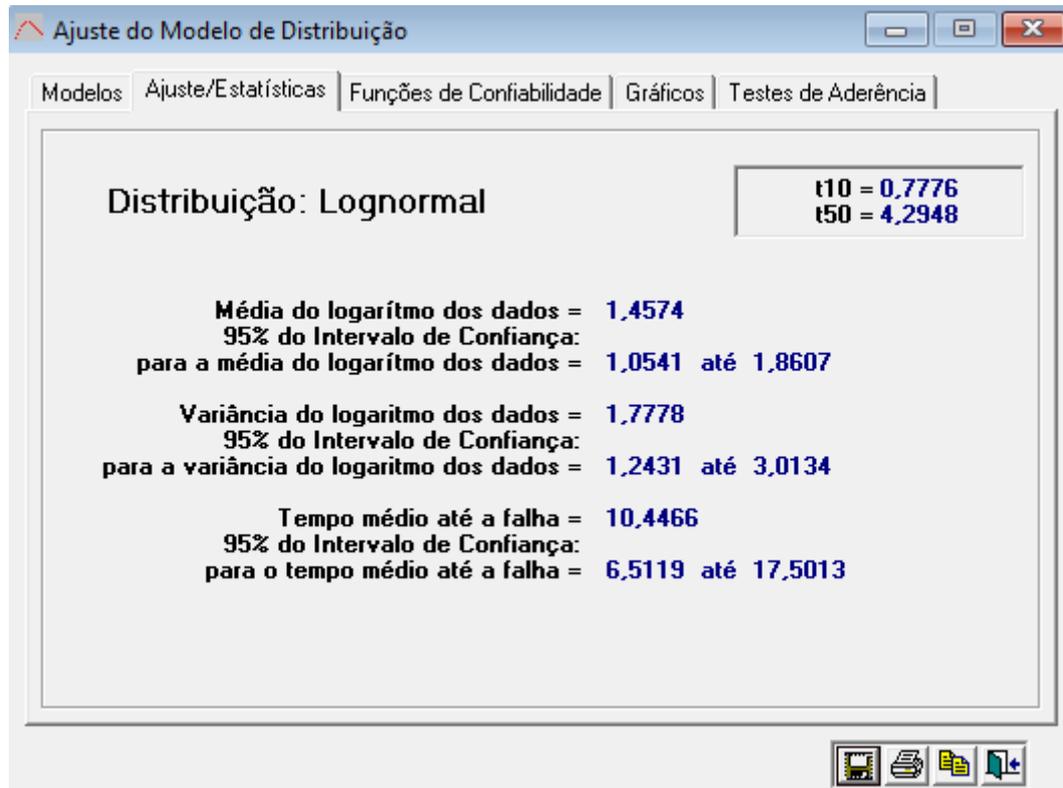
- **Distribuição Lognormal**

Figura 16 - Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Lognormal das ocorrências na caída do granulador



Fonte: software ®ProConf 2000.

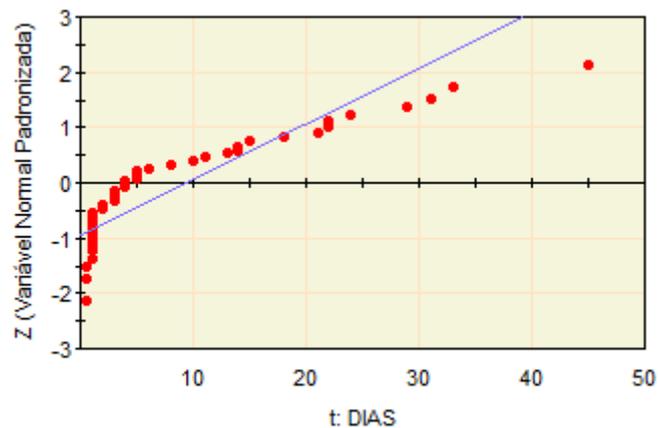
Figura 17 - Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos da Caída do Granulador para Distribuição Lognormal



Fonte: Imagem obtida pelo software ®ProConf 2000.

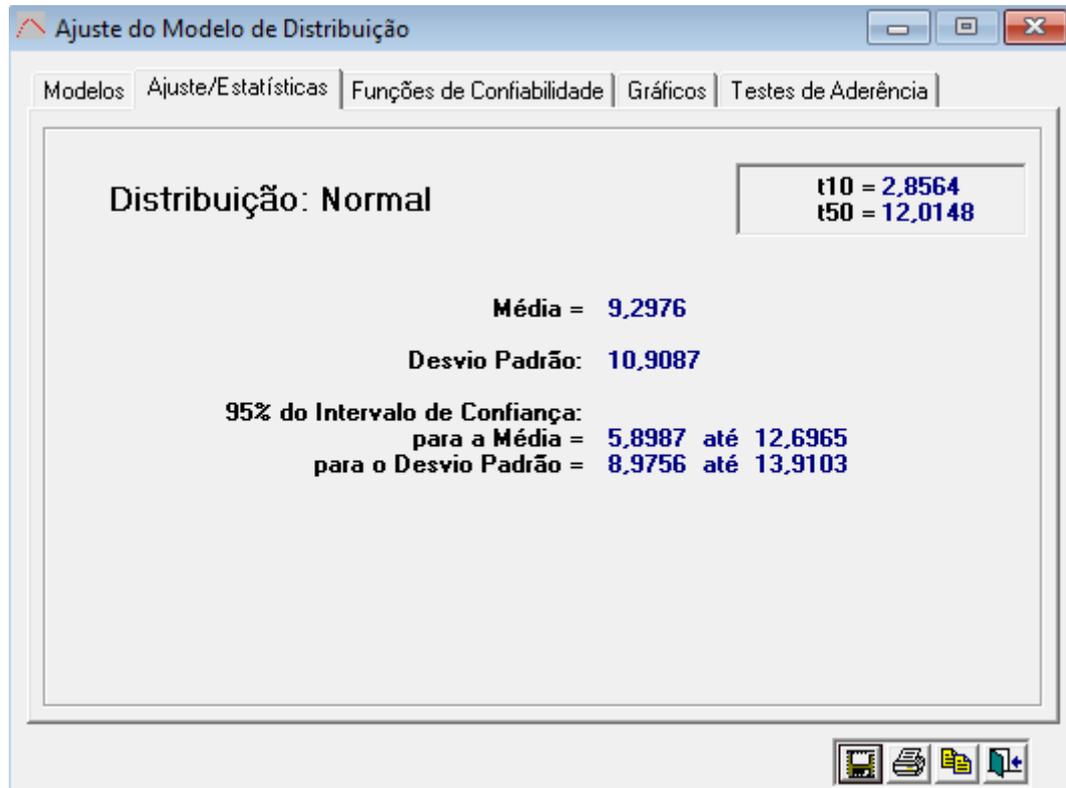
- **Distribuição Normal**

Figura 18 - Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Normal das ocorrências na caída do granulador



Fonte: software ®ProConf 2000.

Figura 19 - Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos da Caída do Granulador para Distribuição Normal



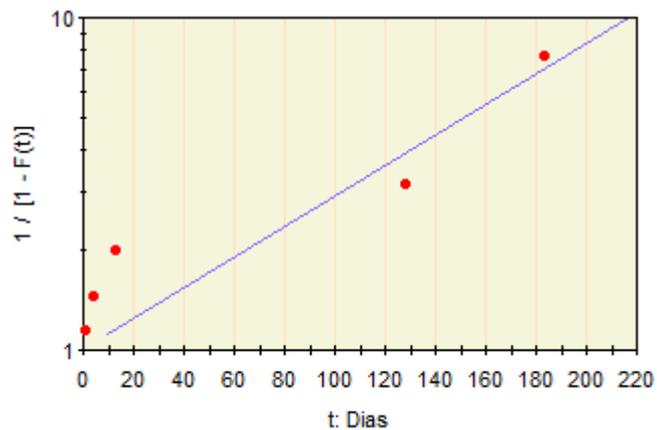
Fonte: Imagem obtida pelo software ®ProConf 2000.

8.2 APÊNDICE B - DISTRIBUIÇÕES OBTIDAS NO SOFTWARE PROCONF 2000 PARA A FALHA NO MANCAL DO GRANULADOR

Nas imagens a seguir são demonstradas as distribuições disponíveis no software, não demonstrada aqui apenas a distribuição já apresentada durante o trabalho, para os dados apresentados para a falha no componente do mancal do granulador e os dados referentes a cada distribuição.

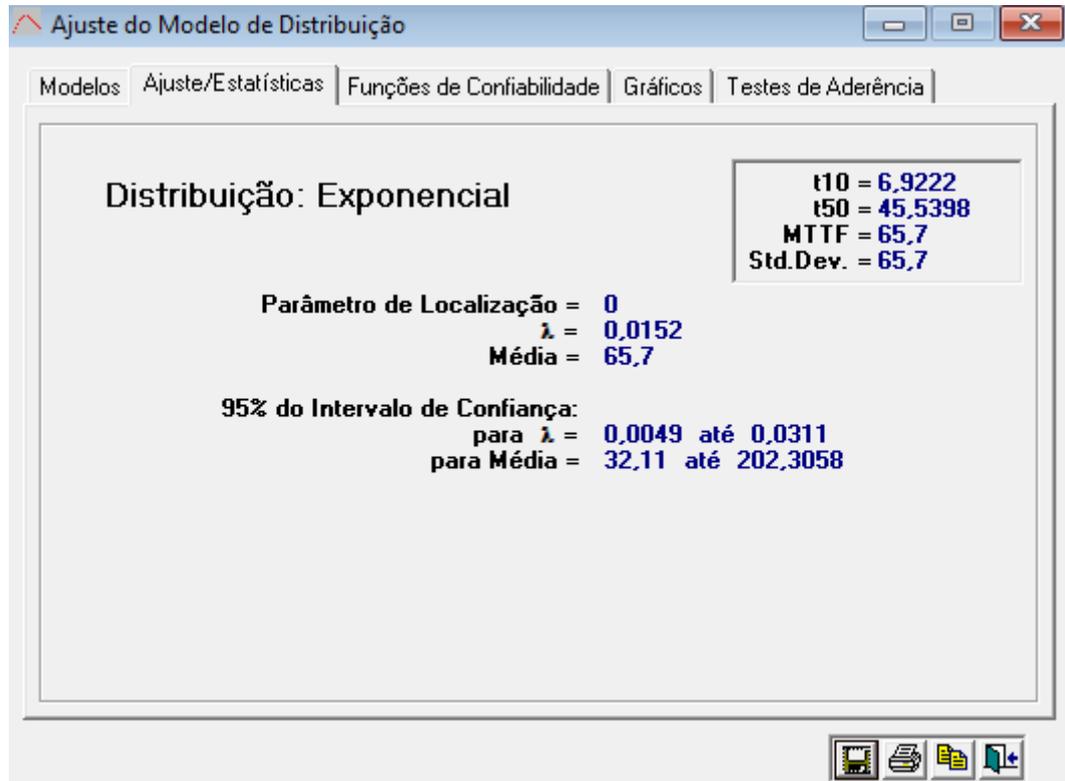
- **Distribuição Exponencial**

Figura 20 - Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Exponencial das ocorrências no mancal do granulador



Fonte: software ®ProConf 2000.

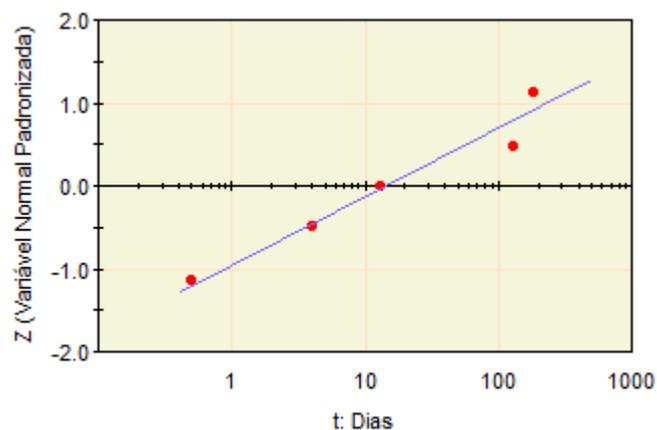
Figura 21 - Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos do Mancal do Granulador para Distribuição Exponencial



Fonte: Imagem obtida pelo software ®ProConf 2000.

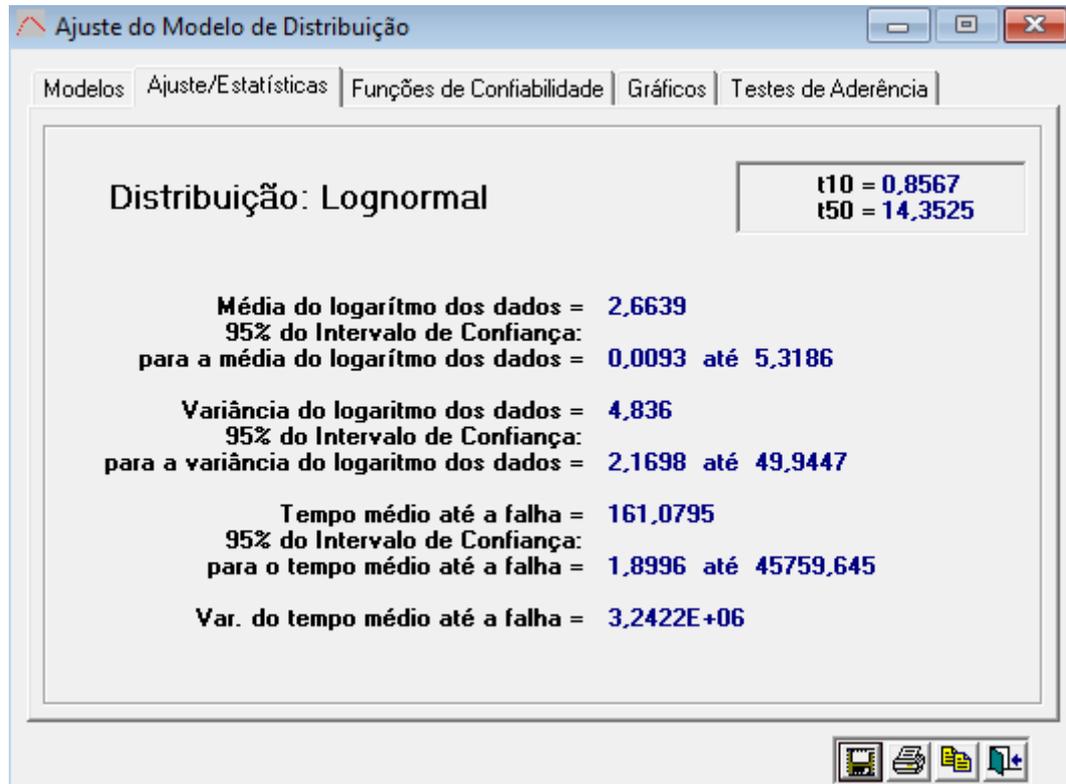
- **Distribuição Lognormal**

Figura 22 - Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Lognormal das ocorrências no mancal do granulador



Fonte: software ®ProConf 2000.

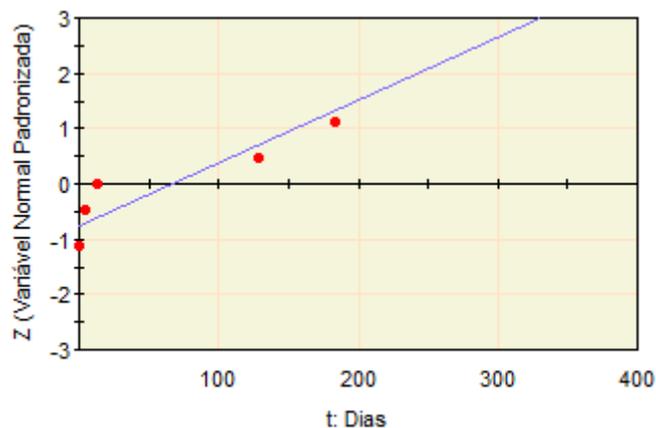
Figura 23 - Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos do Mancal do Granulador para Distribuição Lognormal



Fonte: Imagem obtida pelo software [®]ProConf 2000.

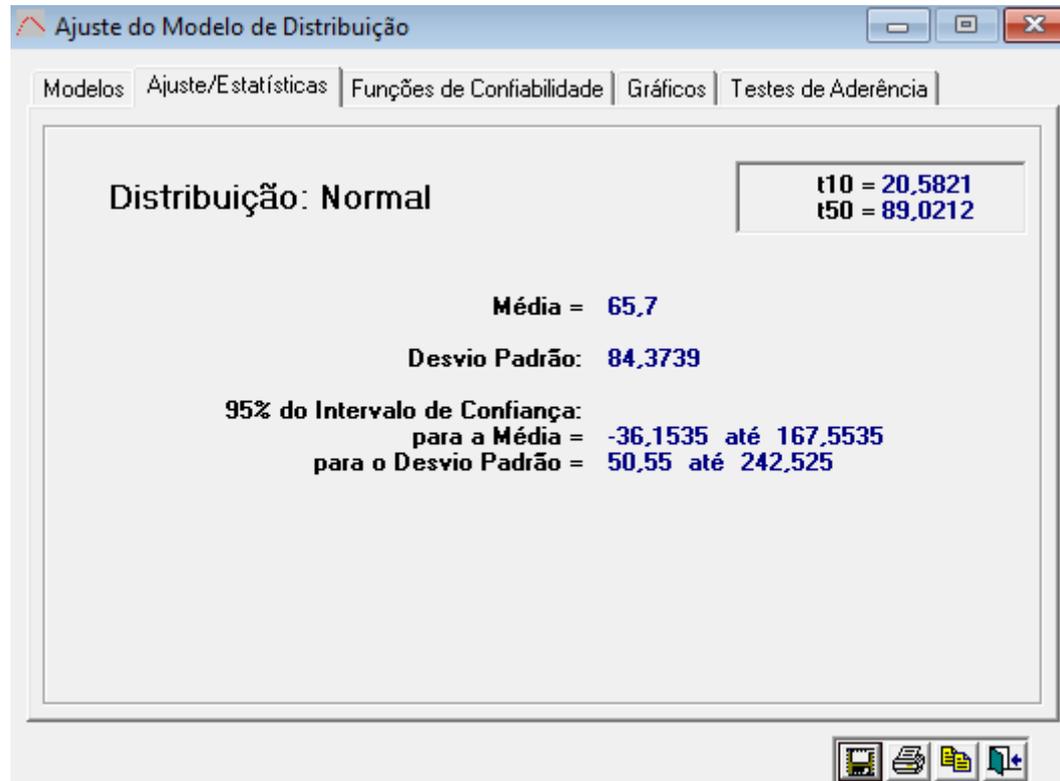
- **Distribuição Normal**

Figura 24 - Gráfico de Modelo de Probabilidade para Distribuição Normal das ocorrências no mancal do granulador



Fonte: software [®]ProConf 2000.

Figura 25 - Tela do ProConf 2000 com dados estatísticos do Mancal do Granulador para Distribuição Normal



Fonte: Imagem obtida pelo software [®]ProConf 2000.