

**JOÃO PEDRO NAVES OLIVEIRA RIBEIRO**

**PLANO DE AÇÃO BASEADO NA MANUTENÇÃO  
PREDITIVA E CÁLCULO DE OEE EM UMA BOMBA  
CENTRÍFUGA DE REPOSIÇÃO DE ÁGUA DE  
CALDEIRA**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2019

**JOÃO PEDRO NAVES OLIVEIRA RIBEIRO**

**PLANO DE AÇÃO BASEADO NA MANUTENÇÃO  
PREDITIVA E CÁLCULO DE OEE EM UMA BOMBA  
CENTRÍFUGA DE REPOSIÇÃO DE ÁGUA DE  
CALDEIRA**

**Trabalho de conclusão de curso** apresentado ao curso de graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Mecânica**.

Orientador: Prof Dr Wisley Falco Sales

**Uberlândia – MG**

**2019**

**JOÃO PEDRO NAVES OLIVEIRA RIBEIRO**

**PLANO DE AÇÃO BASEADO NA MANUTENÇÃO  
PREDITIVA E CÁLCULO DE OEE EM UMA BOMBA  
CENTRÍFUGA DE REPOSIÇÃO DE ÁGUA DE  
CALDEIRA**

Trabalho de conclusão de curso em **Engenharia  
Mecânica** aprovado pela Faculdade de Engenharia  
Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia.

**Banca Examinadora:**

---

**Prof. Dr. Wisley Falco Sales – FEMEC – UFU – Orientador**

---

**Prof. Dr. Éder Silva Costa – ESTES/FEMEC – UFU**

---

**Prof. M.Sc. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva – Doutorando FEMEC/UFU**

Uberlândia-MG, 01/04/2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me proporcionado saúde e sabedoria para tomar todas as escolhas da minha vida. Agradeço a Ele, também, por ter me dado as duas pessoas mais importantes da minha vida: o meu pai Celio e minha mãe Edelwis, obrigado por todo amor que me deram e pela luta diária que vocês enfrentaram para me proporcionar a melhor educação e o melhor lar possível, sei como foi difícil e sofrido, mas saibam que serei eternamente grato.

Agradeço minha tia Edelweiss e minha querida vó Donatila, são como segunda mãe para mim.

Aos meus padrinhos, madrinhas, compadres e afilhados vocês são partes essenciais de tudo que conquistei e vou conquistar na vida, obrigado por todo companheirismo, amor e suporte.

Ao restante da minha família, obrigado por contribuírem com meu crescimento pessoal e por todo o incentivo. Um agradecimento especial ao meu tio Edmardo, uma inspiração intelectual para mim.

Agradeço o professor Wisley, pela compreensão, orientação e por 'abraçar' este trabalho.

Aos meus amigos, pessoas incríveis que tive o prazer de conviver e espero carregar para toda a vida.

E, finalmente, aos meus colegas de trabalho, que me deram todo o suporte para entrar no mercado de trabalho com toda a tranquilidade.

## Resumo

Com o aumento da competitividade no mercado do agronegócio, torna-se obrigação que empresas do ramo estudem e adaptem formas eficazes de aplicar técnicas de manutenção para otimizar recursos como forma estratégica para reduzir custos e aumentar a eficiência, trazendo ganhos em performance e redução do preço que chega ao cliente. Quando se trata de uma indústria frigorífica, situada em um contexto em que o agronegócio representa grande parcela das receitas brasileiras e em que a concorrência é bastante grande, a gestão da manutenção se torna crucial para sustentar a operação de um frigorífico. São vários os desafios que a manutenção encontra em uma fábrica desse ramo, desde máquinas da linha de produção, caldeiras até compressores da sala de máquinas, a gestão de recursos e pessoas precisa ser eficaz. Com esse intuito, foi escolhido a área de geração de vapor para aplicar métodos de manutenção preditiva e gestão, sendo os métodos utilizados a análise de vibração da bomba de reposição da caldeira, uma análise OEE baseado nos dados de produção de vapor e cálculos estatísticos de Weibull com dados extraídos do histórico de manutenção corretiva da bomba. Portanto, através deste estudo foi possível extrair uma baixa confiabilidade do processo no curto prazo, mostrar através de dados que a caldeira operava de forma não competitiva e constatar que existia movimentos vibratórios irregulares nos mancais da bomba, justificando a implementação de um plano de ação focado na manutenção preditiva.

---

*Palavras Chave: vibração, OEE, Weibull, manutenção preditiva, gestão*

## **Abstract**

*With increasing competitiveness in the agribusiness market, it becomes an obligation for companies in the industry to study and adapt effective ways to apply maintenance techniques to optimize resources as a strategic way to reduce costs and increase efficiency, bringing gains in performance and price reduction that reaches the customer. When it comes to meat industry, situated in a context where agribusiness represents a large part of Brazilian revenues and where competition is quite high, maintenance management becomes crucial to sustain the operation of a meat factory. There are several challenges that maintenance finds in a plant in this industry, from production line machines, boilers, to machine room compressors, resource management and people needs to be effective. For this purpose, the steam generation area was chosen to apply methods of predictive maintenance and management; the methods used being the vibration analysis of the boiler replacement pump, an OEE analysis based on the steam production data and statistical calculations of Weibull with data taken from the corrective pump maintenance history. Therefore, through this study it was possible to extract a low reliability of the process in the short term, to show through data that the boiler operated in a non-competitive way and to verify that there were irregular vibratory movements in the pump bearings, justifying the implementation of a focused action plan in predictive maintenance.*

---

*Keywords: vibration, OEE, Weibull, predictive maintenance, management*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caldeira horizontal flamotubular .....	4
Figura 2 - Componentes da caldeira .....	5
Figura 3- Funcionamento da bomba centrífuga .....	5
Figura 4 - Componentes de uma bomba centrífuga .....	6
Figura 5 - O ciclo PDCA e suas etapas .....	7
Figura 6 - Gráfico de Pareto .....	10
Figura 7- Modelo de um diagrama de Ishikawa .....	10
Figura 8- Gráfico "A busca do defeito" .....	18
Figura 9 - Desbalanceamento .....	20
Figura 10- Organograma para escolha do tipo ideal de manutenção .....	25
Figura 11 - Curva da banheira .....	26
Figura 12- Gráfico densidade de Weibull .....	29
Figura 16 - Parâmetro de análise velocidade RMS .....	32
Figura 17 - Parâmetro de análise envelope de aceleração .....	33
Figura 18 - Parâmetro de análise velocidade/aceleração pico a pico .....	33
Figura 19 - Etapas iniciais do processo de um frigorífico de frangos .....	35
Figura 20 - Restante do processo de um frigorífico de aves .....	36
Figura 21 - Diagrama de Pareto aplicado .....	38
Figura 22 - Diagrama de Ishikawa aplicado .....	39
Figura 23 - Análise de Dados no Excel .....	43
Figura 24 - Opções fornecidas pela ferramenta Análise de Dados .....	43
Figura 25 - Configuração utilizada para a regressão linear .....	44
Figura 26 - Dados estatísticos e gráfico de regressão .....	44
Figura 27 - Continuação dos dados estatísticos .....	45
Figura 28- Valores de eta e beta .....	45
Figura 29 - Gráfico da probabilidade de falha .....	46
Figura 30 - Gráfico da Confiabilidade .....	47
Figura 31 - Acelerômetro .....	47
Figura 32 - Nível de vibração dos mancais da bomba de reposição da caldeira em mm/s .....	48
Figura 33 - Envelopes de aceleração em Gs .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Etapas 1,2 e 3 do PDCA.....	7
Tabela 2 - Matriz GUT.....	9
Tabela 3 - Definições dos 5W.....	11
Tabela 4 - Definições dos 2H.....	11
Tabela 5 - Influência dos valores de OEE no processo produtivo.....	27
Tabela 6 - Classificação ABC de criticidade.....	31
Tabela 7 - Legenda dos Níveis de Alarme. Fonte.....	32
Tabela 8 - Parâmetro de avaliação do estado do equipamento. Fonte ISO 10816.....	34
Tabela 9 - Matriz GUT aplicada.....	37
Tabela 10 - Frequência com que ocorrem paradas de produção devido a produção de vapor.....	38
Tabela 11 - Aplicação do 5W2H.....	39
Tabela 12 - Intervalo entre as atividades de manutenção corretivas na bomba de reposição.....	41
Tabela 13 - Ordem crescente dos valores de dias entre cada intervalo de falha.....	42
Tabela 14 - Median Rank.....	42
Tabela 15 - Expansão da Tab. 9 com novas equações utilizando o Median Rank.....	43
Tabela 16 - Intervalos estipulado entre falhas.....	45
Tabela 17 - Probabilidade de falha e confiabilidade.....	46
Tabela 18 - Diagnóstico da análise de vibração na bomba de reposição.....	49
Tabela 19 - Paradas da caldeira durante o período analisado.....	49

## LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS

USDA: *United States Department Of Agriculture* (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos)

OEE: *Overall Equipment Effectiveness* (Eficiência geral do equipamento)

PDCA: *Plan, do, check, act* (Planejar, fazer, checar e agir)

GUT: Gravidade, urgência e tendência

5W2H: 5 “*why*” and 2 “*how*” (5 “por que” e 2 “como”)

TPM: *Total Productive Maintenance* (Manutenção produtiva total)

MP: Manutenção preventiva

$\lambda$ : Taxa de Falha

N: Número de falhas

T: Intervalo entre falhas

C: Confiabilidade

C': Confiabilidade no Excel 2010

MTBF: *Mean time between failures* (Tempo médio entre falhas)

$\beta$ : parâmetro de forma que indica a forma da curva e a característica das falhas

$\eta$ : Vida característica

JIPM: *Japan Institute of Plant Maintenance*

ABRAMAN: Associação Brasileira de Manutenção

SDAV: Sistema digital de análise de vibrações

GATEC: Gestão agroindustrial e tecnologias

ISO: *International organization of standarization* (Organização internacional de normalização)

Nf: Número de amostras

TPA: Toneladas produzidas

Ton: Toneladas

SIF: Serviço de inspeção federal

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Taxa de falha .....	26
Equação 2: Confiabilidade .....	26
Equação 3: Tempo médio entre falhas .....	26
Equação 4: OEE .....	27
Equação 5: Distribuição de Weibull .....	28
Equação 6: Confiabilidade de Weibull .....	29
Equação 7: <i>Median Rank</i> .....	42
Equação 8: Vida característica de Weibull no excel 2010 .....	45
Equação 9: Distribuição de Weibull no excel 2010 .....	46
Equação 10: Confiabilidade de Weibull no excel 2010 .....	46
Equação 11: Consumo de vapor .....	50

## SUMÁRIO

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Contextualização .....	1
1.2 Objetivos.....	2
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Funcionamento das caldeiras flamotubulares a lenha.....	4
2.1.1 Componentes principais.....	4
2.2 Funcionamento das bombas hidráulicas centrífugas.....	5
2.2.1 Componentes principais.....	6
2.3 Metodologias de plano de ação .....	6
2.3.1 Método PDCA.....	7
2.3.2 Matriz GUT .....	9
2.3.3 Diagrama de Pareto.....	9
2.3.4 Diagrama de Ishikawa .....	10
2.3.5 5W2H.....	11
2.4 Manutenção mecânica.....	12
2.4.1 Sistema de qualidade na manutenção .....	12
2.4.2 Manutenção Produtiva Total (TPM) .....	13
2.5 Manutenção corretiva .....	14
2.5.1 Conceito .....	14
2.5.2 Vantagens e desvantagens.....	15
2.6 Manutenção preventiva.....	15
2.6.1 Conceito .....	15
2.6.2 Vantagens e limitações.....	16
2.7 Manutenção preditiva.....	16
2.7.1 Conceito .....	16
2.7.2 Diagnóstico do estado de saúde de um equipamento.....	17
2.7.3 Análise de vibrações.....	19
2.7.4 Análise dos óleos.....	21
2.8 Vantagens e limitações da manutenção preditiva .....	24
2.9 Qual a melhor escolha de manutenção?.....	24
2.10 Confiabilidade .....	25
2.11 <i>Overall Equipment Effectiveness</i> ou Eficiência Operacional Máxima (OEE) .....	27
2.12 Distribuição de Weibull.....	28

2.12.1 Median Rank.....	29
CAPÍTULO III - METODOLOGIA .....	31
3.1 Determinando a criticidade do equipamento .....	31
3.2 Parâmetros de análise de vibração.....	32
3.2.1 Velocidade RMS .....	32
3.2.2 Envelope.....	32
3.2.3 Velocidade/aceleração pico a pico .....	33
3.3 Locais e posições das medições.....	33
3.4 Parâmetro situacional dos equipamentos .....	34
3.5 Plano de ação.....	34
3.5.1 Conhecimento do processo .....	35
3.5.1.1 Fluxograma do processo frigorífico .....	35
3.5.2 Identificar problema e meta.....	37
3.5.2.1 Indicadores .....	37
3.5.2.2 GUT .....	37
3.5.3 Observar e priorizar problema.....	37
3.5.3.1 Diagrama de Pareto .....	38
3.5.4 Identificar e priorizar causas .....	38
3.5.4.1 Diagrama de Ishikawa.....	39
3.5.5 Elaboração do plano de ação .....	39
3.5.5.1 5W2H.....	39
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
4.1 Weibull.....	41
4.1.1 Amostragem .....	41
4.1.2 Desenvolvimento .....	41
4.2 Análise de vibração.....	47
4.2.1 Diagnóstico .....	48
4.3 OEE da caldeira.....	49
4.3.1 Definindo a disponibilidade .....	49
4.3.2 Definindo a performance.....	50
4.3.3 Definindo a qualidade .....	50
4.3.4 Cálculo da OEE .....	50
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES .....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização

A indústria agropecuária brasileira impacta diretamente na balança comercial mundial bem como possui enorme representatividade na economia do Brasil, sendo, também, grande geradora de emprego e renda. Neste ramo é que se encontra a indústria de carne de frango, que possui grande demanda tanto dentro do país como para exportação.

Segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) em seu relatório anual (<http://www.usdabrazil.org.br/pt-br/reports/poultry-and-products-annual-report-2018.pdf>. Acesso 10 nov. 2018), a previsão para 2019 é de que a produção brasileira seja de 13,9 milhões de toneladas, consolidando o país como segundo maior produtor de carne de frango do mundo, registrando um aumento de 2,3% em relação a 2018. Portanto, houve um aumento na diferença para a União Europeia, que se encontra na terceira posição, e diminuição na distância para o Estados Unidos, que, atualmente, ocupa o primeiro lugar.

É neste contexto que os frigoríficos de frango no Brasil se encontram. Novas empresas estão surgindo, fazendo com que cada vez mais a concorrência aumente e a demanda por produtos de qualidade e baratos cresçam com o passar dos anos. Assim, estas indústrias precisam estar sempre melhorando suas formas de gerir o negócio e todo detalhe faz a diferença.

São vários os pilares que sustentam a operação de um frigorífico de frango, desde a criação dos animais até a busca pela máxima produtividade dentro da fábrica, chegando na logística para a expedição do produto acabado, tudo com a supervisão da qualidade. Porém, dentro da fábrica, a operação não seria possível sem a área de suporte, representada pela equipe de manutenção e utilidades, presente nos cuidados com o maquinário da operação, na geração de frio pelos compressores da sala de máquinas, na geração de vapor das caldeiras e nas estações de tratamento de água. Portanto, sem uma gestão eficiente na área de manutenção não é possível obter os melhores resultados.

Em um mercado cada vez mais globalizado, a manutenção deve ser um dos principais pilares para alavancar o crescimento da empresa focando na resolução dos problemas e

atingindo posição de destaque em relação a qualidade, produtividade e redução dos custos de industrialização.

É neste contexto que surge a manutenção preditiva, permitindo um novo ajuste na antecipação de operações da manutenção a ser feita, podendo estimar a tendência de evolução do funcionamento não adequado do equipamento ou máquina, bem como estimar o tempo no qual é viável continuar sua utilização antes de uma intervenção. Estas estimativas são provenientes das análises periódicas do estado de cada equipamento, obtidas através da utilização dos modelos de análises de desgaste.

A escolha desta forma de manutenção representa uma intervenção sobre uma máquina de forma condicional, ou seja, é necessário detectar a evolução de determinados parâmetros.

Uma das atividades da manutenção preditiva que mais auxilia na detecção de condições irregulares no funcionamento de um equipamento é a análise de vibração em um determinado componente da máquina. É através das medições dos espectros de frequência que se torna possível realizar um diagnóstico para que a equipe de manutenção saiba quando intervir antes da parada do equipamento.

Então, é preciso saber em quais componentes será utilizada esta técnica, para incluí-la em rotinas de inspeções da manutenção, determinar a periodicidade dessa vistoria, adquirir equipamentos de coleta e leitura das frequências no mercado e definir quais serão as políticas e diretrizes para determinar o estado do maquinário e como será determinado o momento exato da intervenção do equipamento.

Portanto, aliar práticas efetivas de manutenção com técnicas adequadas de gestão é essencial para que seja feito o suporte necessário para a área produtiva de uma fábrica. É preciso que gestores saibam como utilizar as melhores ferramentas e saiba conduzir uma equipe para obter os melhores resultados.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é elaborar um plano de ação de gestão da manutenção consistente e dentro das possibilidades da equipe do frigorífico, aliando efetividade e baixo custo para ser implementado. Para justificar a necessidade deste, foi escolhido a área de geração de vapor para se realizar algumas análises que poderiam detectar futuros riscos de parada de produção, além de mostrar a baixa eficiência da caldeira da fábrica.

Os objetivos específicos deste projeto são:

- Escrever uma revisão bibliográfica sobre o tema proposto, contendo: características da caldeira e bomba de reposição analisadas, explorar o

funcionamento das ferramentas de gestão e os conceitos de manutenção que podem ser aplicadas em uma fábrica;

- Realizar uma análise estatística de Weibull para determinar quando ocorrerá uma falha da bomba de reposição da caldeira;
- Realizar uma análise de vibração para diagnosticar o estado de funcionamento da bomba;
- Realizar cálculo de OEE para saber a efetividade da caldeira no processo;
- Constatado a necessidade de melhoria, elaborar um plano de ação que auxilie a gestão mais eficiente da manutenção por parte da equipe do frigorífico.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 Funcionamento das caldeiras flamotubulares a lenha

Nas caldeiras flamotubulares (Fig.1) os gases passam pelo interior dos tubos do evaporador que estão mandrilados nos espelhos do tubulão da caldeira onde ocorrerá a separação do vapor e líquido. Basicamente, os produtos oriundos da combustão circulam pelo interior dos tubos, que ficam mergulhados na água que será vaporizada.

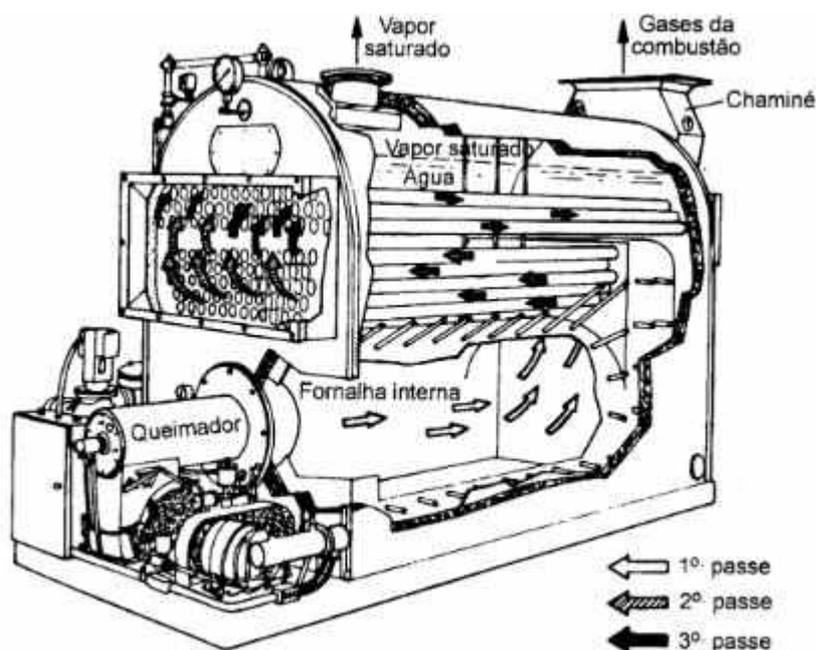


Figura 1 - Caldeira horizontal flamotubular. Fonte: Prof. Strobel, Dr. Eng, aula TM-364 – Máquinas Térmicas I, UFPR, slide 8.

##### 2.1.1 Componentes principais

- 1- Tubulão : onde é armazenada a água ;
- 2- Fornalha : responsável por queimar o combustível ;

3- Tubo do evaporador : recebe o calor dos gases oriundos da combustão.

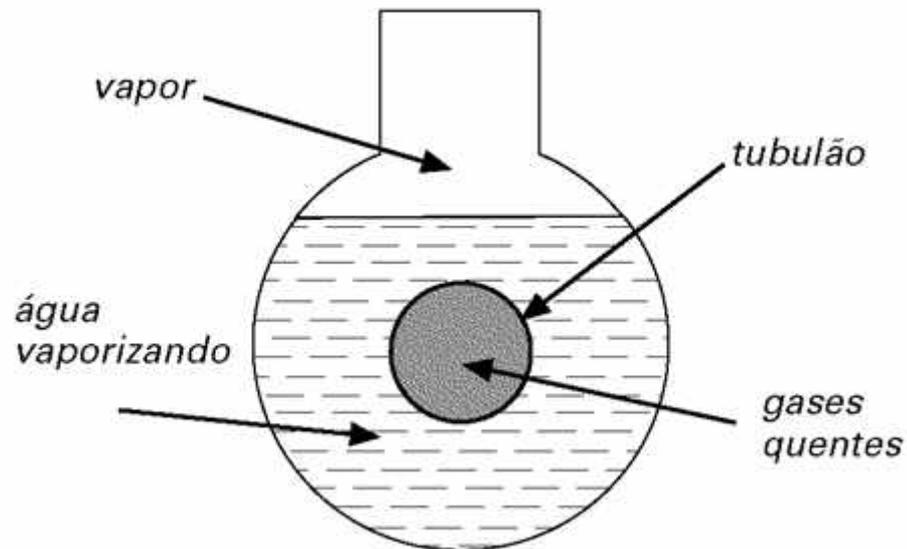


Figura 2 - Componentes da caldeira. Fonte: Prof. Strobel, Dr. Eng, aula TM-364 – Máquinas Térmicas I, UFPR, slide 9.

## 2.2 Funcionamento das bombas hidráulicas centrífugas

As bombas centrífugas são bastante utilizadas para reposição de água em caldeiras, mantendo o nível adequado para seu bom funcionamento. Elas operam através da transferência de energia mecânica para a água em forma de velocidade (energia cinética), que, por sua vez, é transformada em energia de pressão (gravitacional).

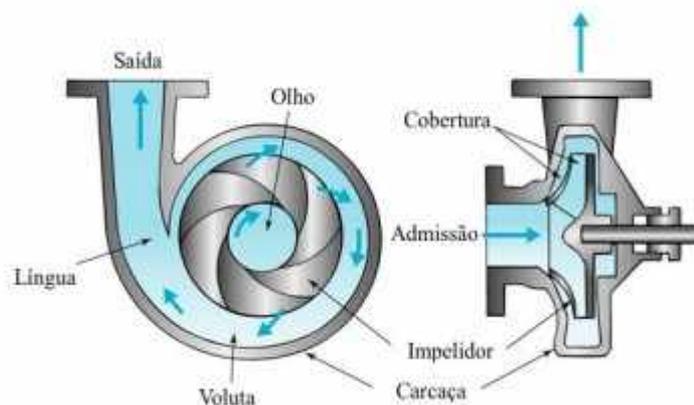


Figura 3- Funcionamento da bomba centrífuga. Fonte:

<http://sites.poli.usp.br/d/pme2237/lab/pme2237-rl-bombas-site.pdf>. Acesso 20 nov. 2018.

Segundo Henn (2006), após ser succionado no bocal, o líquido entra no impulsor, que é rotativo, na qual é imposta uma rotação ao líquido situado nas cavidades entre as palhetas externas, proporcionando uma aceleração centrífuga. Portanto, uma área de baixa pressão é formada no centro do impulsor permitindo a entrada de mais água nas direções radial e tangencial.

### 2.2.1 Componentes principais

- 1- Rotor : componente giratório contendo pás que transformam a energia mecânica em cinética e gravitacional.
- 2- Voluta : responsável pela contenção da água, promovendo a transformação da energia cinética em gravitacional.
- 3- Difusor : sua principal função é direcionar a saída do rotor para a água.
- 4- Eixo : promove transmissão do torque do acionador ao rotor.
- 5- Caixa de selagem : protege a bomba contra vazamentos.
- 6- Mancais : sua função é suportar as forças radiais e axiais que ocorrem, além do peso do conjunto girante.

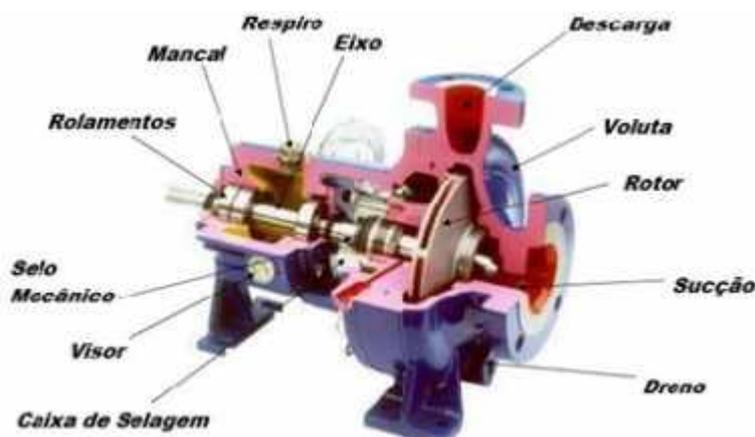


Figura 4 - Componentes de uma bomba centrífuga. Fonte: PETERSON CARLOS ÂNGELO, Comparativo entre métricas de confiabilidade para bombas centrífugas aplicadas na indústria de celulose, UTFPR, 2015.

### 2.3 Metodologias de plano de ação

Todos os conteúdos didáticos das metodologias de plano de ação foram retirados e adaptados de materiais de apoio e aulas fornecidas pela própria empresa, no intuito de qualificar ainda mais os colaboradores e todos os gestores.

### 2.3.1 Método PDCA

O método PDCA, representado na Fig. 5, é uma prática eficaz de gestão baseada em quatro passos: planejar, fazer, checar e agir (originário do inglês *plan, do, check, act*). Esta ferramenta é utilizada para solucionar problemas e melhorar processos.

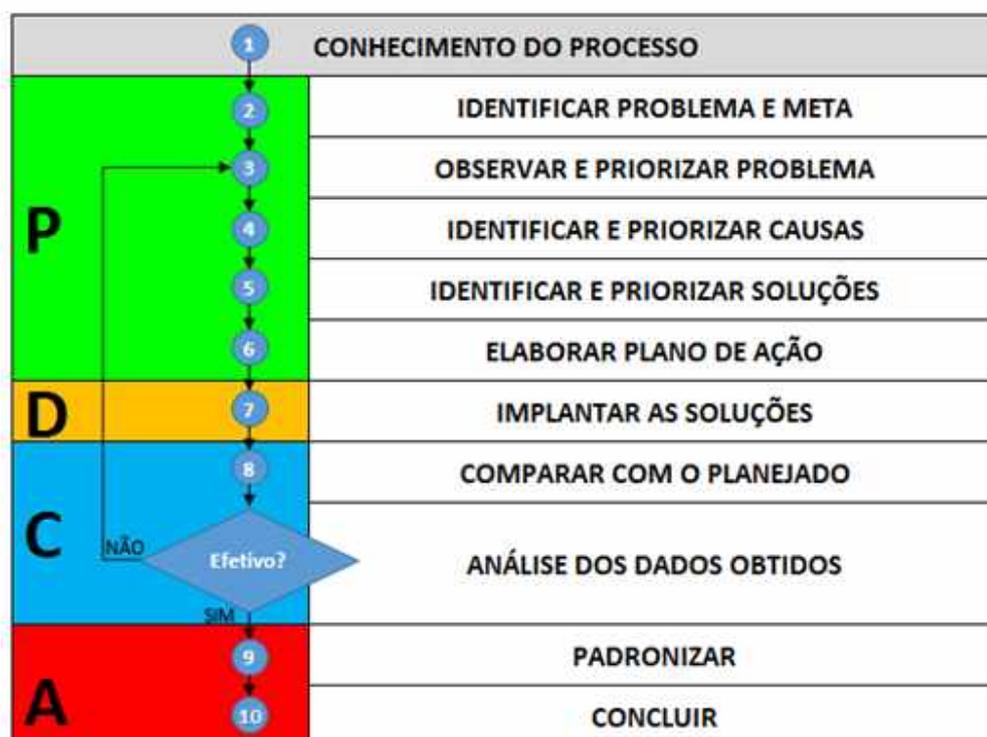


Figura 5 - O ciclo PDCA e suas etapas. Fonte: o autor

O PDCA é baseado em uma sequência lógica, fundamentada em fatos e dados, que tem por objetivo localizar a causa raiz dos problemas. Após as definições de todas as etapas, encontra-se uma solução e deve ser garantida sua aplicação e manutenção.

A parte de planejar é considerada a mais importante e demorada para se elaborar. As etapas de 1 a 6 proporcionam a oportunidade de trabalhar com várias ferramentas que melhor se adaptam a realidade da situação.

A Tabela 1 mostra as três primeiras etapas do PDCA, as ferramentas e ações que o gestor ou colaborador podem utilizar durante a realização dessas atividades e as melhores instruções que vão fornecer as diretrizes para melhor executar as etapas.

Seguir todas as instruções, utilizar todas as ferramentas e realizar todas as ações não são, necessariamente, obrigatórias, porém, são recomendáveis tanto para a execução das etapas quanto para mostrar os resultados obtidos.

Tabela 1 - Etapas 1,2 e 3 do PDCA.

ETAPAS	FERRAMENTAS/AÇÕES	INSTRUÇÕES
<p style="text-align: center;">1 CONHECIMENTO DO PROCESSO</p>	Indicadores	<p style="text-align: center;">Levantar dados para compreensão dos vários elementos que compõe o processo</p>
	Fluxograma	
	Diagramas de processo	
	Normas/procedimentos/ instruções	
	Visita no local	
<p style="text-align: center;">2 IDENTIFICAR PROBLEMA E META</p>	Indicadores/Gráficos	<p style="text-align: center;">Indicar os problemas através da análise dos indicadores</p>
	Brainstorming	<p style="text-align: center;">Utilizar o brainstorming quando não há indicadores definidos</p>
	G U T	<p style="text-align: center;">Matriz Gravidade, Urgência e Tendência para priorizar problema e definir meta</p>
<p style="text-align: center;">3 OBSERVAR E PRIORIZAR O PROBLEMA</p>	Visita no local	<p style="text-align: center;">Descobrir as características do problema, transformando-o de maior para menor, por meio de coleta de dados.</p>
	Estratificação (local, tempo, tipo)	
	Gráfico de Pareto/histograma	

### 2.3.2 Matriz GUT

A matriz GUT, apresentada na Tab. 2, é uma ferramenta para auxiliar na priorização de problemas. Nela são avaliados de 1 a 5 todos os problemas existentes no processo nos quesitos gravidade, urgência e tendência, sendo 1 o menos importante e 5 o mais relevante.

A gravidade mede o impacto que a produção pode sofrer com determinado problema, já a urgência mostra qual a necessidade de resolver logo o problema para não tornar os danos irreversíveis e a tendência mostra a possibilidade daquele problema se agravar com o tempo.

Tabela 2 - Matriz GUT.

NOTA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
5	Extremamente grave	Necessita ação imediata	Irá piorar rapidamente
4	Muito grave	Muito urgente	Irá piorar a curto prazo
3	Grave	Necessita ação rapidamente	Irá piorar a médio prazo
2	Pouco Grave	Pouco urgente	Irá piorar a longo prazo
1	Sem gravidade	Pode esperar	Não irá piorar

### 2.3.3 Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto também auxilia na priorização de problemas estratificando os problemas e ordenando a frequência das ocorrências, como na Fig. 6. Assim, torna-se ainda mais evidentes os problemas que mais impactam em um determinado processo que não apresenta sua melhor performance, possibilitando que o gestor foque seus recursos nestes aspectos.

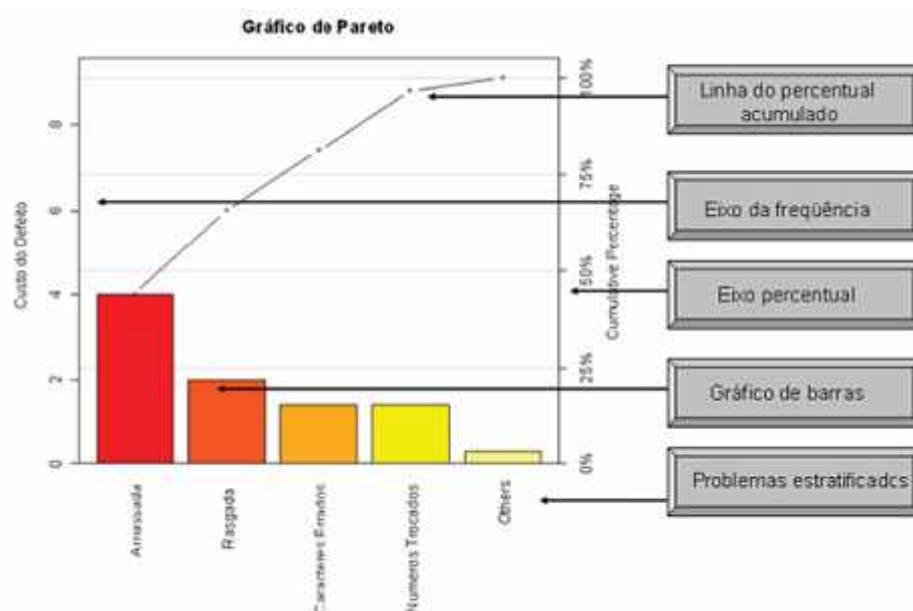


Figura 6 - Gráfico de Pareto

#### 2.3.4 Diagrama de Ishikawa

Após conhecido os principais problemas na etapa 3, o próximo passo consiste em descobrir as causas destes desvios utilizando o diagrama de Ishikawa ou diagrama de causa e efeito, representado na Fig. 7.

Sua principal função é organizar dados de um problema de modo a indicar as relações entre o efeito oriundo do problema e as causas que possibilitam ou contribuem para sua ocorrência. Portanto, a etapa 4 de observar e priorizar as causas será feita com auxílio do diagrama de Ishikawa.

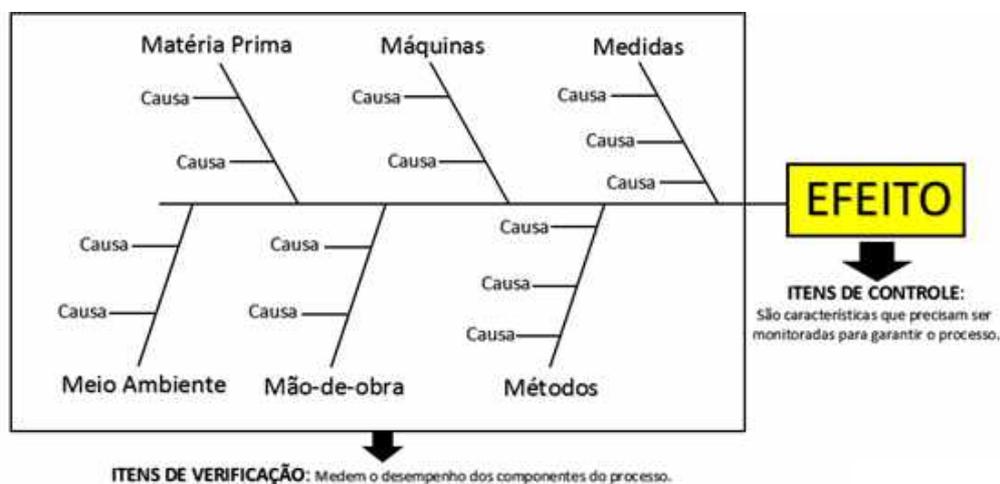


Figura 7- Modelo de um diagrama de Ishikawa. Fonte: o autor

Então, priorizando as causas dos problemas, é possível buscar soluções, principalmente, através de um brainstorming com pessoas pertencentes ao processo e/ou pessoas com prévia experiência. Assim, prioriza-se as soluções (etapa 5), para, enfim, elaborar o plano de ação.

### 2.3.5 5W2H

O plano de ação, geralmente, é elaborado utilizando a ferramenta 5W2H (Tab.3 e Tab.4) que representa 7 perguntas que devem ser respondidas ao investigar uma situação ou problema que acontece em diversas atividades produtivas.

Tabela 3 - Definições dos 5W.

O QUE FAZER? (WHAT?)	POR QUE FAZER? (WHY?)	QUEM FARÁ? (WHO?)	QUANDO SERÁ FEITO? (WHEN?)	ONDE SERÁ FEITO? (WHERE?)
Descrever o que será feito (etapas);	Justificativa da implantação da solução	Nome das pessoas ou equipes que realizarão as atividades;	Data que será feito;	Informar o local que será feito;

Tabela 4 - Definições dos 2H.

COMO SERÁ FEITO? (HOW?)	QUANTO CUSTARÁ? (HOW MUCH?)
Método utilizado para implantar a solução;	Custo da implantação da solução;

Esta ferramenta é bastante útil para uma empresa, pois possibilita clareza em todas as etapas sobre o processo em discussão, facilitando a execução do plano de ação. Assim, é possível ser objetivo tanto na hora de realizar as tarefas como na hora de mostrar os resultados.

## 2.4 Manutenção mecânica

O conceito de manutenção mecânica sofreu diversas mudanças a longo de sua história até chegar na definição atual em que várias empresas modernas vêm seguindo. Após inúmeras dessas transformações, o resultado é de que a manutenção deve garantir a confiabilidade, a segurança, o bom funcionamento e a disponibilidade das máquinas, equipamentos e instalações de maneira a atender a demanda de um processo de produção ou prestação de serviços, garantindo a preservação da saúde de seus trabalhadores e custos adequados aliados com um produto de qualidade para os clientes.

Não é suficiente que uma empresa tenha máquinas de primeira tecnologia, um mercado ativo, bons funcionários, produtos de qualidade e com preços competitivos se esta não contar com um eficiente programa de manutenção mecânica e industrial. A importância desta se deve ao fato de que, sem ela, ficaria impossível cumprir os cronogramas de produção e fabricação (resultando em produtos de menor qualidade), não existiria condições para reduzir as perdas de matéria-prima e energia, não ocorreria a diminuição dos custos para aumentar a competitividade e, conseqüentemente, a fidelidade dos clientes seria afetada.

Nota-se, então, que a ausência de um plano de manutenção gera prejuízos consideráveis que podem ser evitados. Dentre esses problemas, pode-se ocorrer a interrupção parcial ou total do sistema de produção, atrasos nas entregas dos serviços e produtos, resultando em crise na relação com o cliente, perdas financeiras e aumento nos custos.

Portanto, conceituando manutenção mecânica de forma sucinta, resume-se em um processo que visa a recuperação de uma determinada função do sistema, através de uma intervenção estratégica programada ou não, realizada por meio de profissionais capazes de executar a tarefa. Então, torna-se obrigatório para uma empresa que ambiciona ser bem-sucedida adotar um plano de manutenção para atingir a melhor qualidade possível.

### 2.4.1 Sistema de qualidade na manutenção

Segundo Mirshawka (1991), alguns fatores são essenciais para que exista qualidade na aplicação da manutenção mecânica em indústrias e fábricas. Porém, destaca-se o bom gerenciamento na gestão, a qualidade dos recursos humanos disponíveis e os materiais de trabalho.

O planejamento adequado irá permitir um atendimento mais rápido à operação, irá conseguir otimizar a utilização dos recursos disponíveis, sejam eles humanos ou materiais,

além de efetuar uma melhor capacitação da mão de obra através da disseminação do conhecimento técnico, teórico e prático para as equipes responsáveis.

É importante que o responsável por essa área seja um profissional engajado, motivado, empenhado e com a iniciativa de sempre se perguntar o motivo dos acontecimentos e que sempre procure as respostas necessárias. Só assim, por exemplo, este pode encontrar o tipo de manutenção ideal, a equipe de profissionais adequada para trabalhar no problema, as ferramentas necessárias para cada área de atuação, a documentação técnica exigida para a situação, infraestrutura ideal para realização do serviço e treinamentos necessários sempre que for preciso.

Porém, para que a boa gestão aconteça, é necessário abordar a importância do fator humano na manutenção, pois um profissional qualificado e bem equipado é fundamental no alcance dos objetivos em uma empresa devido a capacidade de maior entendimento dos eventuais problemas, assim, proporcionando uma melhor solução, gerando qualidade nos produtos, serviços mais rápidos e prestígio no mercado.

Contudo, para que os recursos humanos sejam aproveitados ao máximo, é fundamental a qualidade nos instrumentos de trabalho.

Para Mirshawka (1991), sabe-se que um dos maiores custos nas atividades de manutenção, além da mão de obra, são as ferramentas de trabalho e materiais de reparo. Portanto, quando profissionais qualificados possuem instrumentos de qualidade para trabalharem, a agilidade e rapidez nas atividades de manutenção serão aumentadas consideravelmente e, como é de conhecimento da maioria, tempo de produção é crucial para o sucesso de uma empresa.

Portanto, nota-se que o sistema de qualidade de uma empresa tem papel fundamental na área de manutenção mecânica. O bom relacionamento dessas duas áreas garante um bom desempenho da linha de produção assim como a satisfação dos colaboradores e clientes.

#### *2.4.2 Manutenção Produtiva Total (TPM)*

De acordo com Nakajima (1989), a TPM tem como objetivo garantir a eficácia da empresa por meio da maior qualificação dos recursos humanos e melhoramentos nos equipamentos, assim como prepara e desenvolve trabalhadores capacitados para conduzir novas tecnologias e práticas.

Essa prática obriga as empresas a atingirem uma competitividade aceitável por meio da eliminação dos desperdícios, da obtenção do máximo desempenho dos equipamentos e da redução das paradas na linha de produção por falhas. Além disso, a TPM modifica o

sistema de trabalho e traça um perfil de habilidades que os empregados da produção e manutenção precisam ter para serem aptos ao serviço.

## **2.5 Manutenção corretiva**

### *2.5.1 Conceito*

A manutenção corretiva é a primeira medida a ser tomada quando existe a falha do equipamento ou máquina, pois esta tem como objetivos corrigir, restaurar e recuperar a capacidade de produção do equipamento que tenha ultrapassado os limites de exercer as funções designadas. Então, geralmente, esse tipo de manutenção acontece em caráter emergencial e sem muito planejamento. Porém, apesar desta definição, existe dois conceitos de manutenção corretiva: a não planejada ou emergencial e a planejada.

Mirshawka (1991) diz que a manutenção corretiva não planejada caracteriza-se pela atuação em um problema já ocorrido, seja por uma falha ou queda na produção. Por mais que as indústrias e fábricas conheçam a importância do bom planejamento em manutenção, muitas delas ainda a praticam de forma corretiva emergencial, sendo que a prática desta gera altos custos, devido à quebra não esperada de uma máquina resultar em perdas na produção e na qualidade do serviço, além de elevar os custos indiretos em manutenção.

Além disso, quando se trata de plantas industriais, os danos podem ser bem maiores, pois, em seu processo contínuo, estão envolvidos diversos fatores como altas pressões, temperaturas extremas e vazões, resultando em uma quantidade de energia envolvida considerável. Então, a interrupção abrupta desse processo para o reparo de um equipamento pode acarretar na perda de qualidade de outros setores que estavam em bom funcionamento.

A manutenção corretiva, do ponto de vista de Mirshawka (1991) planejada é aquela que visa a correção da queda de desempenho de um determinado equipamento ou a correção de uma falha por decisão gerencial. Neste caso, tem-se um problema anormal de operação e a decisão de adotar essa forma de manutenção baseia-se em fatores como a negociação da parada do processo com a equipe de operação, aspectos relacionadas a segurança do trabalho, melhor planejamento na reposição de materiais, assim como melhor planejamento na contratação de recursos humanos.

Mesmo quando a decisão gerencial é de manter o equipamento funcionando até a quebra, a manutenção corretiva planejada torna-se mais eficiente na medida que é um problema conhecido. Logo, um trabalho planejado gera menos custos, maior rapidez e mais segurança do que um trabalho não planejado.

Portanto, adotar a política da manutenção corretiva planejada significa a oportunidade de diminuir as intervenções na produção, aumentar a segurança na linha de produção, garantia da existência de peças de reposição em uma eventual necessidade e a certeza de poder contar com recursos humanos capacitados e em quantidade suficiente para lidar com eventuais problemas.

### 2.5.2 *Vantagens e desvantagens*

Segundo Mirshawka (1991), apesar de alguns profissionais da engenharia de manutenção não ver muitas vantagens no processo de manutenção corretiva, é fato que quando o equipamento apresenta baixa criticidade e que os custos para um eventual reparo são menores que um acompanhamento ou manutenção preventiva, a forma corretiva de manutenção seja a mais indicada.

Porém, como já foi dito, quando esta não é abordada de forma planejada e estratégica, gera-se altos custos de mão de obra, reposição excessiva de peças e serviços, parada na linha de produção gerando perdas, maior tempo de inoperância das máquinas e instalações, além de grandes riscos na área de segurança do trabalho.

## 2.6 **Manutenção preventiva**

### 2.6.1 *Conceito*

De acordo com Mirshawka (1991), a manutenção preventiva tem como objetivo evitar a falha de equipamentos ou redução na queda do desempenho através de um planejamento previamente elaborado baseado em intervalos definidos de tempo. Ou seja, consiste no conjunto de ações antecipadas para manter o bom funcionamento da máquina.

Esta forma de manutenção possui a intenção de reduzir a probabilidade de falha de um equipamento através de uma intervenção prevista, planejada e preparada, ou seja, ela é aplicada de forma sistemática, visando ajuste e a conservação, eliminando defeitos e evitando a falha. Geralmente, essas inspeções periódicas são realizadas de acordo com um cronograma ou nos índices de funcionamento da máquina previamente estabelecidos. Dentro dessas revisões sistemáticas estão as lubrificações periódicas, calibração de máquinas, inspeções de segurança, etc.

Alguns fatores devem ser considerados para se adotar o método de manutenção preventiva pelo ponto de vista de Mirshawka (1991), como aspectos relacionados à segurança pessoal, instalações que tornam obrigatória a intervenção (geralmente para substituição de

componentes), em sistemas complexos e de operação contínua e quando não existe a possibilidade de aplicação da manutenção preditiva.

Portanto, todas as etapas das tarefas a serem executadas na manutenção preventiva devem ser bem definidas, pois deve-se levar em consideração a quantidade de material, a mão de obra necessária para realização do serviço e, até mesmo, considerar a terceirização do serviço. No surgimento de algum imprevisto nas atividades preventivas, a atividade torna-se corretiva.

### *2.6.2 Vantagens e limitações*

A manutenção preventiva será mais conveniente quando for maior a simplicidade na reposição, quanto mais alto forem os custos de reparo, quanto maior forem os danos provenientes das falhas e quanto maiores forem os riscos operacionais.

Portanto, esta forma de manutenção traz benefícios em vários aspectos como: redução na degeneração das máquinas, melhoria na operação dos equipamentos devido ao conhecimento prévio adquirido, atuação anterior a intervenção corretiva gerando economia, redução na quebra de equipamentos, melhores reparos em melhores condições de operação e programação sistemática das intervenções para melhorar os trabalhos de conservação.

Porém, se por um lado a manutenção preventiva proporciona melhor gerenciamento das atividades devido a previsibilidade das ações a serem tomadas, além de conseguir prever o consumo de materiais e peças de reposição, por outro lado, promove a retirada de equipamentos da linha de produção para efetuar os reparos programados.

Outras limitações podem ser notadas no serviço preventivo, como má preparação para o trabalho ou trabalho mal definido, falhas humanas resultantes de má preparação ou contratação malfeita, erro na gestão de estoque resultando em falhas das peças de reposição, contaminação dos sistemas de óleo durante as paradas previamente estabelecidas, assim como quebras de peças durante os intervalos. Portanto, nota-se que diversas limitações da manutenção preventiva se encontram em problemas gerenciais.

## **2.7 Manutenção preditiva**

### *2.7.1 Conceito*

De acordo com Mirshawka (1991), a manutenção preditiva (MP), também conhecida como manutenção condicional, assemelha-se a manutenção preventiva, porém, subordinada a um evento anteriormente determinado (diagnóstico prévio, dados coletados de um desgaste, informações previamente coletadas, etc.) que revela o estado de degradação de uma

máquina. Ou seja, é a atuação realizada com base nas alterações de parâmetros de desempenho ou condicionais, na qual o acompanhamento é obediente à uma sistemática.

A MP permite um novo ajuste na antecipação de operações da manutenção a ser feita, podendo estimar a tendência de evolução do funcionamento não adequado do equipamento ou máquina, assim como também estimação do tempo no qual é viável continuar a utilizá-lo antes que ocorra avaria.

Mirshawka (1991) diz que estas estimativas são provenientes das análises periódicas do estado de cada equipamento, obtidas pela prática da manutenção preditiva e através da utilização dos modelos de desgaste. Portanto, a escolha da MP representa uma intervenção sobre uma máquina de forma condicional, ou seja, é necessário a evolução de determinados parâmetros significativamente.

Torna-se, então, necessária a utilização de três fases para realizar a manutenção preditiva: a detecção do problema sendo desenvolvido, estabelecimento de um diagnóstico e a análise da tendência.

### *2.7.2 Diagnóstico do estado de saúde de um equipamento*

Para se estabelecer o uso da MP com a finalidade de diagnosticar precisamente o estado de funcionamento em um equipamento, Mirshawka (1991) diz que primeiro detecta-se o defeito que se desenvolve. É bastante importante que se siga a evolução do problema ou anomalia, sendo que os mais eficazes métodos para isso são através da utilização de equipamentos que registram a variação das vibrações e que também coletam dados de outros parâmetros importantes como pressão, temperatura, desempenho, aceleração, etc. Estas informações irão servir de referência para o acompanhamento e comparação da evolução de eventuais defeitos que podem vir a ocorrer.

Então, sabendo-se da existência do problema, o responsável terá a tarefa de estabelecer, sempre que for possível, um diagnóstico que remete à origem e à gravidade da anomalia encontrada para, enfim, programar as medidas necessárias para reparo. Toda essa cadeia de ações está representada na Fig. 8.

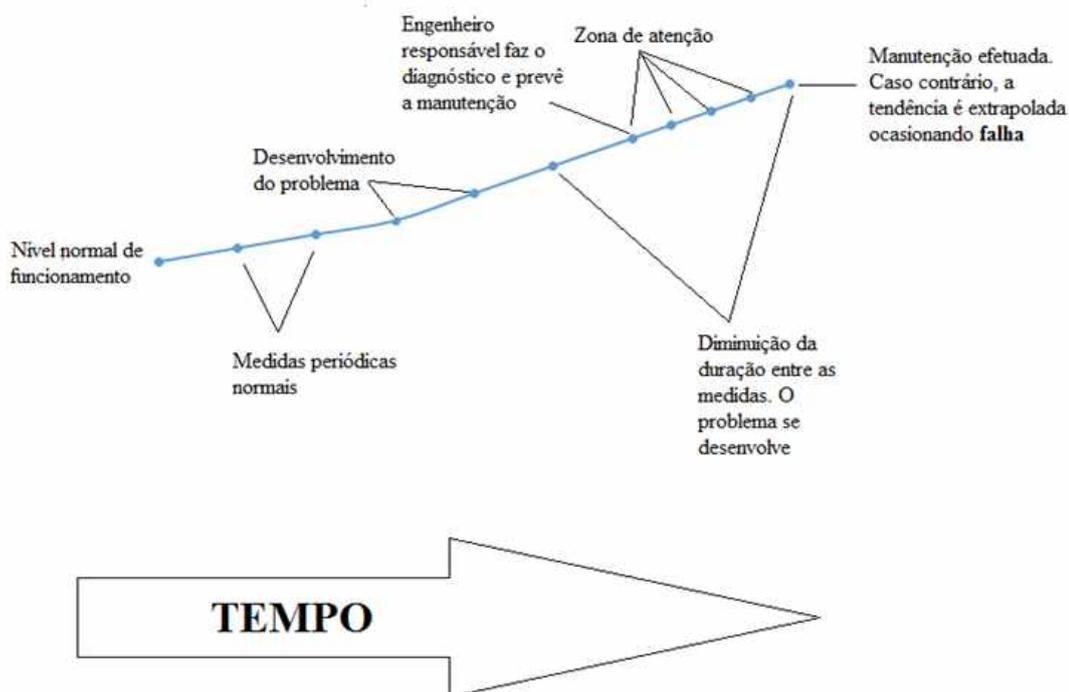


Figura 8- Gráfico "A busca do defeito" extraído de Mirshawka, Vitor. Manutenção Preditiva: caminho para zero defeitos. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991.

Nota-se que a análise da tendência permite o estabelecimento do diagnóstico que o engenheiro responsável precisa para determinar o tempo disponível antes da avaria ou quebra do equipamento, para, assim, permitir a máquina funcionar perante uma vigilância forçada até prever o reparo.

O engenheiro de manutenção será incumbido de avaliar o custo/benefício das operações necessárias para adaptar seus equipamentos de produção à MP, portanto, do ponto de vista de Mirshawka (1991), torna-se imprescindível que se siga quatro procedimentos para colocar a manutenção preditiva em prática:

- 1- Pesquisa inicial, escolhendo-se pontos estratégicos de observação e estabelecendo limites;
- 2- Compra dos materiais de instrumentação;
- 3- Capacitação dos trabalhadores para as medidas de rotina;
- 4- Formação e/ou contratação de engenheiros para as análises das medidas coletadas.

Assim, torna-se viável a produtividade superior com o custo de manutenção reduzido, além de maior confiabilidade. Também, através desses procedimentos, serão minimizados

eventos indesejados com peças do equipamento, fazendo com que não ocorra possíveis substituições de peças que se encontram em bom estado. Além disso, é proporcionada uma previsão das necessidades de peças de reposição.

As condições para o monitoramento de um equipamento são feitas através do conhecimento sobre a deterioração ou desgaste, pois são parâmetros que representam uma grande quantidade de falhas. Ainda assim, é preciso saber que podem ocorrer falhas aleatórias que não possuem relação com esses parâmetros, que são as chamadas falhas aleatórias.

Então, para ter segurança de que nenhuma falha ou até avaria provoque interrupções na linha de produção, é necessário inspeções intensivas e/ou monitoramento contínuo. A substituição no tempo certo de peças e equipamentos sujeitas a falhas é proveniente do número de inspeções realizadas. Conclui-se, assim, que a manutenção preditiva é o caminho mais rápido para uma linha de produção sem defeitos.

### 2.7.3 *Análise de vibrações*

É de conhecimento de todo engenheiro que as máquinas em funcionamento produzem vibrações mecânicas. Os aumentos dessas distribuições de energias vibratórias causam o deterioramento do funcionamento, portanto, a observação da evolução desse nível é bastante valiosa, pois torna-se possível coletar informações importantes sobre o estado da máquina.

O princípio da análise de vibrações segue a premissa de que as estruturas das máquinas, quando estimuladas pelos esforços dinâmicos, emitem sinais vibratórios com frequência idêntica comparada com aquelas emitidas pelos esforços geradores. Assim, a medida geral tomada em algum ponto é o somatório das respostas vibratórias provenientes dos diferentes esforços estimuladores da estrutura. Torna-se, então, possível a alocação de captadores em pontos estratégicos para coletar as vibrações transmitidas pela estrutura à máquina. Após análise dos dados, identifica-se a origem dos esforços aos quais o equipamento está submetido.

Conclui-se que quando a máquina está em seu bom estado de funcionamento torna-se necessário a análise vibratória para registro, assim, a medida que o tempo passar poderá ser feito a comparação dos dados de vibração para analisar o grau de depreciação ou identificar o surgimento de novos esforços dinâmicos.

Mirshawka (1991) informa que a medida de uma vibração transmitida por uma estrutura sob o efeito de esforços dinâmicos será função de inúmeros parâmetros que são separados em três grupos:

### Grupo 1 – Função de transferência

- Massa, rigidez e coeficiente de amortecimento da estrutura que veicula as vibrações;
- Características de fixação da máquina sobre o solo que opõe reações às vibrações e altera intensidade;
- Posicionamento da tomada de medida.

### Grupo 2 – Características da cadeia de medida

- Posição e fixação do sensor sobre a máquina;
- Características do sensor;
- Amplificação prévia e transmissão do sinal;
- Desempenho dos equipamentos analisados.

Grupo 3 – Elementos diretamente relacionados com a intensidade dos esforços dinâmicos que dão origem as vibrações mecânicas, porém, não são medidas diretamente.

- Velocidade de rotação e potência absorvida;
- Estado das ligações da cadeia cinemática (alinhamento, desbalanceamento, engrenagens, rolamentos, etc.).

Então, são várias as deficiências que podem ser encontradas pela análise de vibrações, segundo Mirshawka (1991), as principais são:

- 1- Desbalanceamento: suas principais causas são corpos estranhos nas pás do rotor, empenamento, balanceamento inadequado;

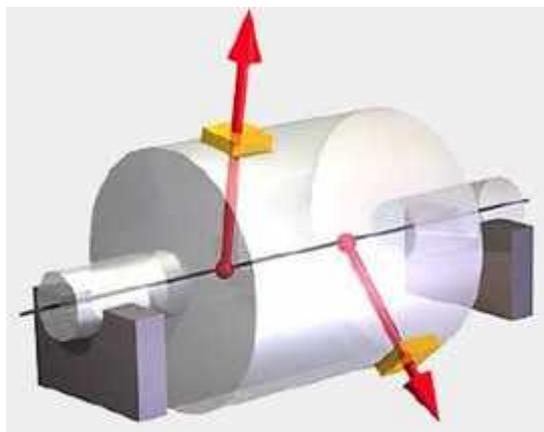


Figura 9 - Desbalanceamento. Fonte: Alpha End

- 2- Falta de rigidez: vibração que ocorre devido a folga existente entre materiais que foram feitos para permanecerem estáticos;
- 3- Falhas em engrenagens: suas principais causas são fadiga de seus dentes, excentricidade das engrenagens e o excesso de torque sobre os mancais;
- 4- Instabilidade: causada, principalmente, pela falta de lubrificação;

Portanto, visto a importância de se detectar as vibrações mecânicas nos equipamentos, é necessário um conhecimento básico sobre a origem dessas vibrações, ou seja, sua natureza. Elas são movimentos que oscilam em torno de uma posição média, podendo ser movimentos periódicos, transitórios e aleatórios.

Os periódicos correspondem a um movimento senoidal, ou seja, os pontos do elemento oscilante são submetidos a passar por várias posições sucessivas dispostas de forma regular. As vibrações transitórias são geradas por forças não contínuas, ou seja, choque, e não apresentam aspecto de oscilação, apenas indo para a posição de equilíbrio no momento após o amortecimento. As aleatórias são oscilações não idênticas entre si.

Dentre os métodos para se estudar as vibrações mecânicas, destacam-se o método da medida do valor global e a análise espectral. Onde a medida do valor global é a análise aproximada do sinal medindo a amplitude avaliada, segundo Mirshawka (1991):

- 1- Mensura-se a máxima amplitude da onda fundamental;
- 2- Coleta do valor da crista ou pico para indicar o nível de um choque;
- 3- Extração do valor que leva em conta a avaliação das componentes harmônicas que se relacionam diretamente à distribuição de energia vibratória.

Análise espectral: consiste em uma análise da amplitude em função da frequência e não em função do tempo. O espectro manifesta-se na forma gráfica contendo a amplitude da vibração de acordo com cada frequência.

Nesse espectro, os componentes se manifestam na forma de picos e permite a análise individual da variação de amplitude. Portanto, a partir das características previamente coletadas de uma máquina e das frequências que aparecem nos problemas detectados, é possível detectar a origem de um defeito e acompanhar seu desenvolvimento.

#### *2.7.4 Análise dos óleos*

De acordo com Mishawka (1991), esse método é bastante útil para a manutenção, pois viabiliza substancial economia com lubrificantes e viabiliza domínio sobre as anomalias que

acontecem em máquinas e equipamentos. A análise dos óleos possibilitam prever o momento mais adequado para a renovação dos fluidos de um componente que funciona a base de lubrificação, assim, regula-se o grau de contaminação ou degradação possibilitando economiza-lo através da otimização do intervalo entre as trocas.

Portanto, para que essa economia seja realizada com sucesso, é necessária o estudo de dois fatores que são os principais causadores da incapacitação de um lubrificante : degradação e contaminação.

A degradação do óleo deve-se, do ponto de vista de Mirshawka (1991), na maioria dos casos, à oxidação, o que gera alteração nas características dos mesmos. Já a contaminação é provocada pelos depósitos originados pelo desgaste, água encontrada no ar ambiente, poluentes solúveis e solventes alteradores das propriedades físicas do fluido.

Algumas técnicas devem ser utilizadas em caso de contaminação, como a análise físico-química que consegue detectar mudanças na qualidade do lubrificante através das análises da viscosidade, acidez ou alcalinidade, porcentagem de água, oxidação e seus produtos, cor, quantidade de carbono, etc.

Outro método que se mostra eficaz é o controle da taxa de contaminação, através de vários processos, entre eles:

- 1- Centrifugação: determina volume de água e sedimentos na amostra ;
- 2- Diluição: determina a quantidade de diluição de um contaminante através da vaporização com auxílio de um solvente, em seguida é feita condensação em ambiente fechado ;
- 3- Determinar a quantidade de impurezas sólidas da amostra por um óleo de filtração (óleo de retenção) ;
- 4- Cromatografia: método de separação por migração diferencial de elementos da amostra induzidos por uma corrente líquida ou gasosa e absorvidos por um meio poroso, assim, coleta-se a concentração do contaminante.

Partículas em suspensão no lubrificante podem conter valiosas informações para o responsável em manutenção do equipamento, pois, a constituição, dimensão e morfologia dessas partículas trazem padrões comportamentais das peças lubrificadas além de permitir afastar uma possível anomalia antes que seja impossível evitar a quebra da máquina.

Então, como na maioria dos casos, é simples detectar a origem das partículas em suspensão, tornando-se possível evoluir com precisão na manutenção da determinada peça. Portanto, após coletadas as partículas, analisa-se o desgaste de acordo com o tamanho das mesmas, que pode ser normal, acentuado, avançado e catastrófico.

O desgaste normal, segundo Mirshawka (1991), apresenta tamanhos de até 10  $\mu\text{m}$  e granulação entre 0,1  $\mu\text{m}$  e 1  $\mu\text{m}$ , o desgaste acentuado ocorre em máquinas funcionando em sobrecarga no qual a lubrificação é insuficiente o que ocasiona um aumento significativo no número de partículas com tamanhos entre 0,1  $\mu\text{m}$  e 1  $\mu\text{m}$ . O desgaste avançado ocorre quando o desgaste acentuado torna as avarias visíveis e o desgaste catastrófico ocorre antes da quebra.

Conclui-se que é possível acompanhar a evolução da anomalia até o defeito. Nota-se, então, que é possível impedir o crescimento do defeito estudando as partículas suspensas no óleo lubrificante da máquina.

Visto a importância dessa análise, é preciso conhecer algumas técnicas importantes no diagnóstico de desgaste, como a ferrografia e a espectrometria, Mirshawka (1991) diz:

- 1- Ferrografia: realizada com base na retirada das partículas contaminantes através de magnetismo. As partículas maiores que 0,1  $\mu\text{m}$  são formadas após pouco tempo de percurso dentro do campo magnético sendo depositadas. Seu tamanho é diminuído proporcionalmente ao tempo em movimento no campo magnético. Portanto, a ferrografia permite leitura direta para analisar o estado de um equipamento, pois avalia a concentração total de partículas de desgaste verificando a quantidade de partículas de ferro relativamente grandes.
- 2- Espectrometria: permite a determinação das concentrações de massa nos diferentes elementos presentes no fluido através de comparação com padrões de referência. Para isso, é utilizado o meio elétrico, onde átomos contidos no lubrificante são excitados que, quando voltam ao estado normal, emitem uma luminosidade que, analisada com o comportamento padrão da solução, permite determinar sua natureza e concentração. Outro método baseia-se na excitação dos elementos presentes na amostra de óleo para determinar a natureza dos elementos presentes e para medir o comprimento de onda emitida pela radiação do plasma obtido.

Então, conclui-se que um equipamento pode ter sua falha relacionada a inúmeros fatores e a preditividade nesses casos é extremamente importante, pois quando um problema surge de forma rápida é difícil solucioná-lo. Porém, no caso do desgaste, é um problema que aparece gradativamente, o que possibilita o acompanhamento do problema e sua solução.

## 2.8 Vantagens e limitações da manutenção preditiva

Vantagens :

- 1- O custo para reparar os equipamentos é menos elevado ;
- 2- Melhor gerenciamento dos materiais e peças de um equipamento ou uma linha de produção ;
- 3- Aumento da vida útil das máquinas e equipamentos ;
- 4- Limitação na aquisição de peças de reposição e diminuição dos estoque de produção ;
- 5- Melhoria significativa para a produtividade da empresa ;
- 6- Segurança no ambiente de trabalho elevada ;
- 7- Facilitação do trabalho de manutenção ;
- 8- Melhor serviço oferecido, maior credibilidade.

Limitações: A manutenção preditiva é aplicada em peças e máquinas que possuem eventuais anomalias facilmente detectáveis e medidos através de sensores de qualidade e confiáveis. Isso se aplica a máquinas em movimento (vibrações, análise do lubrificante), canalizações (através das fugas), equipamentos submetidos à temperatura ou pressão e aparelhos submetidos a deformação. A utilização da MP. está sempre vinculada às máquinas vitais para a produção, aos equipamentos que podem comprometer a segurança dos trabalhadores em caso de defeito e às máquinas que podem gerar grandes prejuízos em caso de avaria.

## 2.9 Qual a melhor escolha de manutenção?

Para melhor esclarecimento, o organograma a seguir (Fig. 10) retirado de Mirshawka (1991) mostra a escolha do tipo adequado de manutenção a se fazer. Assim, é possível relacionar as variáveis de custo e técnicas acompanhamento possíveis na hora de escolher o melhor tipo de manutenção.

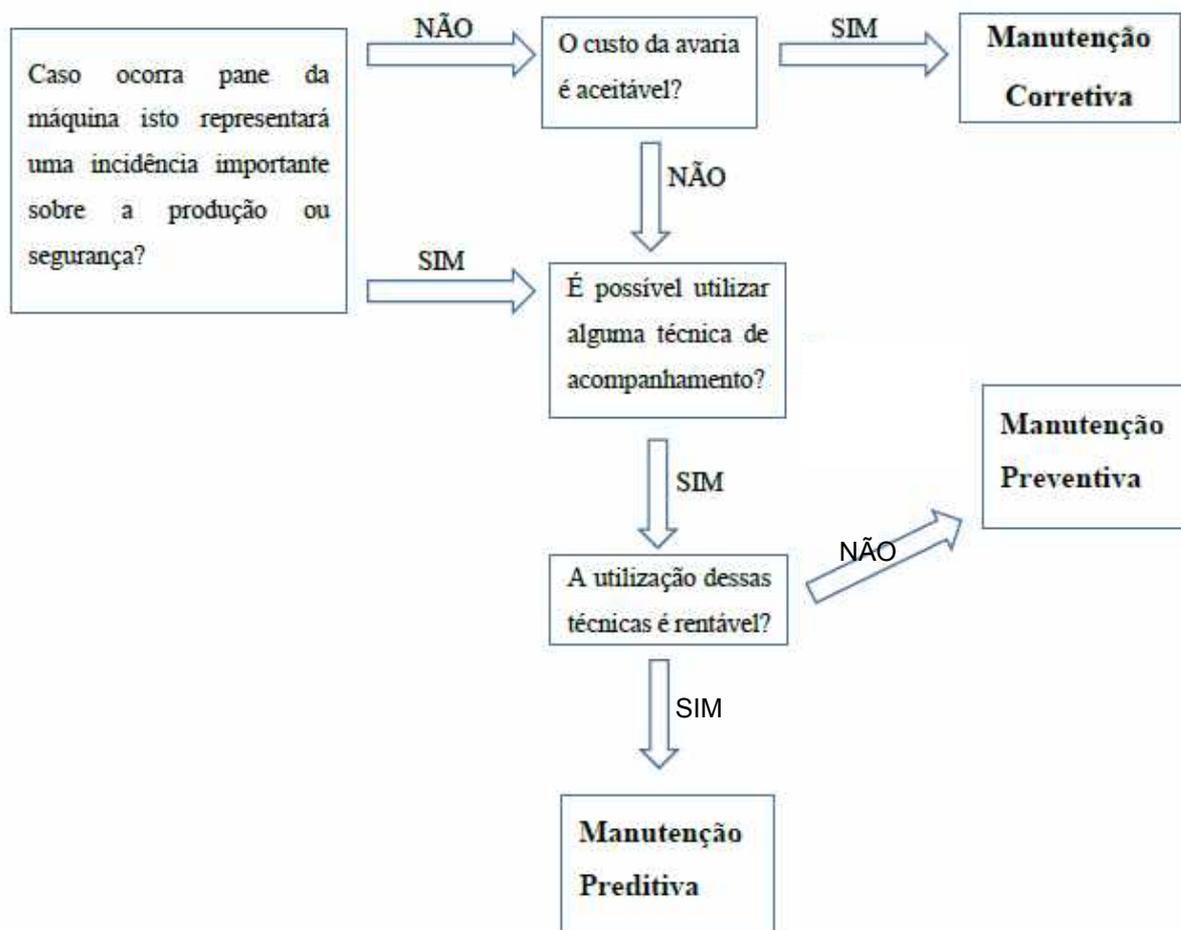


Figura 10- Organograma para escolha do tipo ideal de manutenção. Fonte: Mirshawka (1991, p. 195)

## 2.10 Confiabilidade

Segundo Bergamo Filho (1997), a confiabilidade de um equipamento consiste na probabilidade de este desempenhar de maneira adequada sua função em um determinado período de tempo e condições previamente determinadas. Este estudo pode ser tanto de um componente isolado quanto do sistema como um todo.

Então, para entender o que significa desempenho adequado, precisa-se entender o conceito de falha: corresponde a perda da função adequada de um equipamento, sendo que seu diagnóstico consiste na identificação da causa da falha, seja ela humana ou material. Podem ocorrer falhas prematuras caracterizadas pelo mal funcionamento de máquinas geralmente ocasionadas por deficiência nos projetos. Ocorrem, também, falhas inerentes ao projeto que são causadas por erro na operação da máquina ou falta de preparo na manutenção da mesma, e podem ocorrer falhas devido ao desgaste, mais associadas à idade dos componentes dos equipamentos.

A confiabilidade torna-se importante na manutenção mecânica, pois itens com alta confiança requerem menor intervenção, gerando menos custos, geram processos mais estáveis e fornecem melhores condições para suporte. Portanto, no campo da matemática, a taxa de falha é representada pela divisão do número de falhas por um determinado espaço de tempo:

$$\hat{\Lambda} = \frac{N}{T} \quad (1)$$

Assim, consegue-se identificar a confiabilidade em função da taxa de falha:

$$C(t) = e^{-\hat{\Lambda}t} \quad (2)$$

Onde  $t$  é o intervalo de tempo considerado.

Com base nessas medidas, torna-se possível estimar o tempo médio entre as falhas através de:

$$MTBF = \int_0^{\infty} C(t) dt \quad (3)$$

Onde MTBF representa o tempo médio entre as falhas.

Um dos instrumentos que melhor permitem a visualização do comportamento típico de um equipamento com relação à taxa de falhas ao longo do tempo é a chamada “curva da banheira”, ilustrada a seguir na Fig. 11:

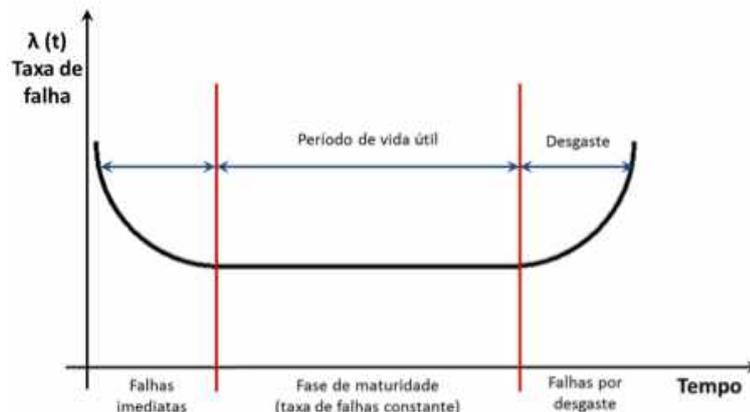


Figura 11 - Curva da banheira

O elevado índice de falhas prematuras ou falhas imediatas deve-se, principalmente, às falhas de operação de uma recém-chegada máquina (leva-se em consideração o mal preparo para execução da operação) ou falhas no projeto do equipamento. Já o aumento de falhas no fim do gráfico ilustra o desgaste natural dos componentes de um equipamento com o passar do tempo.

Portanto, conclui-se que a confiabilidade de uma determinada linha de produção é diretamente influenciada pela taxa de falha individual dos componentes existentes e da configuração do sistema.

### 2.11 Overall Equipment Effectiveness ou Eficiência Operacional Máxima (OEE)

Utilizado com ampla escala em TPM, o OEE possibilita a medição da eficiência global do equipamento, quantificando sua eficiência. A equação que define OEE, de acordo com notas de aula de Sales (2017), é representada da seguinte forma:

$$\% \text{ OEE} = \% \text{ Disponibilidade} \times \% \text{ Performance} \times \% \text{ Qualidade} \quad (4)$$

**Disponibilidade:** Reflete tudo que pode influenciar nas condições do equipamento para exercer sua função, como quebras/falhas, manutenções planejadas, falta de ordem de produção e paradas programadas (almoço, janta, etc.)

**Performance:** Relaciona a demanda de produção do equipamento com a produção real, ou seja, o fator de performance resume a quantidade de produtos demandados em plano de produção vs quantidade de produtos realmente feitos.

**Qualidade:** Reflete a quantidade produtos produzidos dentro da expectativa da equipe de Qualidade. Ou seja, subtrai-se da quantidade de produtos produzidos os refugos e quantidade de reprocesso. A Tab. 5 mostra a influência dos resultados no processo produtivo.

Tabela 5 - Influência dos valores de OEE no processo produtivo.

FAIXA (%)	CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO
< 60	Inaceitável
60 a 75	Irregular
75 a 85	Bom
>85	Ótimo

## 2.12 Distribuição de Weibull

Esta ferramenta é muito comum nas análises sobre o tempo de vida de máquinas e peças industriais, como mancais, tubos de vácuo e componentes eletrônicos, tornando-se possível determinar se a falha foi prematura, aleatória ou se ocorre devido ao desgaste.

A função que representa a distribuição de Weibull é:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t^{\beta-1}}{\eta} \right) e^{\left( -\frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad (5)$$

- $F(t)$  é a probabilidade de falha de uma amostra
- $\beta$  é o parâmetro de forma que indica a forma da curva e a característica das falhas;
- $\eta$  é a vida característica ou parâmetro de escala;
- $t$  é o tempo até a falha.

Em relação ao parâmetro  $\beta$ , temos três possibilidades:

- 1-  $\beta < 1$ : Falha prematura ou infantil
- 2-  $\beta = 1$ : Falhas aleatórias. É comum nesses casos que diferentes componentes analisados tenham diferentes idades. Além disso, pode mostrar que existem fatores externos comprometendo o desempenho, tais como uso inadequado do equipamento ou baixa qualidade na execução da manutenção.
- 3-  $\beta > 1$ : Falhas por desgaste ou senil

Abaixo, na Fig. 12, o gráfico da função densidade, mantendo o mesmo valor do parâmetro de escala, observando as variações do parâmetro de curva.

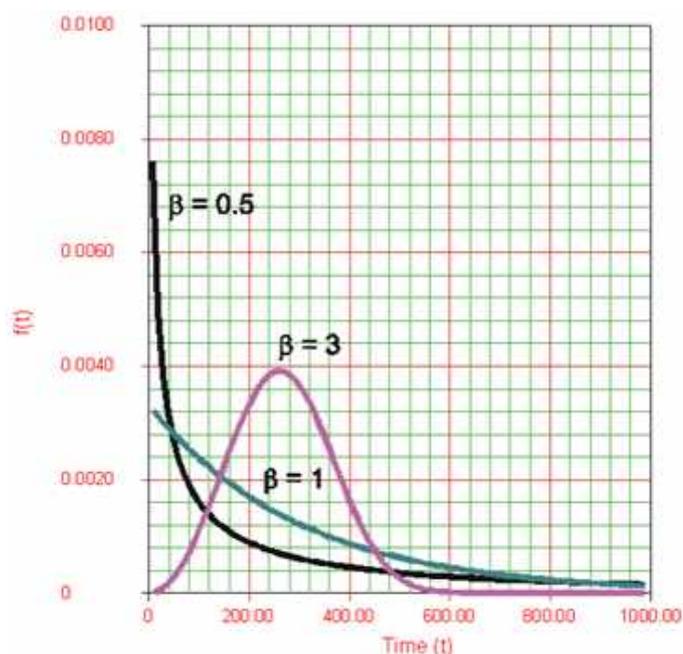


Figura 12- Gráfico densidade de Weibull. Fonte: <https://www.weibull.com/hotwire/>. Acesso 30 set. 2018

Então, sabendo-se dos conceitos de confiabilidade já citados, a equação que define confiabilidade, de acordo com os princípios de Weibull é:

$$\bullet C(t) = e^{\left(-\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (6)$$

### 2.12.1 Median Rank

Através de diversos encontros realizados com gestores da área em outras unidades da empresa, foi possível conhecer uma ferramenta da estatística de extrema importância para calcular com eficiência a distribuição de Weibull. Segundo <https://www.weibull.com/hotwire/issue104/relbasics104.htm> (acesso 30 de set. 2018), em um gráfico de probabilidade, como o gráfico de probabilidade de Weibull, os pontos representam os “não-observados, observados”, enquanto a linha reta representa os valores previstos de um modelo. No entanto, não se pode observar um valor de não confiabilidade; apenas falhas ou suspensões podem ser observadas. Os valores de confiabilidade ou falta de confiabilidade devem ser estimados a partir dos dados. Os métodos de classificação determinam a maneira como os desvios estimados estão associados aos tempos de falha. O método de classificação mediana, que é usado no Weibull ++, estima valores de não confiabilidade com base no

número da ordem de falha e na distribuição binomial cumulativa. Para acomodar dados de suspensão, é necessário ajustar a ordem de cada falha.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGIA

#### 3.1 Determinando a criticidade do equipamento

As análises seguem um procedimento de acordo com a importância de cada equipamento presente na indústria. Para isso, é estabelecido uma matriz que relaciona a criticidade e os possíveis impactos que podem afetar a operação da fábrica devido à quebra ou falha destes equipamentos.

Junto com a equipe de manutenção do frigorífico foi adotada a classificação ABC de máquinas e equipamento, pois atenderiam as auditorias que poderiam vir a ocorrer. Nesta classificação, utilizou-se os critérios de valor financeiro e quantidade de utilização do equipamento. Então, como recomenda JIPM – Japan Institute of Plant Maintenance (1995), foi definido e repassado para equipe o que significa A,B e C, como descrito na Tab 6.:

Tabela 6 - Classificação ABC de criticidade.

A	Equipamentos que ocasionam paradas no processo produtivo, reduzindo a capacidade produtiva e impactando a qualidade e custo dos produtos. Estes equipamentos necessitam atividades preventivas e preditivas de manutenção, além de inspeções diárias e análises de falhas com suporte da operação.
B	Equipamentos importantes para o processo produtivo, mas não são geradores de paradas em caso de falha. Podem ocasionar redução parcial na capacidade produtiva, mas não completa interrupção. Estes necessitam atuação preventiva e inspeções programadas através do inspetor de manutenção.
C	Equipamentos que agregam valor ao processo produtivo, mas não causam transtorno em caso de falha. São facilmente substituídos e podem sofrer ações preventivas e corretivas.

Como a geração de vapor é essencial no processo produtivo, pois é responsável por fornecer calor na etapa de escaldagem, que irá amolecer a pele do frango, facilitando a etapa de depenagem, a caldeira é vista como um equipamento classe A.

Como mencionado, as análises de vibração são baseadas em estudo de frequências obtidos em testes. Estes resultados serão divididos em níveis de alarmes internacionalmente dispostos por coloração, como mostra a Tab. 7.

Tabela 7 - Legenda dos Níveis de Alarme. Fonte.

	BOM ESTADO – CONDIÇÕES NORMAIS DE VIBRAÇÃO
	ALARME 1 – INÍCIO DE FALHAS. ACOMPANHAR EVOLUÇÃO DAS VIBRAÇÕES
	ALARME 2 – FALHA GRAVE. INTERVIR RAPIDAMENTE E ELABORAR PROGRAMAÇÃO DE MANUTENÇÃO
	ALTO RISCO – FALHA CRÍTICA. INTERVIR URGENTEMENTE. SEM CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO

## 3.2 Parâmetros de análise de vibração

### 3.2.1 Velocidade RMS

Média quadrática da medida de velocidade em função da frequência de vibração. O valor RMS indica que está acontecendo um aumento de energia do sinal, podendo ser ocasionado por uma eventual falha, como retrado na Fig. 16.

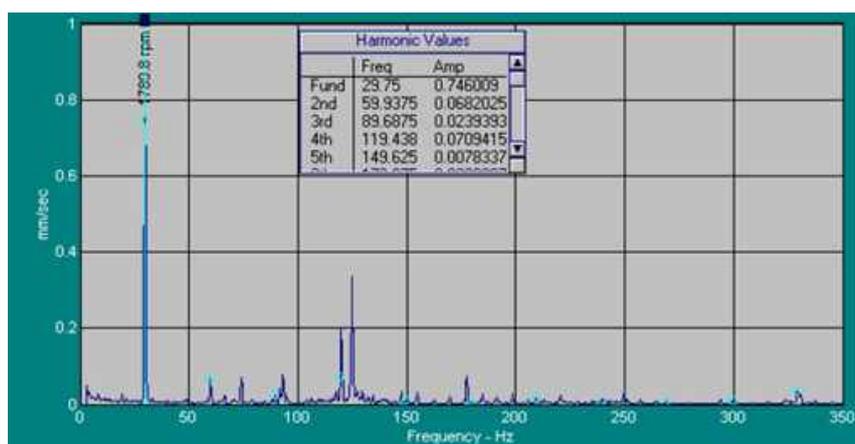


Figura 13 - Parâmetro de análise velocidade RMS. Fonte: Software Prism4

### 3.2.2 Envelope

Este parâmetro torna-se útil para indentificar falhas mecânicas que geram choques. É medida em uma faixa filtrada, evitando modulações por frequências fora desta faixa. Observa-se que existem várias componentes vibrando em diferentes frequências no mesmo período

de tempo fazendo com que estas vibrações se somem e subtraem, formando um espectro em função da amplitude, como representado na Fig. 17.

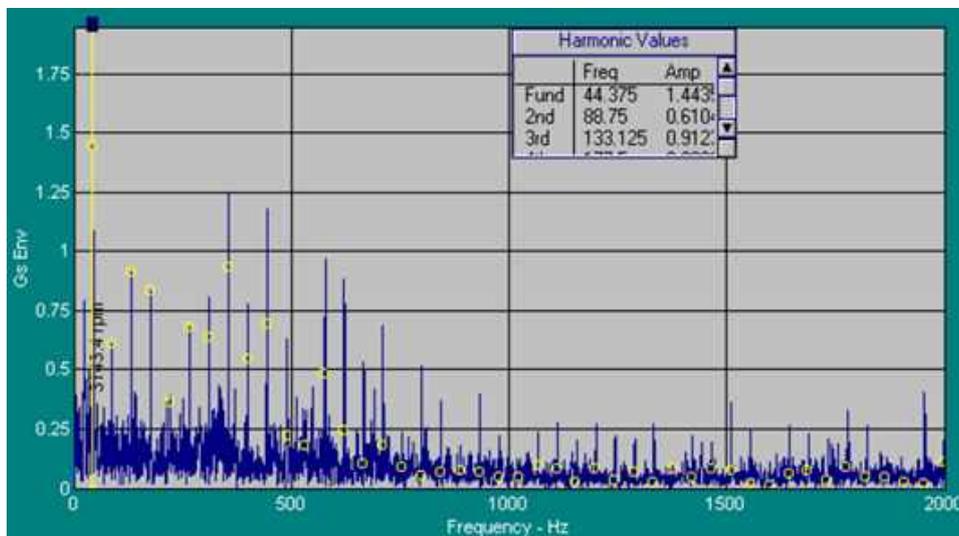


Figura 14 - Parâmetro de análise envelope de aceleração. Fonte: Software Prism4

### 3.2.3 Velocidade/aceleração pico a pico

Indica o percurso máximo da onda, ou seja, amplitude total da vibração, como mostra a Fig. 18.

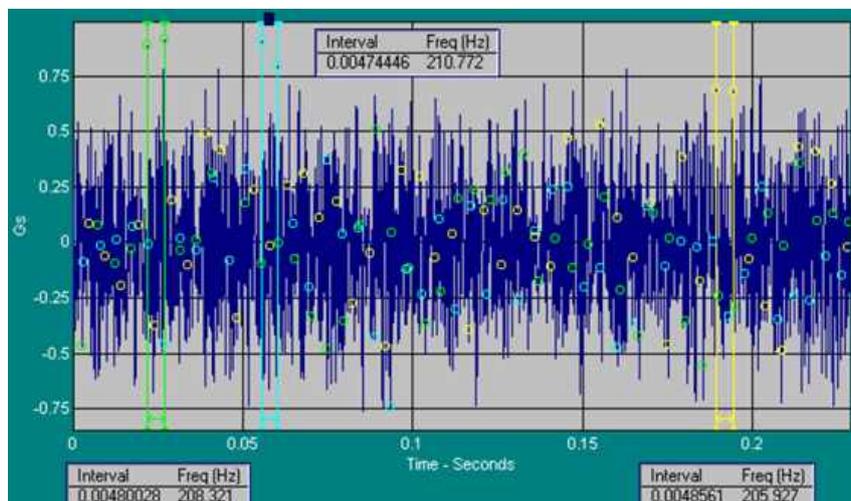


Figura 15 - Parâmetro de análise velocidade/aceleração pico a pico. Fonte: Prism4

### 3.3 Locais e posições das medições

- 1- Posição horizontal no mancal ;
- 2- Posição vertical no mancal ;
- 3- Posição axial no mancal.

### 3.4 Parâmetro situacional dos equipamentos

Como definido no subcapítulo 3.1 através da definição dos níveis de alarme, podemos definir os parâmetros de avaliação dos estados do equipamento, na qual, segundo a ISO 10816, de acordo com a classe do equipamento, pode-se definir o estado de funcionamento do mesmo.

Tabela 8 - Parâmetro de avaliação do estado do equipamento. Fonte ISO 10816

GRAVIDADE DE VIBRAÇÃO PELA ISO 10816						
Velocidade de vibração $V_{rms}$	Máquina		CLASSE I: máquinas pequenas	CLASSE II: máquinas médias	CLASSE III: grandes fundações rígidas	CLASSE IV: grandes fundações dúcteis
	in/s	mm/s				
	0,01	0,28				
	0,02	0,45			<b>Bom</b>	
	0,03	0,71			<b>Funcionamento</b>	
	0,04	1,12				
	0,07	1,80				
	0,11	2,80			<b>Satisfatório</b>	
	0,18	4,50				
	0,28	7,10			<b>Insatisfatório</b>	
	0,44	11,20				
	0,70	18,00				
	0,71	28,00			<b>Inaceitável</b>	
	1,10	45,00				

### 3.5 Plano de ação

Na situação da análise de vibração mostrar um diagnóstico insatisfatório do equipamento, detectando possibilidade de falhas graves, necessidade rápida de intervenção e elaboração de uma programação de manutenção efetiva, faz-se necessário a elaboração de um plano de ação para melhorar a performance da bomba de reposição da caldeira e da própria caldeira como um todo.

Além disso, corroboram à essa conclusão uma classificação irregular no processo produtivo da caldeira no cálculo da OEE e a análise Weibull detectando falhas por desgaste no funcionamento da bomba de reposição, bem como a probabilidade de quase 100% do equipamento vir a falhar em pouco tempo. Será exposto neste trabalho a primeira parte do plano de ação, correspondente ao planejamento do mesmo.

### 3.5.1 Conhecimento do processo

#### 3.5.1.1 Fluxograma do processo frigorífico

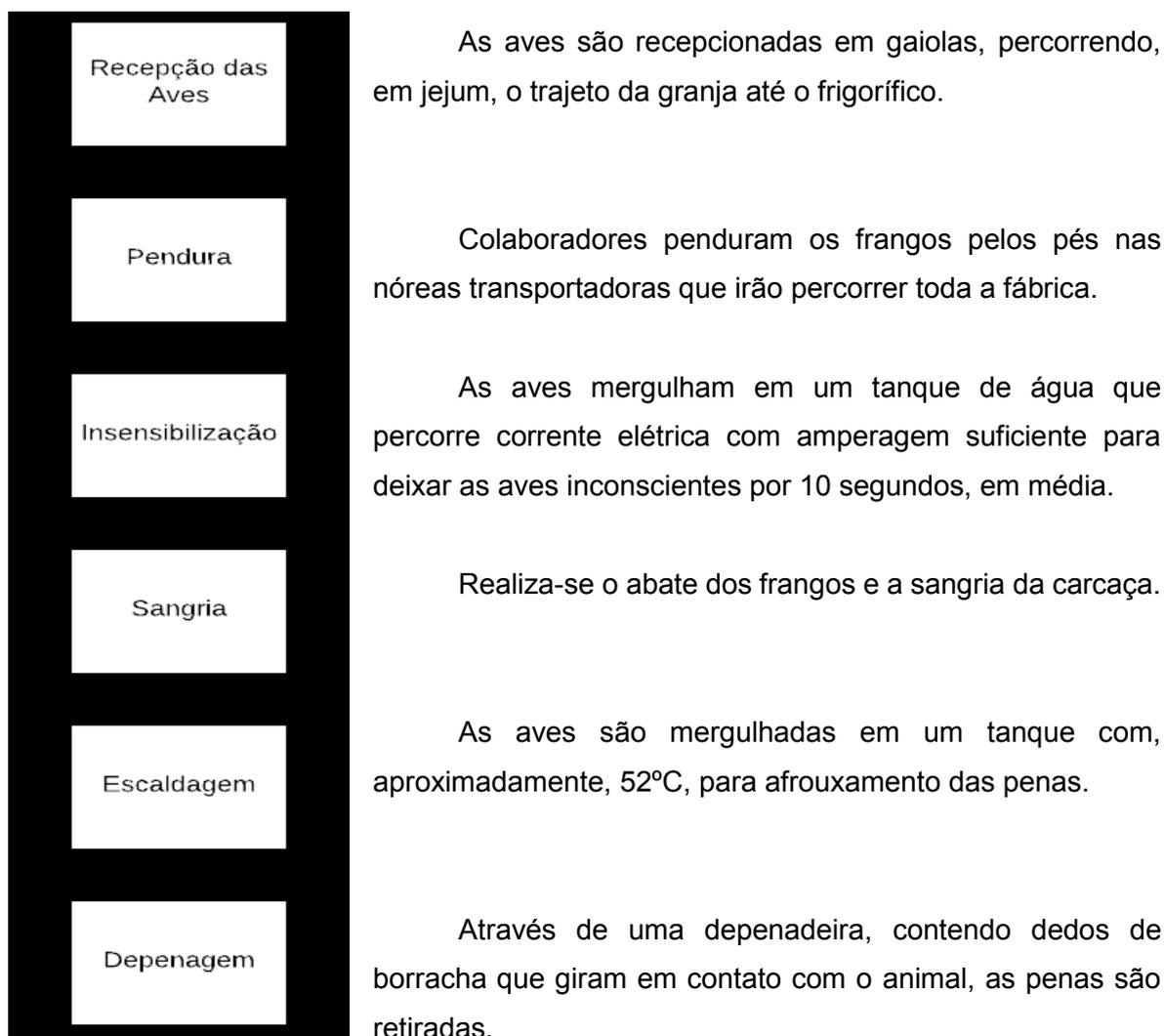


Figura 16 - Etapas iniciais do processo de um frigorífico de frangos. Fonte: Lucid chart

É na etapa de escaldagem que a caldeira é essencial para o processo, pois os tanques de escalda necessitam do vapor gerado para aquecer a água até a temperatura desejada.

Se não houver calor suficiente, não ocorrerá o afrouxamento das penas, ocasionando a não retirada das mesmas na próxima etapa, fazendo com que o produto seja sub aproveitado ou até mesmo descartado. Por outro lado, se houver uma temperatura maior que a desejada, ocorrerá a escalda excessiva, gerando cozinhamento da ave, o que é extremamente não desejável e gera o descarte do frango.



Caso o Serviço de Inspeção Federal (SIF) não retire frangos do processo por encontrar penas, escaldas excessivas e hematomas, o restante do processo segue como o fluxograma abaixo.

Ocorre o corte de pescoço e traqueia, retirada da cloaca, abertura do abdômen, inspeção sanitária e retirada das vísceras.

As carcaças quentes da evisceração são imersas em um tanque de água com, aproximadamente, 12°C por cerca de 10 minutos.

Por cerca de 50 minutos, em uma temperatura de 2°C e quantidade de água de 2 litros por carcaça, encerra-se o processo de resfriamento.

É necessário que a água na superfície da ave seja expelida, para que não comprometa a pesagem do produto.

Existem mercados que consomem o frango Griller, que é frango inteiro com diferentes pesos. Caso a demanda seja de cortes de frango, a carcaça é direcionada para a sala de cortes.

O produto é embalado e etiquetado. Depois é feito o apontamento para controlar a quantidade de produtos e se a embalagem confere com o conteúdo.

O produto é estocado em um túnel de congelamento para preservar sua integridade saindo do processo com, aproximadamente, -35°C. Produto será armazenado ou expedido.

Figura 17 - Restante do processo de um frigorífico de aves. Fonte: Lucid Chart

### 3.5.2 Identificar problema e meta

#### 3.5.2.1 Indicadores

Não havia controle dos indicadores prévios para manutenção da bomba de reposição da caldeira. Porém, consultando o histórico de manutenções corretivas, foi constatado que a intervenção necessária para reparos do equipamento era feita a cada 112,43 dias, como será apresentado em 4.1.2. Portanto, através do brainstorm com a equipe, estipulou-se que a meta a ser atingida seria de uma manutenção corretiva a cada 365 dias.

#### 3.5.2.2 GUT

Tabela 9 - Matriz GUT aplicada.

PROBLEMA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	G+U+T	RANKING
Parada de produção devido a problemas na intervenção da alimentação de vapor	5	5	5	15	1
Baixo controle documentado para manutenções na caldeira	5	4	4	13	2
Baixo número de colaboradores para realização das atividades de manutenção	4	3	3	10	3
Excesso de intervenções na bomba de reposição	4	3	3	10	3

#### 3.5.3 Observar e priorizar problema

Portanto, pode-se observar que o bom funcionamento da caldeira afeta diretamente o fluxo produtivo da fábrica. Assim, qualquer tipo de parada é extremamente prejudicial. Então, com base nas anotações coletadas pelos colaboradores, foi possível coletar alguns dados do

ano de 2017 até junho de 2018 que ocasionaram em paradas de produção devido a falta de alimentação de vapor na fábrica.

### 3.5.3.1 Diagrama de Pareto

Tabela 10 - Frequência com que ocorrem paradas de produção devido a produção de vapor.

Problema	Frequência das Ocorrências	%Ocorrência	%Acumulado
Intervenção corretiva em componentes da caldeira	4	40%	40%
Excesso de temperatura nos tanques de escalda	3	30%	70%
Falta de lenha	1	10%	80%
Auditoria	1	10%	90%
Falta de energia	1	10%	100%

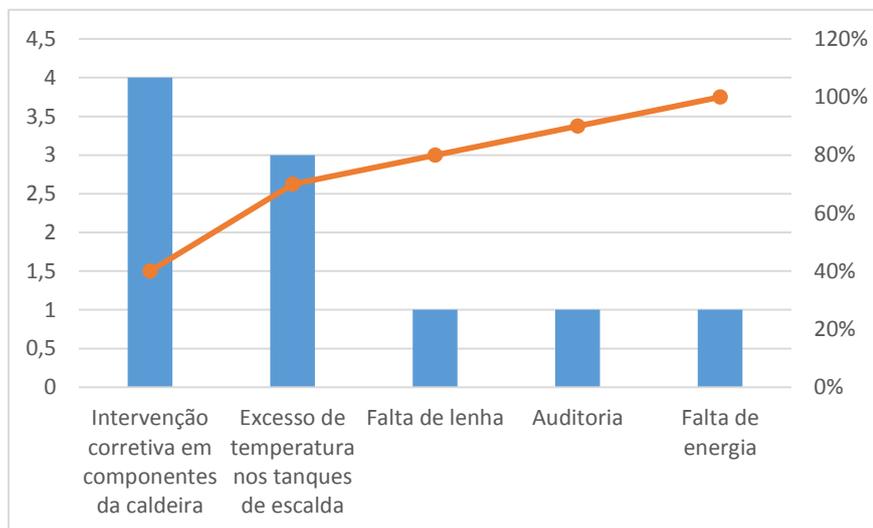


Figura 18 - Diagrama de Pareto aplicado.

Conclui-se que as intervenções nos componentes da caldeira e o excesso de temperatura são os maiores causadores de paradas de produção relacionados ao fornecimento de vapor.

### 3.5.4 Identificar e priorizar causas

Priorizado o problema, analisa-se as principais causas do mesmo através do diagrama de Ishikawa (Fig. 22).

### 3.5.4.1 Diagrama de Ishikawa



Figura 19 - Diagrama de Ishikawa aplicado.

### 3.5.5 Elaboração do plano de ação

Contemplando todas as necessidades identificadas e priorizadas, torna-se possível elaborar um plano de ação com base no 5W2H. A equipe de manutenção foi devidamente ouvida e participou ativamente do debate que ajudou na construção deste plano de ação.

#### 3.5.5.1 5W2H

Tabela 11 - Aplicação do 5W2H.

O QUE FAZER? (WHAT?)	POR QUE FAZER? (WHY?)	QUEM FARÁ? (WHO?)	QUANDO SERÁ FEITO? (WHEN?)	ONDE SERÁ FEITO? (WHERE?)	COMO SERÁ FEITO? (HOW?)	QUANTO CUSTARÁ? (HOW MUCH?)
Introduzir o método KANBAN para inspeção de rota e manutenção na caldeira	Para controlar o fluxo de evolução das tarefas e facilitar a cobrança de prazos	Supervisor de manutenção	01/09/2018	Área externa da caldeira	Aquisição de um quadro e divisão deste entre pendências, trabalho em andamento e trabalhos concluídos	R\$ 0,00 Será utilizado quadro de outro setor que está sem uso
Elaborar planilha detalhada de falha na caldeira	Para saber exatamente os tipos, causas e momento exato das falhas	Supervisor de manutenção	01/09/2018	Sala PCM	Planilha de excel com as colunas local da falha, causa, hora, duração da falha e operador responsável	R\$ 0,00

Escolher líderes para os setores que envolvem a manutenção	Pois existe apenas um supervisor para caldeira, subproduto e manutenção interna	Supervisor de manutenção	08/09/2018	Setor Manutenção	Supervisor de manutenção irá nomear líderes para cada setor que vão ter mais autonomia para resolver problemas	R\$ 0,00
Contratar 2 mantenedores	Para permitir que certos colaboradores tenham atividades consideradas críticas como exclusivas	Coordenador de recursos humanos	30/10/2018	Recursos Humanos	Negociar com recursos humanos corporativo e, depois, recrutar as pessoas	R\$2500,00/mês
Treinar análise sistêmica dos colaboradores da manutenção	Para que saibam os impactos de suas atividades na produção como um todo	Supervisores de produção	09/09/2018	Sala de reuniões	Apresentação e debate entre líderes da produção e colaboradores da manutenção	R\$ 0,00
Estudo sobre prioridade de troca de equipamentos na caldeira	Para que os componentes obsoletos sejam priorizados na hora de substituir	Supervisor de manutenção	01/10/2018	Caldeira	Levantar lista dos equipamentos menos eficientes	R\$ 0,00
Colocar responsável da manutenção para monitorar e registrar entrada de lenha	Evitando a divergência entre recebido e utilizado, não gerando desperdício e sobrecarga	Supervisor de manutenção	01/09/2018	Portaria	Colocar colaborador da manutenção para acompanhar o recebimento do carregamento de lenha	R\$ 0,00

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4.1 Weibull

Para desenvolver o cálculo de Weibull, foram utilizadas ferramentas da estatística e o Excel 2010. A utilização em conjunto dessas duas ferramentas possibilitou o desenvolvimento dos cálculos que serão mostrados a seguir .

##### 4.1.1 Amostragem

Para realização deste estudo, foram coletadas 7 amostras de manutenção corretiva com ênfase nos mancais da bomba de reposição da caldeira entre o ano de 2015 até março de 2018 com base no controle pessoal de colaboradores da equipe de manutenção do frigorífico. Na Tab. 12, estão relacionados a essas amostragens o tempo entre cada atividade de correção, onde foi constatado que a cada 112,43 dias, em média, ocorre uma manutenção corretiva.

Tabela 12 - Intervalo entre as atividades de manutenção corretivas na bomba de reposição.

Amostragens	Tempo até a falha (dias)
1	174
2	115
3	132
4	93
5	78
6	124
7	82

##### 4.1.2 Desenvolvimento

De posse das amostras, foi feita uma reorganização da Tab. 12 colocando em ordem crescente os valores do intervalo de dias entre cada falha e ranqueá-los, como mostrado na Tab. 13:

Tabela 13 - Ordem crescente dos valores de dias entre cada intervalo de falha.

Valores crescentes dos tempos de falha	Ranque
78	1
82	2
93	3
115	4
124	5
132	6
174	7

Feito isso, utiliza-se um conceito da estatística chamado *Median Rank* ou parâmetro de estimativa, utilizado para calcular a probabilidade de falha. Sua fórmula pode ser representada por :

$$\mathbf{Median\ Rank} = \frac{\mathbf{Rank} - 0,3}{\mathbf{Nf} + 0,4} \quad (7)$$

Onde,

- Rank é o valor do ranque em que a medida ocupa na ordem crescente dos intervalos entre as falhas ;
- Nf é o número de amostras.

Portanto, para a referida amostragem, os resultados encontrados na Tab. 14.

Tabela 14 - Median Rank

Valores crescentes dos tempos de falha	Ranque	<i>Median Rank</i>
78	1	0,094594595
82	2	0,22972973
93	3	0,364864865
115	4	0,5
124	5	0,635135135
132	6	0,77027027
174	7	0,905405405

Agora torna-se possível adicionar novas colunas à Tab. 13 utilizando as fórmulas indicadas em cada coluna que fornecerão valores utilizados em uma posterior regressão linear, como indicado na Tab. 15.

Tabela 15 - Expansão da Tab. 9 com novas equações utilizando o Median Rank.

	Valores crescentes dos tempos de falha	Rank	Median Rank	$1/(1-\text{Median Rank})$	$\ln\{\ln[1/(1-\text{Median Rank})]\}$	$\ln[\text{Tempo até a falha}]$
14	78	1	0,094594595	1,104477612	-2,308880127	4,356708827
15	82	2	0,22972973	1,298245614	-1,343181902	4,406719247
16	93	3	0,364864885	1,574468085	-0,789839834	4,532599493
17	115	4	0,5	2	-0,366512921	4,744932128
18	124	5	0,635135135	2,740740741	0,00819456	4,820281566
19	132	6	0,77027027	4,352941176	0,385841654	4,882801923
20	174	7	0,905405405	10,57142857	0,85787951	5,159055299

Depois, será utilizada a ferramenta Análise de Dados, que se encontra na aba Dados.



Figura 20 - Análise de Dados no Excel. Fonte: Excel 2010

Ao clicar nessa ferramenta, será selecionado a opção Regressão, para ser possível realizar uma regressão linear com os dados obtidos (Fig. 24).

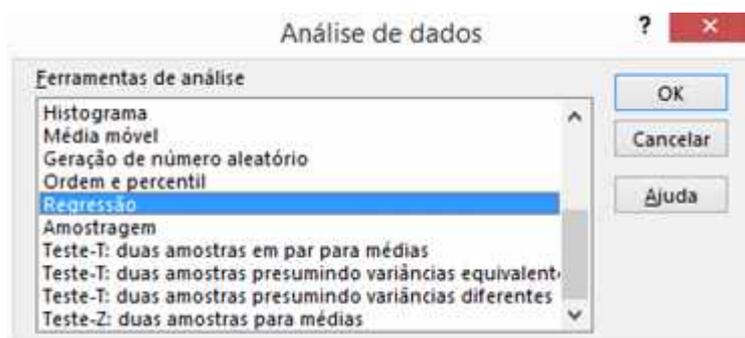


Figura 21 - Opções fornecidas pela ferramenta Análise de Dados. Fonte: Excel 2010

Será utilizada a opção Regressão como mostrado (Fig. 25).

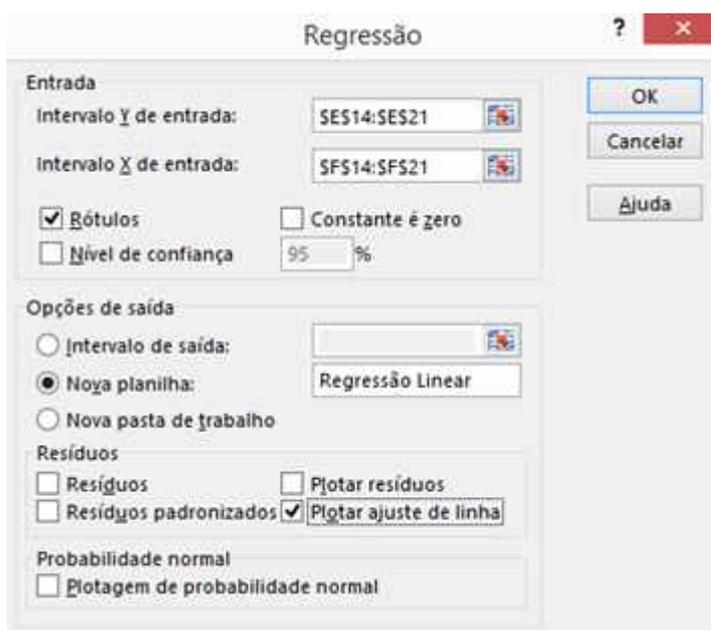


Figura 22 - Configuração utilizada para a regressão linear. Fonte: Excel 2010

Onde o Intervalo Y de Entrada será preenchido com a coluna dos valores resultantes da expressão  $\text{Ln}\{\text{Ln}[1/(1-\text{Median Rank})]\}$ , incluindo o título da coluna.

Já o Intervalo X de Entrada será preenchido com a coluna dos valores resultantes da expressão  $\text{Ln}(\text{Tempo de Falha})$ , incluindo o título da coluna.

Após clicar em OK, o Excel irá automaticamente gerar uma nova planilha contendo dados estatísticos calculados e o gráfico de regressão. Neste caso, os valores gerados estão apresentados nas Fig. 26 e Fig. 27:

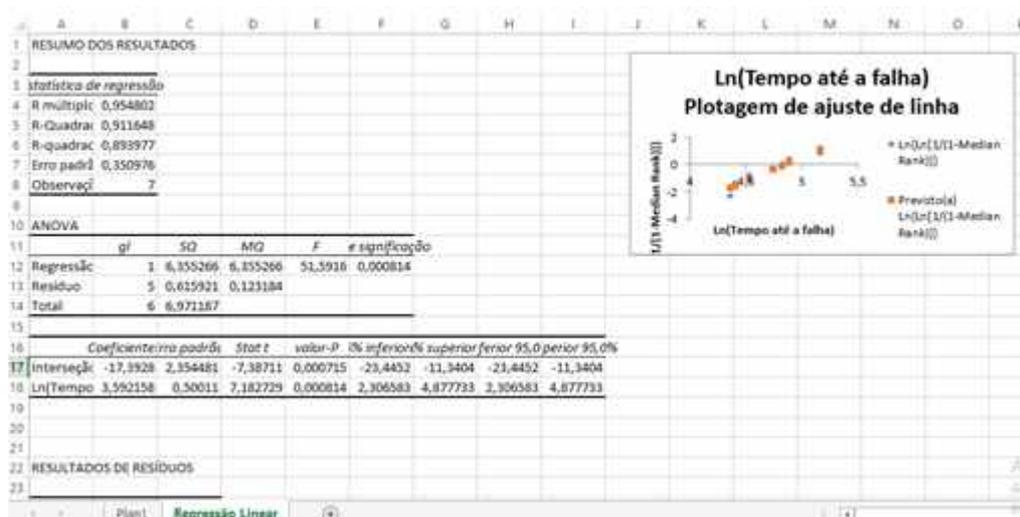


Figura 23 - Dados estatísticos e gráfico de regressão. Fonte: Excel 2010

Observação	Ln(1/1-M)	Resíduos
1	-1,74282	-0,56606
2	-1,56317	0,21599
3	-1,11099	0,321151
4	-0,34826	-0,01825
5	-0,07759	0,085785
6	0,146992	0,23885
7	1,139338	-0,29146

Figura 24 - Continuação dos dados estatísticos. Fonte: Excel 2010

Assim, podemos encontrar o valor de alfa e beta.

- Beta encontra-se na célula B18 da Fig. 28.
- Eta é encontrado através da expressão: 
$$Et a = \exp \frac{-b17}{b18} \quad (8)$$

	Coefficiente	erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferior	95% superior	inferior 95,0%	superior 95,0%
17	Interseção	-17,3928	2,354481	-7,38711	0,000715	-23,4452	-11,3404	-23,4452 -11,3404
18	Ln(Tempo)	3,592158	0,50011	7,182729	0,000814	2,306583	4,877733	2,306583 4,877733
19	beta	3,592158						
20	Eta	126,7075						

Figura 25- Valores de eta e beta. Fonte: Excel 2010

Como pode ser observado, temos  $\beta > 1$ , ou seja, uma falha senil, caracterizando uma falha por desgaste. O parâmetro  $\eta$  mostra uma estimativa que os mancais da bomba sobreviverão por mais 126,7 dias, necessitando manutenção em pouco mais de 4 meses.

Após encontrar os parâmetros, é necessário encontrar a função probabilidade de falha e confiabilidade. Para isso, é necessário estipular 7 intervalos (mesmo número de amostragens) de qualquer valor desde que englobe o maior valor presente nas amostras (Tab. 16). Neste caso, utilizaremos intervalos no valor de 25 dias (note que após 7 amostras, o valor de 174, que responde ao valor máximo de dias na Tab. 12, está englobado).

Tabela 16 - Intervalos estipulado entre falhas

Tempo até a falha (dias)
25
50
75
100
125
150
175

Pode-se determinar  $f(t)$  através do comando Weibull do Excel:

- =Weibull (“Tempo até a falha (dias)”;  $\beta$ ;  $\eta$ ; VERDADEIRO) (9)

E encontra-se a confiabilidade  $R(t)$  através da expressão

- $C(t)' = 1 - f(t)$  (10)

Portanto, tem-se as probabilidades mostradas na Tab. 14.

Tabela 17 - Probabilidade de falha e confiabilidade.

Tempo até a falha (dias)	f(t)	R(t)
25	0,002933491	0,997066509
50	0,034809605	0,965190395
75	0,14103395	0,85896605
100	0,347722102	0,652277898
125	0,614197826	0,385802174
150	0,840136071	0,159863929
175	0,958815318	0,041184682

Ou seja, a probabilidade de acontecer alguma falha no período de 25 dias na bomba de reposição, principalmente nos mancais da bomba, é de 0,29%. Já em 175 dias, as chances de falha são de quase 96%, como mostra Fig. 29.

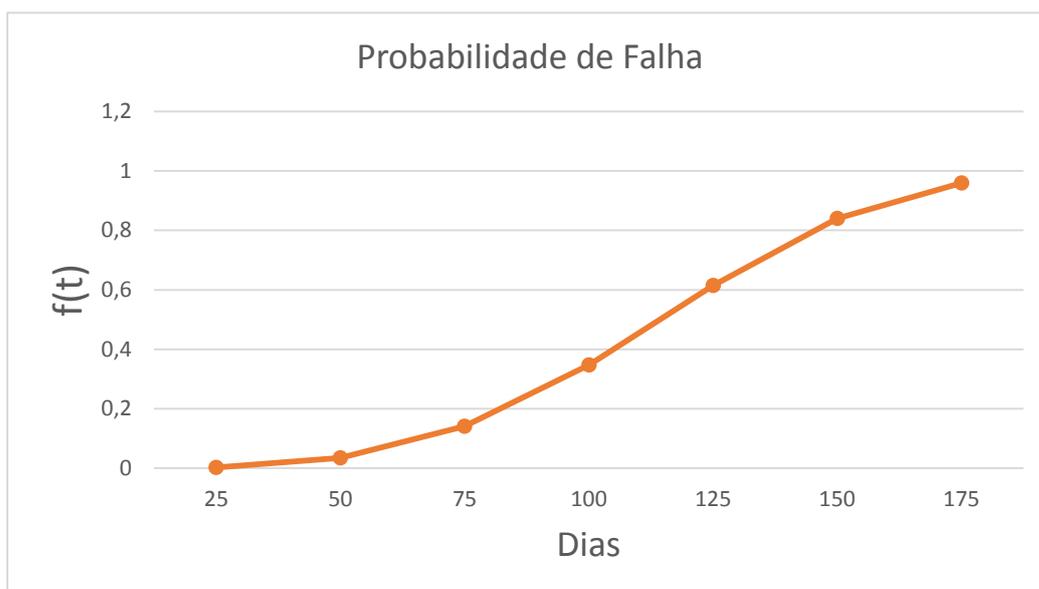


Figura 26 - Gráfico da probabilidade de falha

Assim, pode-se observar que a confiança no funcionamento ideal da bomba se aproximará de zero em um intervalo próximo de 150 dias, como mostrado na Fig.30. Reforçando a importância de iniciar uma gestão com planejamento e controle da manutenção, pois dados como este não podem ficar fora do controle de um gestor.

Observa-se, também, que, nas condições estudadas, pode-se confiar no perfeito funcionamento do equipamento apenas nos 25 dias iniciais.

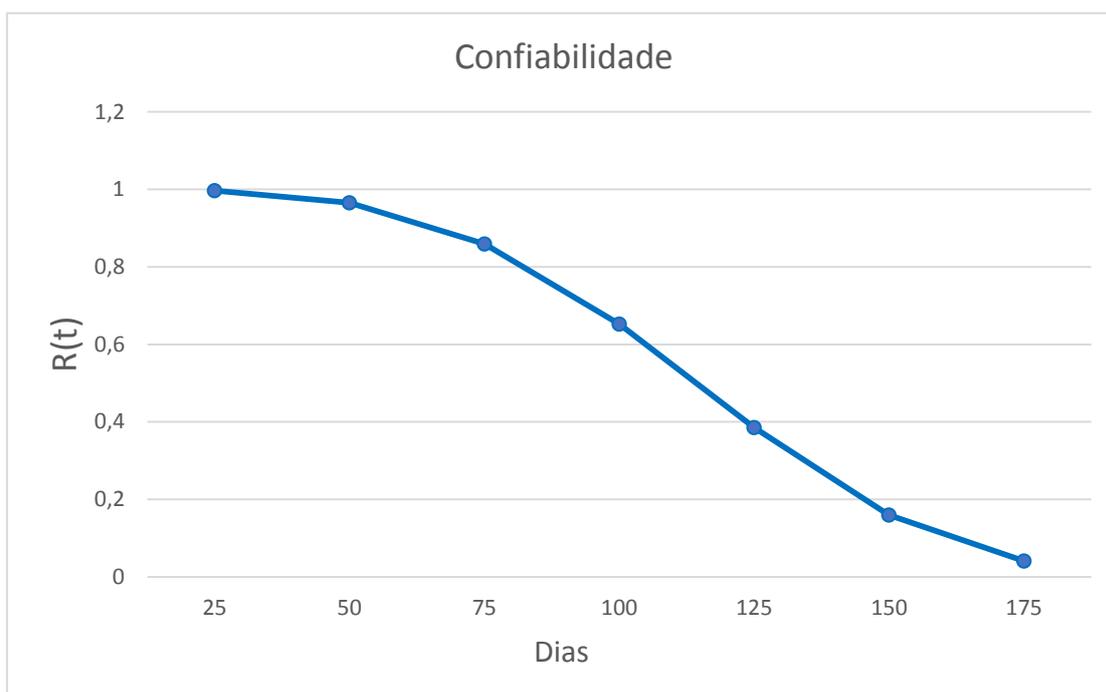


Figura 27 - Gráfico da Confiabilidade

## 4.2 Análise de vibração

Foram analisados dois mancais da bomba utilizando acelerômetros piezelétricos, que consistiam em sensores de contato que mediram a aceleração absoluta dos componentes estáticos das máquinas aos quais foram fixados.



Figura 28 - Acelerômetro

O acelerômetro piezométrico tem a função de converter energia mecânica em energia elétrica usando a aceleração do movimento de vibração para gerar uma tensão elétrica proporcional. Isso é possível graças ao cristal piezométrico, que proporciona uma carga elétrica proporcional em resposta à aceleração registrada.

Através do registro do acelerômetro, pode-se verificar o nível de vibração da bomba de reposição da caldeira em mm/s (Fig. 32).

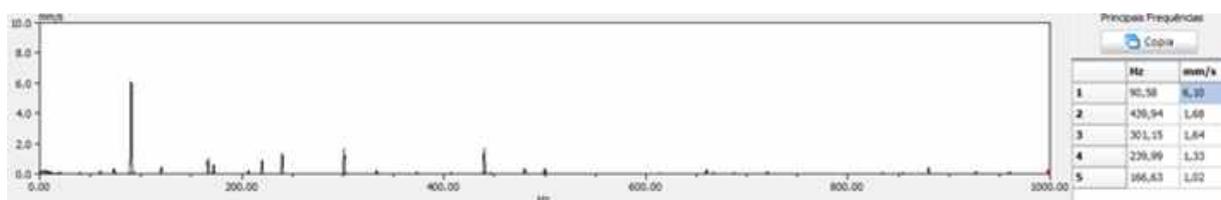


Figura 29 - Nível de vibração dos mancais da bomba de reposição da caldeira em mm/s. Fonte: SDAV 2017

Observa-se um valor global de 6,10 mm/s RMS no parâmetro velocidade com frequência caracterizando desalinhamento e desbalanceamento. Já utilizando o parâmetro envelope de aceleração, tem-se os dados apresentados na Fig. 33, mostrando, em escala Gs proporcional à aceleração da gravidade, valor global de 0,5 Gs, caracterizando problemas nos mancais.

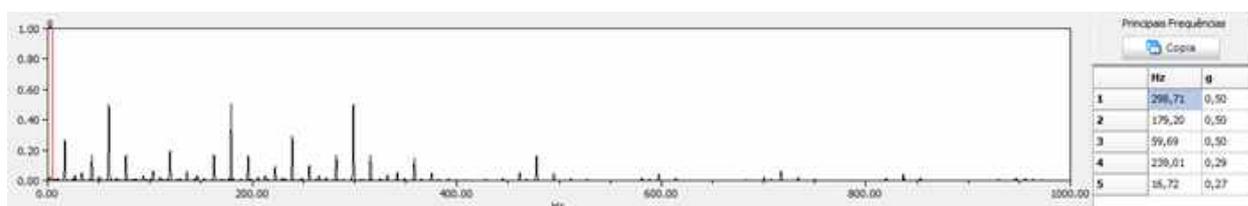


Figura 30 - Envelopes de aceleração em Gs

#### 4.2.1 Diagnóstico

Portanto, de acordo com a Tab. 6, o estudo foi realizado em uma área crucial para o desenvolvimento da área produtiva, que é o setor de geração de vapor, caracterizando todos seus equipamentos como sendo de criticidade A. Já analisando o parâmetro situacional dos equipamentos na Tab. 8, conclui-se que a bomba de reposição da caldeira é da classe 2 por se tratar de uma máquina de tamanho médio.

Na Fig. 33, observa-se que existem mais de um componente vibrando em diferentes frequências no mesmo período de tempo. Além disso, tem-se uma aceleração pico a pico de 0,5 Gs, caracterizando um alto valor para a amplitude total da vibração.

Na Fig. 32, nota-se que ocorre um aumento de energia do sinal, mostrando indícios de falhas. Confrontando o valor de 6,10 mm/s com a Tab. 8, temos que a velocidade de vibração da bomba de reposição possui um status alarmante, como mostra o diagnóstico na Tab. 18.

Tabela 18 - Diagnóstico da análise de vibração na bomba de reposição.

ÁREA	EQUIPAMENTO	CLASSE	VELOCIDADE (MM/S)	STATUS
CALDEIRA	BOMBA DE REPOSIÇÃO DA CALDEIRA	2	6,1	ALARME 2

### 4.3 OEE da caldeira

#### 4.3.1 Definindo a disponibilidade

Sabe-se, que no frigorífico, existe produção durante 16,96 horas por dia e que este trabalho baseia-se no período em que a fábrica esteja ativa. Então, durante o intervalo de tempo analisado, concluiu-se que o equipamento apresentou 932,8 horas disponíveis.

Porém, ocorreram as seguintes paradas apresentadas na Tab. 19.

Tabela 19 - Paradas da caldeira durante o período analisado

DATA	MOTIVO	HORAS DE PARALISAÇÃO
Período analisado neste trabalho	Vazamento de água	3
	Vazamento de amônia	12,7
	Falta de Produção	2,55
	Indisponibilidades da manutenção	47,63

Logo, o tempo real de funcionamento foi de :

Tempo de funcionamento real =  $932,8 - 3 - 12,7 - 2,55 - 47,63 = 866,92$  horas

Portanto, a disponibilidade é :

Disponibilidade =  $866,92 / 932,8 = 0,9294 = 92,94\%$

Logo, percebe-se que existe uma lacuna de 7,06% para melhorar o indicador.

#### 4.3.2 Definindo a performance

No final do dia, é contabilizada a performance da fábrica através das toneladas produzidas (TPA), que representa o valor expedido. Na análise feita para este trabalho, a média registrada foi de 198 680 kg. No mesmo período, observou-se um consumo médio diário de 72,5 toneladas de vapor. Assim, a métrica para registrar o consumo de vapor é :

$$\text{Consumo de vapor} = \left( \frac{\text{Ton de Vapor}}{TPA} \right) * 1000 \quad (10)$$

Portanto, o consumo de vapor é de 0,3649 ton/TPA. Segundo registros da equipe de manutenção, sabe-se que é possível atingir 0,3125, bem como é a meta estipulada pela equipe, logo, observa-se uma lacuna de 0,0524 ton/TPA. Conclui-se, então, que o equipamento opera 83,23% do ideal.

#### 4.3.3 Definindo a qualidade

Durante o período observado, constatou-se uma média 3,31% de perdas na linha em relação ao que era estimado pela equipe de manutenção para uma pressão de linha de 42 kgf/cm<sup>2</sup>. Então, define-se a qualidade em 96,69%.

#### 4.3.4 Cálculo da OEE

Como visto na eq. 2.11, tem-se :

$$\text{OEE} = 0,9294 \times 0,8323 \times 0,9669 = 0,7479 = 74,79\%$$

Portanto, como definido em 2.12, o diagnóstico do equipamento em relação à sua classificação no processo produtivo é irregular e apresenta baixa competitividade no mercado. Deixando claro, portanto, a necessidade de melhorar a gestão do setor para que a performance volte a ser excelente.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES

Escolhido a área de estudo, era necessário justificar a razão de se implantar um plano de ação visando melhorias de gestão. Assim, três análises foram feitas: uma análise de Weibull para determinar o intervalo de tempo entre cada falha, uma análise de vibração para obtenção de um diagnóstico de falha, se era necessária intervenção rápida ou não e o cálculo de OEE para constatar que, realmente, a caldeira não estava apresentando um rendimento aceitável.

Antes de começar as análises foi necessário um reforço teórico para que os conceitos e particularidades da manutenção preditiva fossem aplicados da forma correta. Além disso, a teoria de gestão torna-se obrigatória para fazer o bom controle dos dados obtidos nas atividades de manutenção e para agir de forma mais eficaz em circunstâncias anormais que podem acontecer no ambiente fabril. Por isso, realizou-se uma extensa e detalhada revisão bibliográfica buscando introduzir de forma eficiente o estudo da manutenção e da gestão e como esses dois itens estão correlacionados.

A análise de Weibull permitiu diagnosticar que o tempo entre as falhas da bomba de reposição seria curto e que sua confiabilidade não era boa. Assim, foi concluído que as atividades corretivas no equipamento seriam frequentes, tornando-se necessário um plano elaborado de inspeções de rota de manutenção. Pode-se, então, constatar que não seria possível confiar na operação ideal da bomba após 150 dias de uso, podendo apenas ter o excelente funcionamento nos primeiros 25 dias.

As condições de baixa confiabilidade reforçaram a necessidade de analisar o funcionamento da bomba e seus componentes, o que possibilitou utilizar um dos pilares da manutenção preditiva: a análise de vibração. O diagnóstico extraído de um sinal de 6,10 mm/s e 0,5 Gs mostrou componentes vibrando em diferentes frequências e valores alarmantes de vibração para a classe do equipamento segundo a ISO 10816, caracterizando necessidade de intervenção em médio prazo.

O cálculo de OEE mostrou a necessidade de um plano de ação voltado para a manutenção sendo o setor de geração de vapor escolhido como objeto de estudo. O baixo

rendimento da área e seus impactos na produção foi o último fator que decretou a necessidade de mobilizar a equipe e implantar um plano de ação eficiente e com baixo custo.

Portanto, durante a confecção deste trabalho, ficou claro a importância de gestão e manutenção estarem sempre juntas. Mas, quando se fala de gestão, não se trata apenas de planilhas e quadros de controle, é necessário ter uma equipe alinhada com seu gestor e sempre motivada para atingir os melhores resultados. Logo, a responsabilidade de um líder de manutenção não é apenas dominar o conhecimento técnico, mas saber se conectar com seus colaboradores e formar novas lideranças para o futuro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 10.082: Vibração mecânica de máquinas com velocidades de operação de 600 a 15000 RPM - bases para especificação e padrões de avaliação. Rio de Janeiro, 2011. 9p.

ABNT. NBR 7.497: Vibrações mecânicas e choques. Rio de Janeiro, 1982. 35p.

BERGAMO FILHO, VALENTINO. Confiabilidade Básica e Prática, 108 pgs, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 1997

Documentos confidenciais de uma empresa

HENN, ÉRICO ANTÔNIO LOPES. Máquinas de Fluido. 2 Ed. UFSM, 2006

[http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec\\_NOTURNO/TM364/Material%20de%20Aula/Aula%20de%20caldeiras.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM364/Material%20de%20Aula/Aula%20de%20caldeiras.pdf). Acesso 2 nov. 2018

<http://sites.poli.usp.br/d/pme2237/lab/pme2237-ri-bombas-site.pdf>. Acesso 20 nov. 2018

<http://www.usdabrazil.org.br/pt-br/reports/poultry-and-products-annual-report-2018.pdf>. Acesso 10 nov. 2018

<https://www.weibull.com/hotwire/issue104/relbasics104.htm> Acesso 30 set. 2018

ISO 10816 Mechanical vibration -- Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts.

ISO 20816-1: Mechanical vibration -- Measurement and evaluation of machine vibration, 2016.

JAPAN INSTITUTE FOR PLANT MAINTENANCE (JIPM).600 Forms Manual.Japan, 1995.

MIRSHAWKA, VITOR. Manutenção Preditiva: caminho para zero defeitos. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991.

NAKAJIMA, SEIICHI. Introdução ao TPM-Total Productive Maintenance. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda., 1989.

PETERSON CARLOS ÂNGELO, Comparativo entre métricas de confiabilidade para bombas centrífugas aplicadas na indústria de celulose, UTFPR, 2015.

Sales, Wisley Falco. Curso de Manutenção para bacharelado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Uberlândia. 2017. Notas de Aula.