



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA  
(IFBA), CAMPUS JEQUIÉ**

Eduardo Pereira da Silva

**IMPLEMENTAÇÃO DE INSPEÇÃO SENSITIVA INSTRUMENTALIZADA EM  
GRUPO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS DE UMA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA.**

Jequié-BA

2024

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA  
(IFBA), CAMPUS JEQUIÉ**

Eduardo Pereira da Silva

**IMPLEMENTAÇÃO DE INSPEÇÃO SENSITIVA INSTRUMENTALIZADA EM  
GRUPO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS DE UMA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA.**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - Campus Jequié, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico..

Professor Orientador: Me. Fabiano Borges

Jequié-BA

2024

## RESUMO

No ambiente industrial, as falhas nos equipamentos mecânicos têm implicações negativas que vão além da própria falha, podendo resultar em acidentes de trabalho, paradas de produção, perda de produtos, baixa eficiência produtiva e retrabalho. Nesse sentido, para se manterem competitivas no mercado, mesmo com recursos limitados para manutenções preditivas, é fundamental que as indústrias em desenvolvimento busquem alternativas na engenharia de manutenção. Dessa forma, podem ser aplicadas técnicas de manutenção capazes de reduzir o impacto das falhas mecânicas e evitar as consequências indesejadas para a produção, a manutenção e a segurança do trabalho. Por isso, o presente trabalho objetivou, a partir de rotinas de inspeções simples e sensoriais, aferir a eficácia da aplicação do método de manutenção sensitiva instrumentalizada em um grupo de bombas centrífugas do processo produtivo de uma indústria alimentícia. Para alcançar esse objetivo, foi utilizada uma metodologia de pesquisa exploratória, realizando um estudo experimental a partir de verificações diárias de parâmetros qualitativos e quantitativos dos equipamentos analisados no estudo. Sendo assim, os dados foram coletados a partir de ensaios sensoriais utilizando tato, audição e visão para identificação de vibração, de ruído e de vazamentos, respectivamente, além da termografia para aferição do parâmetro temperatura. Por fim, concluiu-se que a aplicação do método de manutenção sensitiva instrumentalizada é relevante dentre os métodos de manutenção, sendo possível sua aplicação com o intuito de acompanhar a condição dos equipamentos, evitando dessa forma paradas inesperadas para manutenção corretiva, gerando assim disponibilidade para o processo produtivo.

**Palavras-chave:** Manutenção, preditiva, Manutenção sensitiva, Confiabilidade, Inspeção

## **ABSTRACT**

In the industrial environment, failures in mechanical equipment have negative implications that go beyond the failure itself, potentially resulting in workplace accidents, production stoppages, product loss, low production efficiency, and rework. In this context, for developing companies to remain competitive in the market, even with limited resources for predictive maintenance, it is essential for industries to seek alternatives in maintenance engineering. Thus, maintenance techniques can be applied to reduce the impact of mechanical failures and avoid undesirable consequences for production, maintenance, and workplace safety. Therefore, this article aimed to assess the effectiveness of applying the instrumented sensory maintenance method to a group of centrifugal pumps in the production process of a food industry, based on simple and sensory inspection routines. To achieve this objective, an exploratory research methodology was used, conducting an experimental study through daily verifications of qualitative and quantitative parameters of the equipment analyzed in the study. Data were collected through sensory tests using touch, hearing, and sight to identify vibration, noise, and leaks, respectively, as well as thermography to measure the temperature parameter. Finally, it was concluded that the application of the instrumented sensory maintenance method is effective, being feasible for reducing the number of failures and improving maintenance indicators, thus generating reliability and availability for the production process.

Keywords: Maintenance, predictive , Sensory maintenance, Reliability, Inspection

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2. OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.FALHAS EM MOTORES ELÉTRICOS.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.INSPEÇÃO PREDITIVA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.4.ANÁLISE DE RUÍDO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.5.TERMOGRAFIA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.6.ANÁLISE DE VIBRAÇÕES.....</b>	<b>17</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>19</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>26</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>27</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Fornecer disponibilidade para o conjunto de máquinas e equipamentos responsáveis pelo funcionamento de uma indústria é um dos maiores desafios atuais da engenharia de manutenção. Como definição, essa especialidade da engenharia é responsável pela garantia da operação dos diversas máquinas e equipamentos de forma eficiente.

Neste contexto, os estudos sobre manutenibilidade, termo utilizado pela engenharia de manutenção, remontam a época da primeira revolução industrial e objetivam otimizar os processos e produtos, desde o projeto inicial até o descarte, perpassando pelo execução da manutenção. Nesta perspectiva histórica, de acordo com Viana (2022), para que as indústrias

Tenham condições de sobrevivência em tal contexto, é preciso que seus meios de produção se armem de tecnologia de ponta, excelentes recursos humanos, programas consistentes de qualidade, produtos competitivos e também um eficaz plano de manutenção dos instrumentos de produção.

Viana (2022), assim como outros autores, observa que são três os principais métodos de manutenção: corretiva, preventiva e preditiva que, quando aliadas e bem executadas, tornam a manutenção industrial verdadeiramente eficiente. Desse modo, a escolha de qual, ou quais, tipos de manutenção serão utilizados na linha produtiva estará sujeita a diversos parâmetros, tais como custos e prazos de implementação e operação.

Eventualmente os processos de manutenção são realizados de forma somente corretiva, ou seja, diante a parada das máquinas por falha, inicia-se o diagnóstico, provisionamento e execução da manutenção. Entretanto, tal imprevisibilidade ocasiona consequências negativas que vão além somente das falhas, podendo resultar em acidentes, paradas de produção e baixo índice de disponibilidade dos ativos. "Desta forma a manutenção não pode se limitar a apenas corrigir problemas cotidianos, mas deve perseguir sempre a melhoria constante, tendo como norte o aproveitamento máximo dos instrumentos de produção, aliado ao zero defeito" (VIANA, 2022).

A partir disso, desenvolveram-se as inspeções preditivas, que utilizam de equipamentos de aferição capazes de identificar pequenas irregularidades no

funcionamento das máquinas a partir das vibrações, micro-trincas, superaquecimento e fadiga do lubrificante. "Manutenção preditiva pode ser definida como qualquer atividade de monitoramento que seja capaz de fornecer dados suficientes para uma análise de tendências, emissão de diagnóstico e tomada de decisão" (KARDEC et al.,2002apud Pinto, 2008)).

Desse modo, para as indústrias se manterem competitivas no mercado atual é essencial que os processos de manutenção sejam eficazes para promover a possibilidade de funcionamento dos processos produtivos. Sendo assim, a aplicação dos mais modernos métodos de manutenção como a inspeção preditiva se faz necessário, no entanto, diante ao cenário de poucos recursos para implementação das inspeções sofisticadas, as manutenções corretivas encontram espaço na gestão de manutenção. Desse modo, o presente trabalho propõe o projeto de utilização da manutenção sensitiva instrumentalizada para identificar falhas iminentes no conjunto de bombas centrífugas e motores elétricos de uma linha de produção industrial.

"A manutenção preditiva (que pode utilizar sensoriamento remoto, análise de vibrações, termografia e outras técnicas), quando viável, deve ser escolhida, pois ela permite que reparos e substituições de peças sejam feitos exatamente quando necessários"(Fogliato and Ribeiro, 2009).

A inspeção sensitiva instrumentalizada define-se a partir da manutenção preditiva, esta por sua vez utiliza-se primordialmente dos recursos humanos da equipe de manutenção, os técnicos experientes ao visualizarem, ouvirem e tatearem os equipamentos conseguem identificar anormalidades e iminência de falhas. Desse modo é possível com poucos recurso eliminar o risco de falhas inesperadas dos equipamentos. "Já em relação a atividades preditivas, algumas dependem de observação visual ou tátil, ou do uso de instrumentos simples (como um termômetro) e podem ser apropriadamente realizadas pelo pessoal de manutenção" (Fogliato and Ribeiro, 2009).

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como intuito aferir a eficácia da aplicação do método de inspeção sensitiva instrumentalizada para melhoria dos indicativos de manutenção industrial a partir da sua aplicação e experimentação em um grupo de bombas

centrífugas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Dessa forma, para alcançar o objetivo proposto, foi executado três principais etapas de projeto: -Realizar estudo dos parâmetros das motobombas centrífugas juntamente com a criação da rotina de inspeção;

Acompanhar a coleta de dados sensoriais e elaborar o *dashboard* para o banco de dados;

Analisar os dados encontrados em estudo e definir o plano de ação corretiva para atingir a melhora dos indicadores de manutenção.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

E nesta seção será discutido os principais modos de falhas dos motores de indução, como também as técnicas de inspeção e as respectivas adaptações para os métodos sensível, por fim será elaborado as ferramentas de gestão para aplicação e controle da manutenção.

Vale salientar que para execução da inspeção sensível em motores de indução elétrica, é orientado pelas normas de segurança a obrigatoriedade da realização da análise de risco antes da intervenção.

"Em todas as intervenções em instalações elétricas devem ser adotadas medidas preventivas de controle do risco elétrico e de outros riscos adicionais, mediante técnicas de análise de risco, de forma a garantir a segurança e a saúde no trabalho." NR-10 (2019).

Desse modo, o inspetor deve sempre verificar possíveis fugas de corrente elétrica para a estrutura do motor, essa verificação por sua vez já faz parte da verificação da condição da máquina.

### **2.1 TIPOS DE MANUTENÇÕES**

A forma mais simples de pensar manutenção é através da manutenção corretiva que, segundo a NBR 5462 (ABNT, 1994), é "efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida". Sendo assim, a aplicação da manutenção corretiva gera imprevisibilidade ao processo, ocasionando altos custos e transtornos por parada das linhas de produção.

Numa perspectiva mais elaborada, surge a manutenção preventiva, que se resume a "todo serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em

falha, estando com isto em condições operacionais ou em estado de zero defeito" (VIANA, 2022). Este método, por sua vez, adiciona ao sistema altos índices de confiabilidade, entretanto ocasiona a elevação dos custos de manutenção pela execução definida pelo tempo de operação.

As tarefas "que visam acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramento, por medições ou por controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha" (VIANA, 2022) são classificadas como manutenção preditiva, caracterizada como uma evolução das anteriores. A forma de pensar manutenção eficientemente é aplicando o método preditivo, este permite ao sistema manter bons indicadores ao passo que evita a realização de manutenções com excessiva antecedência, evitando assim desperdícios com materiais e mão-de-obra.

Conforme a norma Brasileira ABNT-NBR5462 (1994), manutenção preditiva pode ser definida como o tipo de manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem para reduzir a um mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

## 2.2 FALHAS EM MOTORES ELÉTRICOS

Com o intuito de identificar quais as principais avarias e falhas detectadas em motores de indução elétrica, foi realizado um estudo pela organização *Motor Reability Working Group* com o quantitativo de 1141 motores com mais de 200 CV, no qual foi registrado 360 falhas, desse modo o quadro 1 evidencia os principais componentes propícios a falhas.

**Quadro 1** - Número de falha por componente.

<b>COMPONENTE</b>	<b>N ° DE FALHAS</b>
Rolamento	166
Estator	97
Rotor	13
Eixo	19
Dispositivo externo	18
Outros	67

Fonte: Adaptado de Leme et al.(2017)

A partir dos dados apresentados é possível definir quais componentes críticos para os motores elétricos e quais necessitam de intensificação nas intervenções de manutenção, de modo que, o quadro 2 evidencia quais as principais análises serão necessárias para identificar as falhas previamente.

**Quadro 2** - Número de falha por componente.

<b>INICIADOR DA FALHA.</b>	<b>PERCENTUAL</b>
Ruptura mecânica	33,1%
Superaquecimento	13,2 %
Quebra de isolamento	12,3%
Falha elétrica	7,6 %
Outros	33,4 %

Fonte: Adaptado de Leme et al.(2017).

As rupturas mecânicas de modo geral podem ser percebidas pelo surgimento de vibrações e ruídos característicos em decorrência a desalinhamentos, desgaste mecânico, folga dos elementos de fixação e entre outros, resultando em sintomas de falhas. "O funcionamento anormal da máquina resulta normalmente num barulho característico de elevadas frequências, que pode levar à identificação da falha derivada de problemas elétricos e mecânicos" (Araújo, 2015). Dessa forma, no período que antecede a falha dos motores elétricos por avaria mecânica é notório o

aumento do ruído por conta do atrito e desgaste dos componentes.

Segundo Araújo (2015), "as falhas com origem nos rolamentos resultam numa excessiva vibração do motor dependendo da sua geometria e velocidade de rotação", sendo possível, desse modo, aplicar técnicas de inspeção de vibração para detectar a tendência do equipamento à falha.

Por conseguinte, temos que as análises preditivas se fazem cruciais para evitar a indisponibilidade dos motores, falhas e paradas de produção, sendo assim temos que a preditiva de vibrações.

É a técnica de monitorização mais antiga no meio industrial, sendo essencialmente útil na identificação de presença de falhas de origem mecânica no motor, como desalinhamentos, rolamentos defeituosos ou excentricidades nos rotores. Também prevê alguma informação de problemas elétricos e no conjunto eletromecânico como no entreferro e no estator (Araújo, 2015).

Por fim, temos que o segundo componente crítico para o processo de produção é o estator, sendo que 13,2% das falhas potenciais se localizam em sobreaquecimento, danificando dessa forma a embobinamento e isolamento do motor. Araújo (2015) observa que "a monitorização da temperatura na carcaça do motor também é um método que pode ser utilizado, pois permite detectar aquecimentos localizados em zonas específicas".

### **2.3 INSPEÇÃO PREDITIVA**

A inspeção sensitiva instrumentalizada têm os mesmos objetivos da verificação preditiva, identificar a partir do comportamento das máquinas, indícios de falhas mecânicas e elétricas, para que seja possível a intervenção de manutenção no tempo hábil. Desse modo, cada verificação sensitiva terá sua respectiva técnica na preditiva.

"Existem quatro técnicas preditivas, bastante usadas nas indústrias nacionais que optaram por um programa desta envergadura; são elas: Ensaio por Ultra-som; Análise de vibrações mecânicas, verificação do ruído acústico e Termografia" (Viana, 2022).

Os principais métodos de detecção para identificar as falhas de um motor elétrico são listados a seguir (ZHONGMING;BIN, 2000, apud LEME et al., 2017).

- Medição do ruído acústico.
- Medição de temperatura e infravermelho.
- Monitoramento de vibração.

## 2.4 ANÁLISE DE RUÍDO

A verificação da condição ruidosa do equipamento transcende a quantificação do ruído, tendo em vista que o próprio processo de bombeamento gera ruído em decorrência da vazão do fluido. A partir disso é interessante analisar barulhos característicos de falhas nos rolamentos, conforme a quadro 3 a fabricante de rolamentos NSK descreve os possíveis modos de falha com base na característica que a condição ruidosa que o equipamento apresenta.

**Quadro 3** - Causas e contramedidas.

Irregularidades		Possíveis causas	Contramedidas
Ruído	Alto Som Metálico	Carga anormal	Corrigir o ajuste, estudar a folga do rolamento, ajustar a pré-carga, corrigir a posição do encosto no alojamento, etc.
		Instalação incorreta	Melhorar o método de instalação, melhorar a posição na instalação e a precisão de usinagem do eixo e alojamento.
		Lubrificante em falta ou inadequado	Relubrificar, selecionar um lubrificante adequado.
		Contato indevido das partes girantes	Corrigir a parte em contato como, por exemplo, nos anéis de labirinto.
	Alto Som Constante	Impressões, oxidação ou escoriações na pista	Substituir o rolamento, limpar as peças conjugadas, melhorar o sistema de vedação, usar lubrificante limpo.
		Cavidade	Substituir o rolamento, tomar cuidado no manuseio.
		Escamamento	Substituir o rolamento.
	Som Inconstante	Jogo excessivo	Estudar a folga do rolamento e o ajuste, corrigir a pré-carga.
		Penetração de partículas estranhas	Estudar a substituição do rolamento, limpar as peças conjugadas, melhorar o sistema de vedação, usar lubrificante limpo.
Escamamento nas esferas		Substituir o rolamento.	

**Fonte:** Bearing Doctor (NSK, 2001)

## 2.5 TERMOGRAFIA

Amaral (2014), indica que "a termografia permite verificar as temperaturas dos objetos, sem contacto físico com este, através da emissão de radiação infravermelha". Desse modo, as análises termográficas têm como intuito identificar pontos quentes e temperaturas excessivas em componentes mecânicos, sendo assim, para motores elétricos é conhecido que haverá aquecimento durante sua operação, entretanto espera-se que essa temperatura se estabilize conforme o padrão estimado do projeto do motor.

Neste contexto, é possível identificar sobrecargas e avarias nos componentes do motor a partir do excesso de calor emitido pelo equipamento. Com a finalidade de evitar os danos causados pelo aquecimento excessivo, conforme descrito nos manuais da fabricante "Dentre todos os fatores, o mais importante é, sem dúvida a temperatura de trabalho dos materiais isolantes empregados, um aumento de 8 a 10 graus na temperatura da isolação reduz a vida útil do motor pela metade." (Gonçalez et al., 2012).

Por conseguinte, aplicando a metodologia de inspeção sensitiva é possível a partir da irradiação e condução térmica ao se aproximar e tocar da carcaça dos motores identificar pequenas variações de temperatura. Pode-se também utilizar como padrão de verificação as tabelas de classificação de isolação térmica em motores elétricos conforme descrito na ABNT-NBR 7094 (2003), As classes de isolamento utilizadas em máquinas elétricas e os respectivos limites de temperatura conforme listados no quadro 4:

**Quadro 4** - Classificação dos isolamentos dos motores elétricos.

<b>Classificação</b>	<b>Temperatura</b>
Classe A	105°C
Classe E	120°C
Classe B	130°C
Classe F	155°C
Classe H	180°C

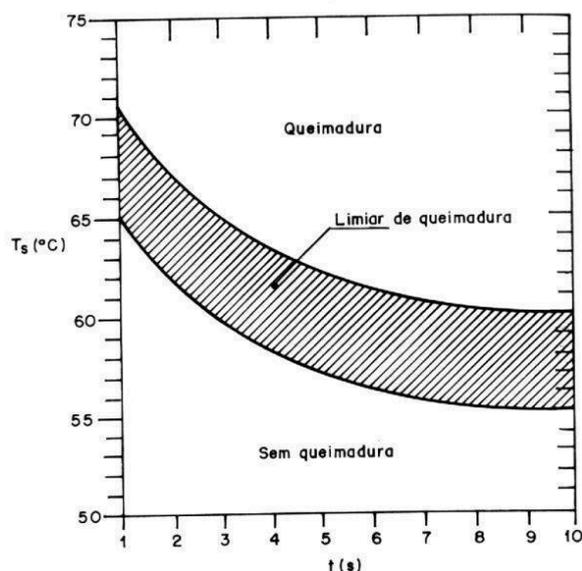
Fonte: NBR13970 (ABNT, 1997)

Dessa forma, percebe-se que de modo geral as temperaturas limite do isolamento dos motores elétricos são altas e ultrapassam a temperatura suportável pelo tato da mão humana conforme descrito na ABNT-NBR 13970 (1997), que traz como passivo de queimadura o toque em metais acima de 70°C, a figura 1 demonstra a relação temperatura e tempo de contato para uma queimadura em potencial.

Contudo, observa-se na bibliografia a importância da aferição e acompanhamento da temperatura das máquinas. "A temperatura é uma referência de entendimento simples. O monitoramento de sua variação permite descobrir

mudanças no estado dos maquinários, das peças e do próprio processo” (KARDEC;NASCIF, 2009, apud HENRIQUE e ALVES, 2021). É necessário orientar neste trabalho que as aferições sejam realizadas mesmo que com instrumentos simples como termômetros de infravermelho a laser conforme ilustrado abaixo na figura 2:

**Figura 1** - Temperatura de risco de queimadura.



Fonte: ABNT (NBR13970, 1997)

**Figura 2** - Termômetro infravermelho IR.



Fonte: Catálogo (Fluke, s.d)

## 2.6 ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

A vibração mecânica é uma oscilação em torno de uma posição de referência.[...] Ela se constitui frequentemente em um processo destrutivo, ocasionando falhas nos elementos de máquinas por fadiga, ou seja, diminuição gradual da resistência de um material por efeito de sollicitações repetidas(Viana, 2022).

Nas indústrias, a análise de vibrações é executada a partir da utilização de sensores, sejam eles fixos aos componentes, gerando assim o monitoramento constante da condição dos motores, ou móveis como instrumentos de inspeção. Sendo assim, o aparelho mais conhecido é o acelerômetro medidor de vibração, capaz de identificar variações na frequência de rotação e picos de ondas.

A ABNT-NBR 10082 (1987) descreve as classes de equipamentos e determina a severidade da vibração com base nas faixas de frequência identificadas na inspeção

conforme quadro 5. Contudo, o presente estudo não utilizará das faixas quantitativas, mas sim da escala de condição, sendo A: bom, B: aceitável, C: severo e D: crítico.

**Quadro 5** - Faixas de severidade de vibração.

Faixas de Severidade de Vibração		Avaliação da qualidade para Classes diferentes de Máquinas			
Faixa	Velocidade nos limites (mm/s)	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
0,28	0,28	A	A	A	A
0,45	0,45	A	A	A	A
0,71	0,71	A	A	A	A
1,12	1,12	B	A	A	A
1,8	1,8	B	B	A	A
2,8	2,8	C	B	B	A
4,5	4,5	C	C	B	B
7,1	7,1	D	C	C	B
11,2	11,2	D	D	C	C
18	18	D	D	D	C
28	28	D	D	D	D
45	45	D	D	D	D
71	acima de 45	D	D	D	D

Fonte: ABNT (NBR 10082, 1987)

### 3 METODOLOGIA

O estudo foi elaborado a partir de uma metodologia de pesquisa exploratória, realizando também um estudo experimental a partir da inspeção em um conjunto de equipamentos de uma indústria do segmento alimentício.

**Figura 3** - Conjunto de motobombas.



Fonte: Própria (Autor,2024)

Primeiramente, foi realizada uma análise bibliográfica dos principais escritos da engenharia de manutenção, com o intuito de validar o objetivo geral do trabalho, aferindo a possibilidade de aplicar eficientemente a verificação sensível como alternativa às inspeções preditivas em bombas centrífuga movidas a partir de motores de indução elétrica. Desse modo, buscou-se estudar os principais ensaios não destrutivos de análise e as respectivas mudanças para a técnica de manutenção sensível. Dessa maneira, a bibliografia consultada conta com escritos de referência no ramo da engenharia de manutenção, a exemplo de Viana (2022) e Pinto (2008).

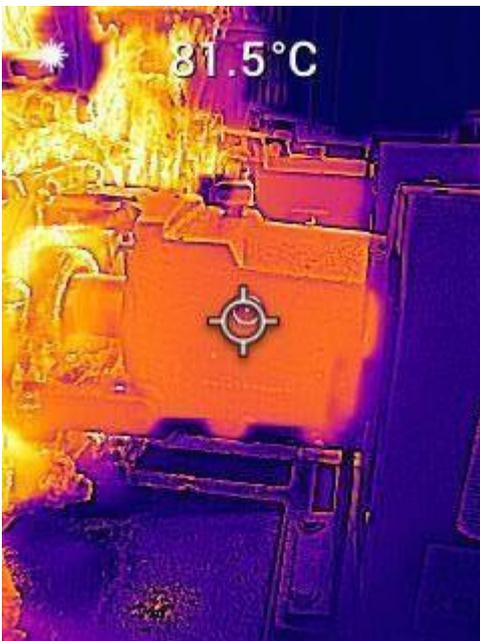
Por conseguinte, foi essencial a pesquisa dos métodos de falhas em bombas centrífugas e motores de indução, possibilitando assim designar as inspeções corretas, consultando um artigo específico no estudo de falhas em motores de indução, como Leme et al. (2017).

Vale salientar que as normas técnicas e regulamentadoras foram consultadas, a exemplo da NR-6 - EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL, NR-10 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE e NR 12 - SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS, que tratam sobre a segurança durante a execução de procedimentos de manutenção em equipamentos elétricos e mecânicos, como também as medidas de segurança cabíveis. Para dessa forma assegurar que os procedimentos propostos estão

respeitando as orientações a respeito da segurança, sendo necessário assim ao início da inspeção sensível a realização da análise prévia de risco e das condições do equipamento.

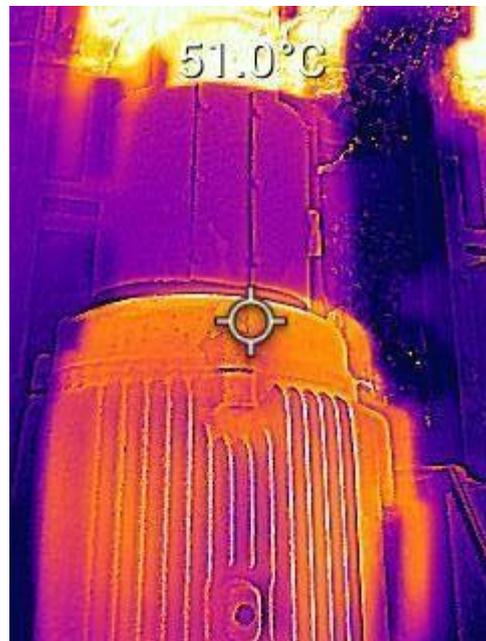
Isto posto, utilizou-se da bibliografia para dar início às experimentações, realizando primeiramente uma inspeção piloto com o intuito de executar uma verificação detalhada da condição atual dos equipamentos, definir os parâmetros e calibrar a percepção sensível, determinando os critérios e níveis aceitáveis dos parâmetros. As fotografias ilustradas nas figuras 4 e 5 demonstram a termografia realizada para identificar os pontos críticos e de máximas temperaturas nos equipamentos.

**Figura 4** - Termografia mancal.



Fonte: Própria (Autor,2024)

**Figura 5** - Termografia carcaça motor.



Fonte: Própria (Autor,2024)

A partir disso, elaborou-se o *checklist* de inspeção sensorial juntamente com a planilha de dados que serviram respectivamente para orientar aos técnicos durante a coleta dos dados sobre os procedimentos a serem realizados, como também sobre o registro de dados que deveriam ser coletados ao fim de cada rotina de verificação. Os documentos citados estão disponíveis nos apêndices I e II deste trabalho.

Os dados foram verificados em todas as inspeções realizadas com o objetivo de acompanhar a situação dos equipamentos e intervir com a programação de manutenção programada baseada na condição caso necessário. O *dashboard* mantinha-se sempre atualizado, trazendo desse modo, dados sempre precisos sobre o equipamento no respectivo dia.

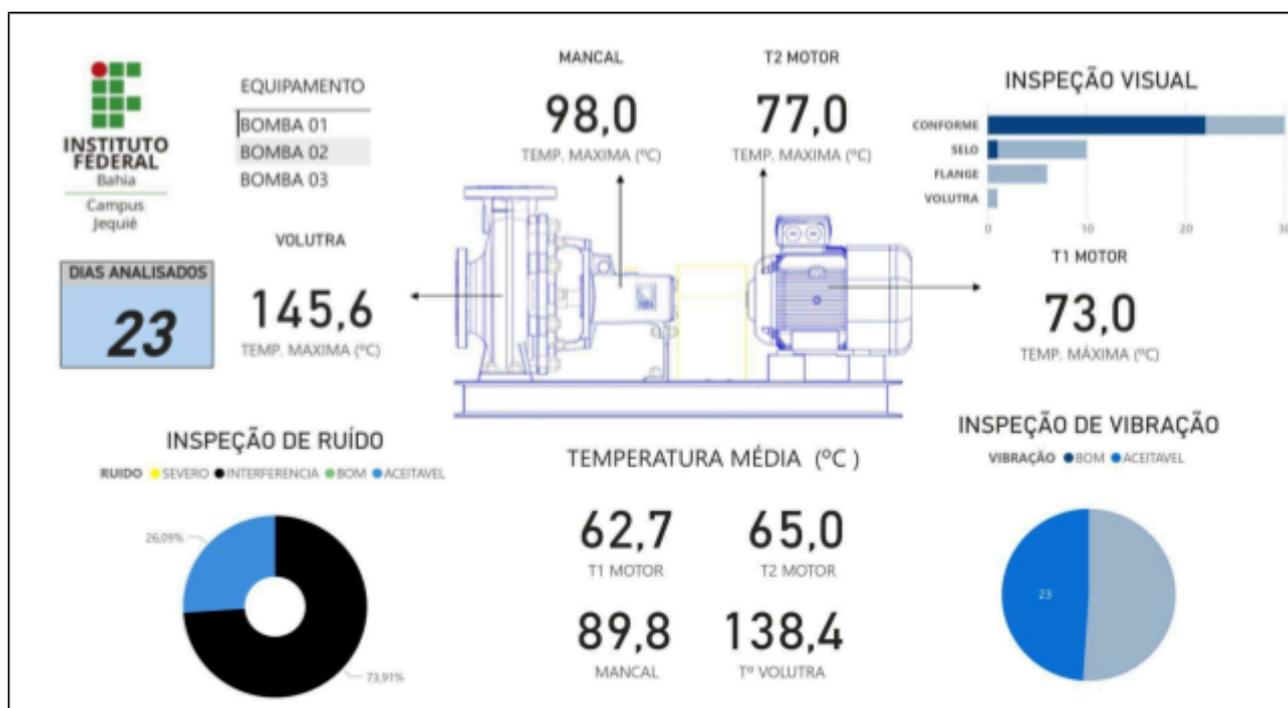
Em paralelo, por sua vez, desenvolveu-se e aprimorou-se o *dashboard* no

software de *business intelligence* capaz de filtrar os dados coletados em campo e gerar uma visualização dos parâmetros médios e picos como também das condições sensoriais, podendo ser utilizado com ferramenta para tomada de decisão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados alcançados são explanados pelos *dashboards* elaborados no *software Microsoft Power BI* sendo demonstrados a partir da sintetização dos dados coletados nos conjuntos de gráficos a seguir, sendo cada imagem o resumo por equipamento analisado, durante o período de 01/03/24 à 01/05/24. Foi realizado durante o estudo um total de 24 inspeções sensoriais instrumentalizadas, tendo os padrões de comparação e conformidade para as temperaturas aferidas para os dados coletados sido citados nos referenciais.

Figura 6 : Dashboard equipamento 01

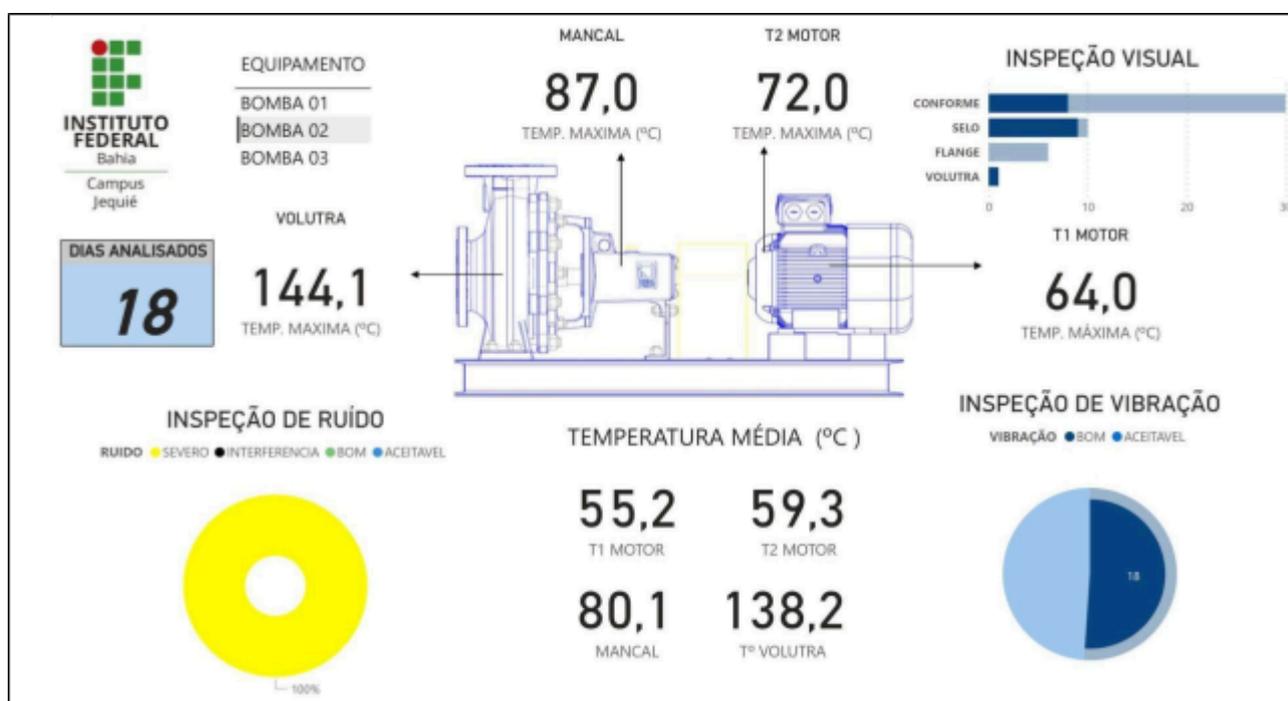


Fonte: (Autor,2024)

Desse modo, o equipamento 01 analisado teve 23 dias distintos de inspeções realizadas, sendo o equipamento que mais esteve em funcionamento durante o período de elaboração do estudo. Constou dessa forma com as temperaturas

médias conforme o pleno funcionamento do equipamento, com exceção à temperatura máxima no ponto T2 que ultrapassou o recomendado pela fabricante do motor (75°C). Já na inspeção visual e de vibração o equipamento se manteve constante, com a vibração aceitável em todas as análises e sem inconformidades visuais. Por fim, a inspeção de ruído foi comprometida por fatores externos, não sendo possível a aferição em 74% dos dias analisados, sendo descrito dessa forma como interferência.

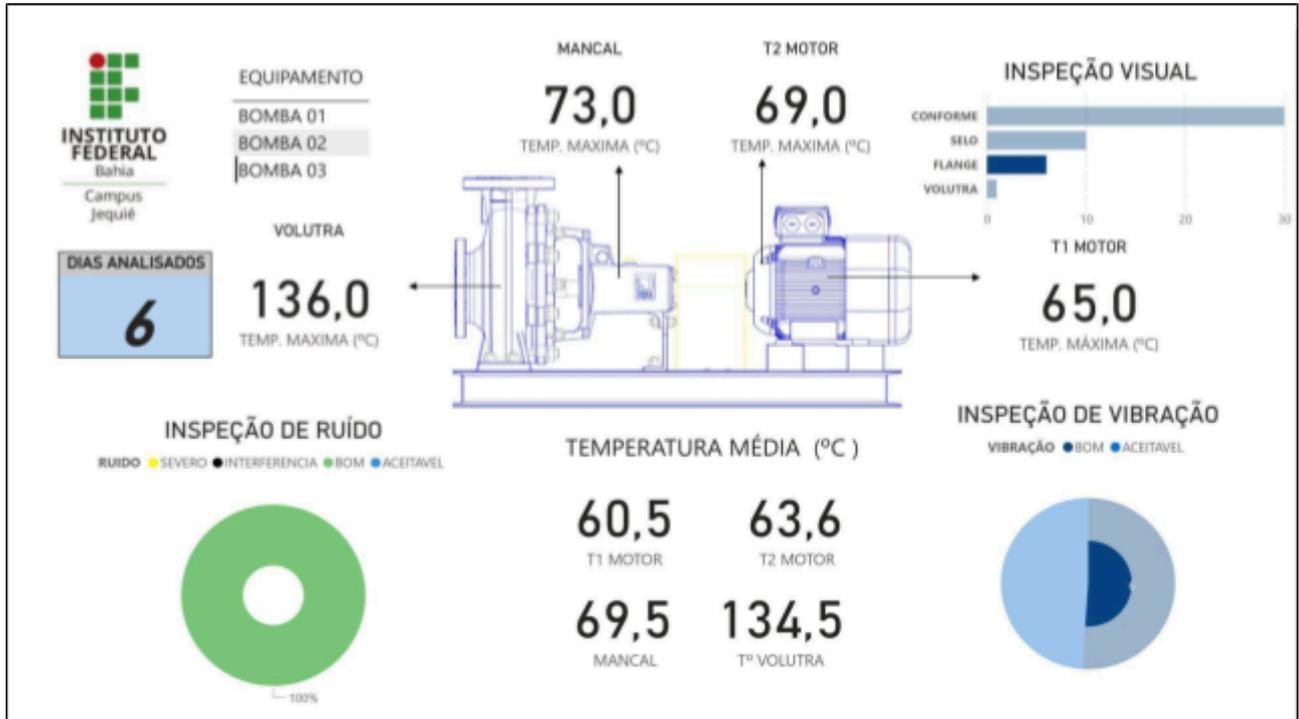
**Figura 7** : Dashboard equipamento 02



Fonte: (Autor,2024)

O conjunto motobomba 02, por sua vez, teve 18 dias de inspeções realizadas no período do experimento, sendo verificado que as temperaturas aferidas se mantiveram constantes, com todas as máximas e médias dentro do conforme. Por conseguinte, a inspeção de vibração foi “bom” em todas as verificações realizadas enquanto o ruído inconforme, sendo sinalizada como severo em todos as 18 inspeções realizadas.

Figura 8 : Dashboard equipamento 03



Fonte: (Autor,2024)

Por fim, o equipamento 03 teve poucos dias de operação dentro do período de estudo, totalizando 6 inspeções sensitivas, entretanto nesse curto período foi identificado vazamento no flange que compromete o processo produtivo e inviabilizava o funcionamento do equipamento, mesmo apresentando excelentes resultados nos demais parâmetros do equipamento.

## 5 CONCLUSÃO

Foi observado ao longo experimento resultados assertivos as propostas do estudo, o acompanhamento diário ao equipamento trouxe segurança ao processo produtivo tendo em vista que qualquer sinal de falha já seria percebido pela equipe técnica e de prontidão para devida correção.

Podemos observar que a duração do experimento foi insuficiente para conclusões mais aprofundadas acerca da aplicação do método de inspeção sensitiva, tendo em vista que a acurácia do método seria determinado caso houvesse iminência de falha nos equipamentos, entretanto durante o estudo não surgiu nenhuma falha mecânica que comprometesse o funcionamento do equipamento.

Por conseguinte, constatou-se que uma das defasagens do método de inspeção sensorial foram as interferências que ocorrem nos equipamentos dos parâmetros de temperatura, vibração e ruído que, entretanto, não invalidaram o método tendo em vista que seria um empecilho mesmo com a aplicação de preditiva sofisticada.

Vale salientar que a aplicação do método de manutenção e inspeção sensitiva instrumentalizada é extremamente viável e custo-benefício. Isso se deve ao fato de que são necessários apenas recursos humanos já existentes na indústria. Desse modo, as principais e modernas técnicas de manutenção preditiva aplicadas em equipamentos eletromecânicos têm sua versão qualitativa quando comparadas ao método sensitivo, que envolve inspeções visuais, termográficas e vibrações.

Por fim, é importante observar que a implementação do método de inspeção sensitiva não substitui nem invalida inspeções mais complexas. Estas, por sua vez, proporcionam confiabilidade aos processos e não dependem da interpretação dos inspetores, uma vez que possuem padrões e fatores bem definidos. Sendo assim, quando não for possível aplicar e implementar o método de manutenção preditiva, a alternativa das inspeções sensitivas é recomendada.

## REFERÊNCIAS

- ABNT NBR7094, N., 2003. "Associação brasileira de normas técnicas".
- ABNT NBR5462, N., 1994. "Associação brasileira de normas técnicas"..
- ABNT NR-10, 2019. "Segurança em instalações e serviços em eletricidade".
- ABNT NBR13970, N., 1997. "Associação brasileira de normas técnicas".
- ABNT NBR10082, N., 1987. "Associação brasileira de normas técnicas"..
- Amaral, B.A.M., 2014. Diagnóstico de avarias em motores elétricos. Ph.D. thesis, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Araújo, R.G.C., 2015. Desenvolvimento de um sistema de diagnóstico de falhas em motores elétricos de indução. Ph.D.thesis.
- Fluke, s.d. "Termômetro de IR Fluke 64 MAX".
- Fogliato, F. and Ribeiro, J.L.D., 2009. Confiabilidade e manutenção industrial. Elsevier Brasil.
- Gonçalez, F.G. et al., 2012. "Estudo do motor de indução trifásico e desenvolvimento de um dispositivo de proteção efetiva de motores operando em condições anormais: Rotor bloqueado e falta de fase"..
- Henrique, G.d.N. and Alves, R.A., 2021. "Manutenção preditiva: criação de plano de manutenção para motores elétricos".
- Jardim, J.V.A., Riffel, D.B. and de Moraes Costa, A.L., "Análise de falhas de uma bomba centrífuga.
- Leme, M.O. et al., 2017. "Metodologia de manutenção preditiva para motores elétricos baseada em monitoramento de variáveis físicas e análise multicritério".
- NBR5462, N., 1994. "Associação brasileira de normas técnicas".
- NSK, 2001. "Nsk bearing doctor diagnóstico rápido de ocorrências em rolamentos".
- Pinto, R.G., 2008. "A importância dos aspectos básicos da manutenção para implantação do rcm um estudo de caso".
- Viana, H.R.G., 2022. PCM-Planejamento e Controle da manutenção - 2 edicao. Qualitymark Editora Ltda..

## APÊNDICE

### Apêndice I - Checklist de inspeção das bombas centrífugas.

CHECKLIST DE INSPEÇÃO: BOMBAS CENTRIFUGAS	
<b>Procedimento</b>	
Realizar inspeção visual pelo conjunto de bombas	<input type="checkbox"/>
Identificar quais bombas estão em funcionamento	<input type="checkbox"/>
Identificar no painel geral quais equipamentos estão energizados	<input type="checkbox"/>
Realizar teste de fuga de tensão com o multímetro nos equipamentos	<input type="checkbox"/>
Caso seja identificado fuga para carcaça de qualquer bomba, interromper inspeção e iniciar ação corretiva	<input type="checkbox"/>
Iniciar inspeção térmica, aferir temperatura com termômetro a laser no T1 motores em funcionamento	<input type="checkbox"/>
Aferir temperatura com termômetro a laser no T2 motores em funcionamento	<input type="checkbox"/>
Aferir temperatura com termômetro a laser no T3 no mancal da bomba em funcionamento	<input type="checkbox"/>
Aferir temperatura com termômetro a laser no T4 na voluta da bomba em funcionamento	<input type="checkbox"/>
Identificar condição de ruído nas bombas em funcionamento	<input type="checkbox"/>
Identificar condição de vibração nas bombas em funcionamento	<input type="checkbox"/>
Verificar vazamentos e fluido (água / óleo) nas bombas em funcionamento	<input type="checkbox"/>
Verificar desprendimento de elementos de fixação nos equipamentos em funcionamento	<input type="checkbox"/>
Verificar a integridade do acoplamento, eixo e selo das bombas em funcionamento	<input type="checkbox"/>
DATA: ____/____/____ EXECUTANTE : _____	

Fonte: (Autor,2024)

**Apêndice II - Tabela com os dados coletados, exemplo, a partir da aplicação do checklist.**

DATA	EQUIPAMENTO	T°1 MOTOR	T°2 MOTOR	T° MANCAL	T° VOLUTRA	INSP. VISUAL	RUIDO	VIBRAÇÃO
01/03	BOMBA 01	65,0	69,0	91,0	138,1	CONFORME	ACEITAVEL	ACEITAVEL
01/03	BOMBA 03	62,0	65,3	73,0	136,0	FLANGE	BOM	BOM
04/03	BOMBA 01	58,0	60,0	86,0	137,0	CONFORME	ACEITAVEL	ACEITAVEL
04/03	BOMBA 03	56,0	60,0	70,0	135,0	FLANGE	BOM	BOM
05/03	BOMBA 01	58,0	61,0	88,0	135,0	CONFORME	ACEITAVEL	ACEITAVEL
05/03	BOMBA 03	57,0	60,0	67,0	132,0	FLANGE	BOM	BOM
07/03	BOMBA 01	59,0	62,0	84,0	136,0	CONFORME	ACEITAVEL	ACEITAVEL
07/03	BOMBA 03	59,0	61,0	69,0	135,0	FLANGE	BOM	BOM
08/03	BOMBA 01	65,0	68,0	91,0	138,0	CONFORME	ACEITAVEL	ACEITAVEL
08/03	BOMBA 03	65,0	66,0	72,0	136,0	FLANGE	BOM	BOM
11/03	BOMBA 01	63,0	66,0	82,0	135,0	CONFORME	ACEITAVEL	ACEITAVEL
11/03	BOMBA 03	64,0	69,0	66,0	133,0	FLANGE	BOM	BOM
12/03	BOMBA 01	57,0	61,0	83,0	137,0	CONFORME	INTERFERENCIA	ACEITAVEL
12/03	BOMBA 02	50,0	54,0	79,0	135,0	SELO	SEVERO	BOM
13/03	BOMBA 01	58,0	60,0	82,0	136,0	CONFORME	INTERFERENCIA	ACEITAVEL
13/03	BOMBA 02	52,0	56,0	77,0	135,0	SELO	SEVERO	BOM
14/03	BOMBA 01	68,0	70,0	96,0	140,0	CONFORME	INTERFERENCIA	ACEITAVEL
14/03	BOMBA 02	59,0	66,0	87,0	139,0	SELO	SEVERO	BOM
18/03	BOMBA 01	62,0	65,0	90,0	138,0	CONFORME	INTERFERENCIA	ACEITAVEL

Fonte: (Autor,2024)