

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS  
*CAMPUS AVANÇADO ARCOS*  
ENGENHARIA MECÂNICA

Vitor Martins Fonseca

**ESTUDO DE CASO NA APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA EM UM  
COMPRESSOR INDUSTRIAL DE REFRIGERAÇÃO**

Arcos  
2022

VITOR MARTINS FONSECA

**ESTUDO DE CASO NA APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA EM UM  
COMPRESSOR INDUSTRIAL DE REFRIGERAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus* Avançado Arcos como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Sousa Júnior

Arcos  
2022

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - *Campus Avançado Arcos*

F676e  
2022      Fonseca, Vitor Martins.  
            Estudo de caso na aplicação da manutenção  
            preditiva em um compressor industrial de  
            refrigeração / Vitor Martins Fonseca. - Arcos, 2022.  
            33 f. : il. color.

            Orientador: Francisco de Sousa Júnior  
            Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação  
            em Engenharia Mecânica.) - Instituto Federal de  
            Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais  
            - *Campus Avançado Arcos*.

            1. Compressor de amônia. 2. Manutenção. I.  
            Sousa Júnior, Francisco de (orientador). II. Instituto  
            Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de  
            Minas Gerais – *Campus Avançado Arcos*. III. Título.

CDD: 620.1

Elaborada por Meriely Ferreira de Almeida- CRB-6/2960



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
**Campus Avançado Arcos**  
**Diretoria de Ensino**  
**Docentes Área Técnica**  
Av. Juscelino Kubitschek, 485 - Bairro Brasília - CEP 35588000 - Arcos - MG  
3733515173 - www.ifmg.edu.br

**Ata de Defesa de Trabalho de Conclusão de**  
**Curso do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica**  
**do IFMG - Arcos, realizada em 21 de novembro de 2022**

Aos **vinte e um dias de novembro de dois mil e vinte e dois**, às 15:42 horas, se reuniu a banca composta pelo Prof. Dr. Francisco de Sousa Júnior (orientador), Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Arcos; Prof. Maurício Lourenço Jorge, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Arcos e o Prof. Dr. Reginaldo Gonçalves Leão Júnior, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Arcos; para avaliar o trabalho intitulado “**ESTUDO DE CASO NA APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREDITIVA EM UM COMPRESSOR INDUSTRIAL DE REFRIGERAÇÃO**”, apresentado pela aluno Vitor Martins Fonseca, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Engenheiro Mecânico. Após apresentação e arguição, emitiu-se o parecer “**APROVADO**”, sendo a verificação das modificações sugeridas de responsabilidade do orientador. Para fins de registro na disciplina Trabalho Acadêmico Integrador X, a banca avaliadora emitiu, em consenso, o conceito final de **70,0**. Nada mais havendo a tratar a defesa foi encerrada às 16:44 e eu, Francisco de Sousa Júnior, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, foi assinada por todos os avaliadores.

Arcos, 21 de novembro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Francisco de Sousa Junior, Professor**, em 06/12/2022, às 09:51, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Reginaldo Goncalves Leao Junior, Professor**, em 06/12/2022, às 09:54, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Mauricio Lourenco Jorge, Professor**, em 06/12/2022, às 10:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1384025** e o código CRC **BBE01A21**.

Dedico este trabalho a minha companheira de vida, Lauren Silva Badaró, que sempre me apoiou em toda minha trajetória.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar e me ajudar a vencer todos os obstáculos.

Imensamente a toda minha família, principalmente a minha noiva, Lauren Silva Badaró, pelo suporte durante estes anos de graduação.

Ao meu professor e orientador, Francisco de Sousa Júnior, por sempre me apoiar nesta jornada e auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas de sala, que sempre compartilharam conhecimentos.

## RESUMO

Nos processos industriais de uma empresa deve-se sempre planejar e programar manutenções de seus ativos, tais como manutenções preventivas, preditivas e corretivas. As análises de vibrações e óleo lubrificante, por exemplo, se encaixam dentro da manutenção preditiva, contribuindo para que a manutenção corretiva não ocorra. O objetivo deste trabalho foi demonstrar as anomalias identificadas por meio das análises de vibrações, realizadas no compressor principal do sistema de refrigeração, da unidade 2 do Laticínio Scala. Por meio das análises de vibrações, foi possível determinar que o rolamento do lado acoplado do compressor no motor estava danificado. Após isso, foi determinado o bloqueio do funcionamento do compressor e solicitada a análise de óleo lubrificante para identificar as possíveis causas do excesso de vibração. Foi identificada a presença de água no óleo lubrificante, que causou a alteração da viscosidade do mesmo, acarretando posteriormente a má lubrificação dos rolamentos. Com a falha do compressor principal a empresa ficou sem compressores reservas, causando assim uma utilização excessiva dos compressores auxiliares. A falha do compressor gerou uma despesa adicional no orçamento anual da manutenção de R\$118,000.00.

**Palavras-chaves:** Compressor de amônia. Preditiva. Manutenção.

## ABSTRACT

In a company's industrial processes, maintenance of its assets must always be planned and programmed, such as preventive, predictive and corrective maintenance. Vibration and lubricating oil analyses, for example, fit within predictive maintenance, avoiding corrective maintenance. The objective of this work was to demonstrate the anomalies identified through vibration analysis, carried out in the main compressor of the refrigeration system, on unit 2 of Laticínio Scala. The method employed allowed, it was possible to determine that the bearing on the coupled side of the compressor in the motor was damaged. After that, the compressor stopped functioning and a lubricating oil analysis was requested to identify the possible causes of excessive vibration. The presence of water in the lubricating oil was identified, changing its viscosity, subsequently resulting in poor bearings lubrication. With the failure of the main compressor, the company ran out of spare compressors, thus causing an excessive use of auxiliary compressors. The compressor failure generated an additional expense in the annual maintenance budget of R\$118,000.00.

**Key-words:** Ammonia compressor. Predictive. Maintenance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Compressor de amônia Frick RWF II 177 . . . . .	10
Figura 2 – Compressor de parafuso . . . . .	12
Figura 3 – Componentes do compressor RWF II 177 . . . . .	12
Figura 4 – Termografia . . . . .	16
Figura 5 – Análise de vibração . . . . .	17
Figura 6 – Exemplo de avaliação de uma amostra de óleo lubrificante . . . . .	18
Figura 7 – Compressor separado do conjunto . . . . .	19
Figura 8 – Coleta de óleo lubrificante . . . . .	21
Figura 9 – Coletor de dados SKF . . . . .	21
Figura 10 – Pontos de coleta . . . . .	22
Figura 11 – Resultados das medições de vibração . . . . .	24
Figura 12 – Resumo dos resultados das medições de vibração . . . . .	25
Figura 13 – Desdobramento da causa raiz do problema . . . . .	27
Figura 14 – Modelo de purificador de amônia . . . . .	28

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais componentes do compressor . . . . .	12
Quadro 2 – Consistência da graxa . . . . .	15
Quadro 3 – Exemplo do histórico de análises de óleo lubrificante . . . . .	18
Quadro 4 – Dados técnicos . . . . .	19
Quadro 5 – Recomendação de níveis de contaminantes . . . . .	20
Quadro 6 – Descrição dos pontos de coleta . . . . .	22
Quadro 7 – Recomendação de níveis de vibração . . . . .	22
Quadro 8 – Recomendação de lubrificantes do fabricante . . . . .	23
Quadro 9 – Resultados das análises de óleo lubrificante . . . . .	26

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>9</b>
1.1	Justificativa . . . . .	11
1.2	Objetivos . . . . .	11
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i> . . . . .	11
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i> . . . . .	11
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> . . . . .	<b>12</b>
2.1	Compressor de amônia . . . . .	12
2.2	Fluido refrigerante . . . . .	13
2.3	Manutenção . . . . .	13
2.4	Manutenção corretiva . . . . .	13
2.5	Manutenção preventiva . . . . .	14
2.5.1	<i>Lubrificação</i> . . . . .	14
2.5.2	<i>Graxa</i> . . . . .	15
2.6	Manutenção preditiva . . . . .	16
2.6.1	<i>Termografia</i> . . . . .	16
2.6.2	<i>Análise de vibração</i> . . . . .	16
2.6.3	<i>Análise do óleo lubrificante</i> . . . . .	17
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> . . . . .	<b>19</b>
3.1	Definição do compressor a ser estudado . . . . .	19
3.2	Coleta de dados . . . . .	19
3.3	Análise de óleo lubrificante . . . . .	20
3.4	Análise de vibrações . . . . .	21
3.5	Recomendação de lubrificantes . . . . .	23
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> . . . . .	<b>24</b>
4.1	Recomendação de parada do equipamento . . . . .	24
4.2	Análise de falha do compressor . . . . .	26
4.3	Solução proposta para a contaminação da amônia . . . . .	27
4.4	Viabilidade da manutenção preditiva . . . . .	28
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> . . . . .	<b>30</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>31</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A utilização de compressores de amônia de alta performance na indústria alimentícia para a refrigeração tem sido cada vez mais comum. Segundo Vaportec (2022), a evolução tecnológica vem possibilitando um aumento gradativo na eficiência desse ciclo, uma vez que operações com este tipo de refrigeração demonstram um ganho de rentabilidade em comparação com os outros métodos de refrigeração.

Segundo Provatti (2008), a indústria alimentícia é referência neste quesito, pois para a mesma resfriar ou congelar alimentos não é uma questão de conforto, mas sim de qualidade. Tradicionalmente este setor utiliza diversos sistemas de refrigeração para conservar os alimentos e a matéria prima, porém, esta atividade causava muitos acidentes, pois a amônia traz riscos para os trabalhadores e moradores do entorno das unidades fabris. Atualmente, o processo de refrigeração com compressores que utilizam amônia possui um elaborado sistema de segurança, devido aos avanços tecnológicos e às normas regulamentadoras do setor.

De acordo com Felix e Cardoso (2004), a amônia apresenta vasta aplicação, dentre as quais pode-se destacar seu uso como fonte de nitrogênio na fabricação de fertilizantes, agente neutralizador na indústria do petróleo e gás de refrigeração em sistemas industriais. Seu alto poder refrigerante e baixo potencial de destruição do ozônio estratosférico tornam este gás adequado para ser usado em grandes máquinas de refrigeração industrial, evitando assim os usuais compostos orgânicos de clorofluorcarbonos.

A utilização de máquinas em substituição à mão de obra humana, entretanto, necessita de constante revisão e inspeção, para que estejam sempre à disposição e entreguem sua capacidade máxima de produção. A manutenção é tratada como fator estratégico para as empresas, pois cada vez mais é exigida uma maior disponibilidade dos equipamentos (TREVISAN, 2011).

A realização de manutenções preditivas e preventivas contribui para que a manutenção corretiva não ocorra. Segundo Neto e Lima (2002), a manutenção corretiva é a que mais prejudica a produção, pois normalmente implica na parada do equipamento. Portanto, o não acompanhamento da manutenção do equipamento, a não realização de ações preventivas, como a simples troca de óleo ou a falta da realização de um *checklist* diário da integridade do equipamento, pode acarretar na manutenção corretiva.

Na manutenção preditiva é realizado o acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, com o objetivo de definir o melhor instante para a intervenção. Segundo Freitas (2016), a Manutenção Preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento em funcionamento.

O acompanhamento de vibrações dos componentes de um compressor de amônia é de grande importância, pra atender as recomendações dos fabricantes. Além disso, a análise de vibração pode contribuir para uma verificação da integridade dos componentes deste equipamento. Esta avaliação resulta em informações, tais como: se os itens verificados estão com defeito de fabricação, ou acidentalmente

algum item foi danificado na sua remontagem.

Já a análise de óleo lubrificante pode contribuir para uma verificação da integridade do componente deste equipamento. Segundo Costa (2021), esta avaliação resulta em informações como: se o óleo coletado estava contaminado com algum componente químico que possa danificar o sistema, como também verificar se o tempo de troca deste está dentro do prazo estabelecido.

Assim, se fez necessário o acompanhamento das vibrações dos componentes e do histórico de análise de óleo do compressor. Tais ações foram realizadas com o apoio do técnico em preditiva do colaborador da própria empresa. A empresa em questão dispõe do modelo de compressor Johnson Controls - Frick RWFII 177 (Figura 1).

A empresa que forneceu acesso aos dados sobre o compressor, esta situada na região do triângulo mineiro. Possuindo quatro unidades especializada na produção industrial de produtos lácteos. As análises de vibração no campo ocorreram entre os meses de julho de 2020 e janeiro de 2022. O histórico das análises de vibração foi estudado, a fim de demonstrar a necessidade de parada do equipamento para manutenção. Foi possível obter estes dados através de laudos de análises técnicas preditivas emitidos pela própria empresa e também pela fabricante do compressor.

Figura 1 – Compressor de amônia Frick RWF II 177



Fonte: Próprio autor.

## 1.1 Justificativa

A interrupção não programada da produção pode acarretar em prejuízos para as empresas. No caso de uma empresa do ramo de produtos lácteos, uma parada não programada pode chegar a interromper a produção de queijos, requeijão, manteiga e *cream cheese*. Em muitos dos casos, tais paradas inesperadas poderiam ser evitadas, simplesmente por uma inspeção sensível bem feita.

A manutenção preditiva é importante para determinar quando será necessária uma parada planejada, com o objetivo de manter os equipamentos disponíveis e certamente contribuindo para a preservação da sua vida útil. Componentes móveis são os que necessitam de maiores cuidados relacionados à manutenção. Empresas perdem, anualmente, milhões de reais em decorrência de resultados provindos de falhas em rolamentos, associados à falta de lubrificação adequada (TREVISAN, 2011).

A aplicação incorreta da lubrificação também pode interferir na integridade dos componentes de um equipamento com partes móveis. Um acompanhamento preditivo bem executado relacionado aos lubrificantes do equipamento, pode evitar possíveis falhas repentinas nos componentes dos equipamentos.

Assim sendo, este trabalho se justifica em demonstrar a importância da manutenção preditiva em prever possíveis falhas dos componentes mecânicos por falha na lubrificação ou excesso de vibração. Além disto, justifica-se pela necessidade de demonstrar que a manutenção preditiva é indispensável em uma empresa, visando aumento da disponibilidade, confiabilidade dos equipamentos e redução dos custos de manutenção.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 *Objetivo Geral*

O presente trabalho visa avaliar os impactos da parada de um compressor de amônia causada pela realização da manutenção preditiva em seus componentes, através de dados de laudos e ordens de serviços abertas na empresa e por terceiros, bem como suas possíveis causas.

### 1.2.2 *Objetivos Específicos*

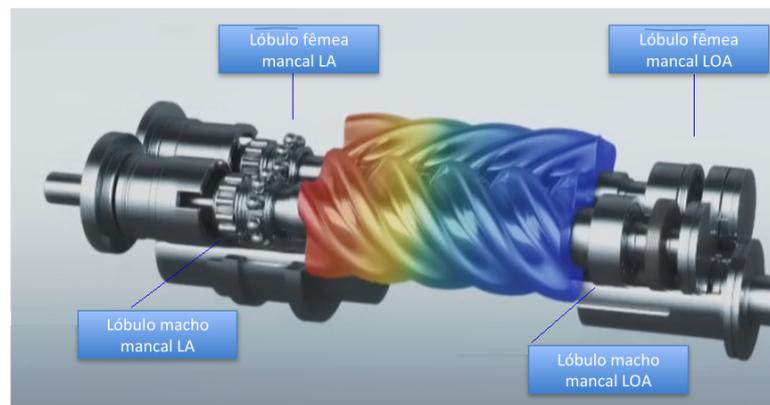
1. Pesquisar sobre os tipos de manutenção;
2. Avaliar o histórico de análise de vibração no período de estudo;
3. Avaliar o histórico de análise de óleo lubrificante no período de estudo;
4. Determinar a causa raiz do desligamento do compressor;
5. Determinar uma possível solução para a principal causa do desligamento do compressor;
6. Relacionar os custos de manutenção preditiva e corretiva para o compressor e os impactos financeiros no setor.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Compressor de amônia

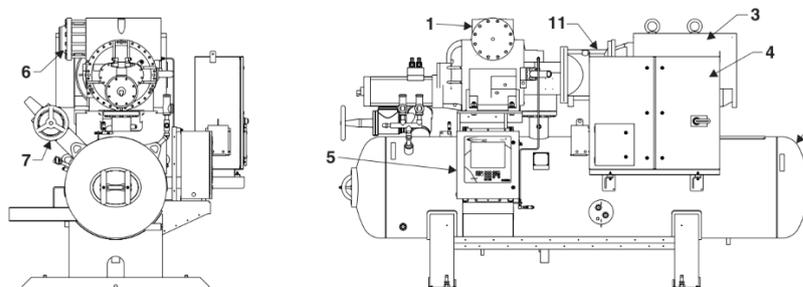
O compressor utilizado na empresa é do tipo parafuso, e de acordo com Fialho (2003) este tipo de compressor possui dois rotores em forma de parafusos que giram em sentido contrário, mantendo entre si uma condição de engrenamento (Figura 2). Na Figura 3 é possível ver alguns componentes do compressor completo.

Figura 2 – Compressor de parafuso



Fonte: CONTROLS, 2013.

Figura 3 – Componentes do compressor RWF II 177



Fonte: CONTROLS, 2013.

Quadro 1 – Principais componentes do compressor

Item	Descrição
1	Compressor
3	Motor elétrica
4	Painel elétrico
5	Painel de Comando
6	Válvula de Verificação
7	Conjunto de válvulas Disch
9	Separador de Óleo
11	Acoplamento

Fonte: Adaptado de: CONTROLS, 2013.

## 2.2 Fluido refrigerante

O fluido refrigerante utilizado na empresa é o R717, mas comumente conhecido como amônia. Segundo Danfoss (2022), a amônia é conhecida pelas suas propriedades termodinâmicas favoráveis. Em inúmeras aplicações, a amônia supera os refrigerantes sintéticos em performance. No entanto, possui diversas desvantagens que têm impedido a utilização da amônia em aplicações comerciais, por exemplo, compatibilidade, toxicidade e inflamabilidade de material.

Segundo Vaportec (2022) A amônia é uma das aplicações mais eficientes disponíveis, com a faixa que vai de alta a baixa temperatura. Quanto ao consumo de energia, os sistemas de amônia são uma escolha segura e sustentável para o futuro. Os desenvolvimentos recentes da combinação de NH<sub>3</sub> e CO<sub>2</sub> contribuíram para aumentar ainda mais a eficiência. Além disso, a amônia possui outros benefícios em sua utilização, tais como: segurança, menores tamanhos de tubulações, preço de aquisição e não causar riscos ao meio ambiente.

## 2.3 Manutenção

No meio industrial atualmente, o debate sobre a eliminação de desperdícios e redução de custos de produção possui grande aderência entre os gestores. Um tópico de relevância na redução dos custos de operação é o planejamento e controle da manutenção dos ativos, representando na maioria das vezes uma fatia grande do orçamento mensal das unidades.

A manutenção tem o objetivo de possibilitar a disponibilidade constante dos equipamentos de produção, contribuindo para o retorno dos investimentos aplicados (NETO; LIMA, 2002). Além do mais, a manutenção tem influência significativa na produtividade e qualidade dos produtos fabricados e sua eficiência interfere diretamente na qualidade e na quantidade dos produtos oferecidos (PAIVA; SODRE; CASTRO, 2019). A aplicação de manutenção nos ativos de uma empresa é fundamental para o ciclo produtivo e financeiro da mesma. A manutenção pode ser dividida em três categorias, que são: Manutenção Preditiva, Preventiva e Corretiva.

## 2.4 Manutenção corretiva

É definida pela manutenção aplicada no equipamento que operou até o surgimento de uma falha que interrompa a operação ou provoque a interrupção, total ou parcial de seu funcionamento. Assim, de acordo com Xenos (1998), a manutenção corretiva sempre será realizada após a falha.

Como a manutenção corretiva é realizada após a falha do equipamento, normalmente ocorrem interrupções indesejadas da produção. Segundo Costa (2021), se a manutenção corretiva tiver um tempo de execução longo, é possível que a empresa sofra prejuízos significativos. A manutenção corretiva, quando aplicada, necessita de alguns recursos imediatos, como mão de obra especializada, ferramentas e peças para reposição.

## 2.5 Manutenção preventiva

É definida pela manutenção que é planejada antes que ocorra a falha, e Costa (2021) diz que ela é baseada nos históricos de quebras em funcionamento ou de revisões periódicas realizadas. Tem o objetivo de evitar falhas ou queda no desempenho dos equipamentos durante o funcionamento. Obedece um plano previamente elaborado com base em intervalos de tempo, geralmente recomendados, através de manuais técnicos disponibilizados pelos fabricantes. Este modelo de manutenção estabelece paradas programadas sem interrupções na produção, com o propósito de trocar peças gastas por novas.

Esse tipo de manutenção tem como intuito intervir no equipamento antes que ocorra a falha. Este tipo de manutenção ocorre de forma programada, baseada na experiência, estatísticas ou outro tipo de avaliação (SPAMER, 2009).

A manutenção preventiva é baseada na experiência da empresa com o equipamento e nos manuais técnicos fornecidos pelo fabricante. Geralmente essas manutenções são descritas em intervalos de tempos pré-estabelecidos pelo fabricante ou quantidade de horas que a máquina operou. Como um tipo de manutenção preventiva, é possível citar a troca de óleo, filtro de óleo, selos mecânicos, entre outras operações.

### 2.5.1 Lubrificação

A lubrificação consiste em uma aplicação de uma camada de lubrificante com o objetivo de reduzir, eliminar ou suavizar o movimento do atrito entre partes metálicas de um componente. O filme utilizado entre as partes se chama óleo lubrificante (LANSDOWN, 2007).

Os primeiros lubrificantes que surgiram foram os de origem animal. Com o desenvolvimento de tecnologias, possibilitando novos avanços aos óleos lubrificantes, foram substituídos por lubrificantes de origem vegetal, mineral e sintética. Atualmente, os lubrificantes modernos de alto desempenho, além de reduzirem atrito e o desgaste, protegem contra a corrosão, controlam a formação de depósitos e contaminantes suspensos, limpam componentes e mantêm a temperatura de operação controlada (AZEVEDO; CARVALHO; FONSECA, 2005).

Pode-se subdividir os tipos de óleos lubrificantes em três principais categorias, de acordo com a sua composição, que são: os minerais, semissintéticos e os sintéticos.

- **Óleo Mineral:** Produzido a partir do refino do petróleo, com o acréscimo de aditivos; é comumente utilizado, possuindo um menor custo em comparação com os demais.
- **Óleo Semissintético:** Trata-se da mistura do óleo mineral e sintético, com o objetivo de reunir as melhores propriedades entre os dois, resultando em um preço abaixo do sintético.
- **Óleo Sintético:** Desenvolvido por meio de reações químicas, desenvolvendo uma estrutura molecular uniforme e mais eficiente no processo de lubrificação ou corrosão, contendo uma maior durabilidade. Devido à dificuldade de produzi-lo, o seu preço final é maior comparado aos demais.

A propriedade de maior importância nos óleos lubrificantes é a viscosidade, que pode ser definida como a resistência ao escoamento, apresentada pelos fluidos. Aplicação de uma viscosidade

adequada é de suma importância para garantir a lubrificação (MARCASSO, 2017). Os lubrificantes são utilizados em diversos tipos de equipamentos, sendo um deles os motores de veículos, que são especialmente formulados para trabalhar com uma película na superfície das peças mecânicas, para diminuir o atrito, desgaste e calor nas interfaces dos componentes móveis.

### 2.5.2 Graxa

Pode-se definir este tipo de lubrificante como uma mistura pastosa, composta por óleo mineral ou sintético e um agente espessante, que pode ser na maioria das vezes sabão de lítio, sódio ou cálcio. As graxas lubrificantes possuem diversas vantagens, sendo uma delas o fato de não escorrer do local de aplicação, o que muitas das vezes dispensa a utilização de itens para a vedação. Segundo Melo (2011) é possível classificar este produto em função do tipo de agente espessante, conforme descrito a seguir:

- **Graxa à base de Cálcio** : Contém grande gama de possíveis aplicações, boa resistência ao calor, suporta extrema pressão e é resistente a água.
- **Graxa à base de Sódio** : Tem como principal vantagem a boa resistência ao calor e à ferrugem, porém não são resistentes a água.
- **Graxa à base de Lítio** : Possui boa resistência ao calor e à água, podendo trabalhar entre faixas de temperaturas de -70 °C a 150 °C.

Uma das características mais importantes da graxa é a consistência. Ela define a resistência à deformação mediante a aplicação de uma força. Determinar a consistência correta da graxa faz com que sua aplicação nos equipamentos dure mais tempo sem se degradar, contribuindo assim para o aumento da durabilidade dos componentes móveis. Consistência é classificada de acordo com uma escala desenvolvida pela NLGI (*National Lubricating Grease Institute*) (SKF, 2022). O valor da viscosidade da graxa é determinado de acordo com o grau de sua consistência. O Quadro 2 demonstra alguns graus de consistência disponíveis no mercado.

Quadro 2 – Consistência da graxa

Número NLGI	Penetração ASTM ( $10^{-1}$ mm)	Aparência em temperatura ambiente
000	445 - 475	Muito fluida
00	400 - 430	Fluida
0	355 - 385	Semi-fluida
1	310 - 340	Muito macia
2	265 - 295	Macia
3	220 - 250	Semi-sólida
4	175 - 205	Sólida
5	130 - 160	Muito sólida
6	85 - 115	Extremamente sólida

Fonte: Adaptado de: SKF, 2022.

## 2.6 Manutenção preditiva

Este tipo de manutenção se baseia na condição operacional real dos equipamentos e sistemas. A finalidade deste modelo é prevenir falhas através do acompanhamento de diversos parâmetros. Assim, quando o grau de degradação se aproxima do limite estabelecido para a variável monitorada, é tomada a decisão de intervenção (VILLANUEVA, 2015).

Segundo Xenos (1998), a manutenção preditiva possibilita a otimização da troca ou reparo de peças, estendendo o intervalo de intervenção, prevendo quando a peça ou o componente está próximo do limite de troca. É possível subdividir as técnicas aplicadas na preditiva em três tipos: termografia, análise de vibração e análise de óleo.

### 2.6.1 Termografia

Na manutenção preditiva, a termografia é uma técnica que possibilita a medição e visualização do calor emitido pelas superfícies das peças, sem a necessidade de contato físico, pela medição da intensidade de radiação infravermelha emitida pela superfície de qualquer objeto (SANTOS, 2018). Na Figura 4 é apresentado um exemplo de realização da termografia.

Figura 4 – Termografia



Fonte: ASM, 2022.

### 2.6.2 Análise de vibração

Equipamentos que possuem peças rotativas estão sempre produzindo vibrações que podem afetar seu funcionamento. Dependendo da intensidade interferem na integridade da máquina. A ocorrência destas vibrações advém de desbalanceamento, desalinhamento e folgas, entre outros.

A partir do registro das vibrações e sua análise, é possível identificar a origem dos esforços presentes em uma máquina em funcionamento. Por meio desses dados é possível tomar decisões quanto a intervir ou não na máquina, contribuindo para que esta tenha maior disponibilidade, reduzindo custos com manutenção e tempo de parada.

Utilizando aparelhos adequados, é possível medir o índice de vibração do equipamento em operação, permitindo a avaliação da intensidade de vibração que o mesmo apresenta durante seu

funcionamento, permitindo avaliar se está de acordo com as especificações do fabricante. A Figura 5 ilustra um modo de análise de vibração de equipamentos rotativos.

Figura 5 – Análise de vibração



Fonte: LIMA, 2022.

### 2.6.3 Análise do óleo lubrificante

A análise de óleo possibilita conhecer as condições físicas e químicas dos lubrificantes, sendo praticamente a única ferramenta que permite apontar, por meio de ações de inspeção objetivas e diretas, falhas prematuras nos equipamentos (HERNANDES, 2022). Este método consiste em coletar amostras de óleo dos equipamentos, que em seguida são analisadas por laboratórios certificados. A coleta é baseada em um determinado período de tempo e a condição do óleo lubrificante.

As peças lubrificadas podem contaminar o óleo lubrificante pelo seu desgaste. Por outro lado, se a peça contém alguma rachadura ou fenda, é possível que o óleo lubrificante se contamine com o meio. A evolução dos equipamentos para a realização de tais análises contribui para resultados mais precisos e rápidos, o que torna esta análise imprescindível para a manutenção (MELO, 2011).

Existem dois fatores que podem alterar as características de um lubrificante, tornando-o incapaz de realizar suas funções: degradação e a contaminação. Segundo Melo (2011), a degradação acontece devido à oxidação causada pela temperatura de trabalho e pelo oxigênio do ar, e a contaminação advém do desgaste das partículas sólidas, pela umidade presente no ar ou no próprio ambiente.

No laboratório, primeiramente é identificado se o óleo se encontra normal, anormal ou crítico. Também engloba uma avaliação geral da amostra, informando quais contaminantes foram encontrados em maiores quantidades e as possíveis causas. Adicionalmente, a análise contempla possíveis ações após a próxima parada do equipamento (Figura 6).

Figura 6 – Exemplo de avaliação de uma amostra de óleo lubrificante

Ensaio	Metodologia	Unidade	Resultado	Recomendado
VISCOSIDADE A 40°C	ASTM D-445	CST	121,3	54,4/81,6
T.A.N - ÍNDICE DE ACIDEZ TOTAL	ASTM D974/D664	mgKOH/g	0,1	MÁX. 2,8
ÁGUA KARL FISCHER	ASTM D-6304	ppm	1145,6	MÁX. 250
APARÊNCIA	VISUAL		LÍMPIDO	
COR			2,5	
Si - SILÍCIO	ASTM D-5185	ppm	0,0	MÁX. 50
Al - ALUMÍNIO	ASTM D-5185	ppm	0,0	MÁX. 50
Cr - CROMO	ASTM D-5185	ppm	0,0	MÁX. 20
Fe - FERRO	ASTM D-5185	ppm	5,8	MÁX. 100
Cu - COBRE	ASTM D-5185	ppm	0,0	MÁX. 100
Pb - CHUMBO	ASTM D-5185	ppm	0,0	MÁX. 50
Ni - NÍQUEL	ASTM D-5185	ppm	0,1	MÁX. 15
P - FÓSFORO	ASTM D-5185	ppm	2,3	

### Observações

Todos os resultados apresentados referem-se exclusivamente à amostra ensaiada e ao instante ou período amostrado. Este relatório, no todo ou em parte, não pode ser reproduzido sem autorização formal do laboratório.

ADITIVOS: Ba - BÁRIO, Ca - CÁLCIO E Mg - MAGNÉSIO; ADITIVOS DETERGENTE; P - FÓSFORO: ADITIVO DE EXTREMA PRESSÃO; Zn - ZINCO + P - FÓSFORO: ADITIVO ANTIDESGASTE.

OBS.: A CONCENTRAÇÃO DE CADA ADITIVO DEPENDE DO FABRICANTE DO ÓLEO.

ATENÇÃO: ÓLEO COM VISCOSIDADE A 40°C, ÁGUA KARL FISCHER ACIMA DO LIMITE RECOMENDADO.

SUGESTÃO: TROCA DO ÓLEO OU A MISTURA (BLEND) (URGENTE), EM FUNÇÃO DA VISCOSIDADE ESTAR MUITO ACIMA DO PADRÃO ESTABELECIDO PELO EQUIPAMENTO COMPROMETENDO O SEU SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO.

Fonte: TRENTINI, 2022

Como as análises são realizadas com uma certa periodicidade, também é possível gerar históricos de resultados anteriores. Caso o resultado seja constatado crítico, é necessária a parada imediata do equipamento, evitando possíveis falhas que possam resultar em custos elevados de manutenção. No Quadro 3 é possível visualizar um exemplo de histórico de análises em óleos lubrificantes.

Quadro 3 – Exemplo do histórico de análises de óleo lubrificante

Dados das amostras					Contaminação			Viscosidade
Amostra	Status	Coleta	Resultado	Troca?	H2O	Fe	P	CST
1	Alerta	5/13/21	5/27/21	Sim	200.3	0	0	87.6
2	Alerta	8/16/21	9/3/21	Sim	145.6	2.1	0	106.4
3	Alerta	11/14/21	11/30/21	Sim	1145.6	5.8	2.3	121.3
4	Normal	2/28/22	3/22/22	Não	158.6	6.7	2	74.8

Fonte: Próprio autor, 2022

Por isso, a verificação das características do óleo lubrificante, como o tamanho e quantidade de partículas solidas, se mostra indispensável para avaliar a integridade do equipamento, contribuindo para a disponibilidade e aumentando sua vida útil.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Definição do compressor a ser estudado

A empresa na qual foi realizado o trabalho utiliza diversos compressores para realizar a refrigeração das câmaras frias. São quatro compressores de pequeno porte que funcionam como compressores reserva, caso ocorra algum tipo de falha no principal. Na Figura 7 é possível visualizar o compressor RWF II 177 separadamente.

Quadro 4 – Dados técnicos

Modelo	Número de Série	Volum. Desloc	Refrigerante	Data de Fabricação
RWF II 177	321920	1767 m <sup>3</sup> /h	R717	2019

Fonte: Adaptado de: CONTROLS, 2013.

Figura 7 – Compressor separado do conjunto



Fonte: Próprio autor, 2022

#### 3.2 Coleta de dados

Sabe-se que o objetivo da manutenção preditiva é prever possíveis defeitos que possam ocorrer no equipamento. O técnico em preditiva realiza as inspeções após o recebimento da ordem de serviço planejada pelo setor de planejamento e controle de manutenção (PCM). Após a realização da inspeção, o técnico retorna a ordem de serviço no sistema, relatando se houve alteração nos padrões do equipamento.

Após as inspeções, os dados dos ativos ficam registrados nos sistemas como os *softwares* de gestão da manutenção e análise de vibração. Utilizando esses dados em forma de gráficos, laudos de análises de óleos e ordens de serviço, é possível determinar se o equipamento deverá ser desligado ou não. Pode-se definir qual peça rotativa está em falha e se será necessário realizar a troca de óleo lubrificante do compressor.

### 3.3 Análise de óleo lubrificante

A análise de óleo possibilita obter detalhes sobre as condições físicas e químicas dos lubrificantes. Segundo Beneduzzi (2012), o monitoramento de contaminantes pode ser igualmente eficaz como primeiro alerta para falhas iminentes da máquina. Quando uma falha de máquina está em progresso, há geração abrupta de resíduos de desgaste, resultando em presença anormal de partículas nos fluidos.

Uma ferramenta útil no acompanhamento do estado dos equipamentos, e a forma mais eficiente de determinar a condição do óleo lubrificante, é conduzir uma análise espectroquímica e um teste de propriedades físicas. Segundo Beneduzzi (2012), uma análise espectroquímica mede a quantidade de metais de desgaste e de outros agentes contaminadores. O teste de propriedades físicas verifica a qualidade do óleo lubrificante. No Quadro 6 é possível visualizar algumas recomendações de níveis de contaminação no óleo lubrificante.

Quadro 5 – Recomendação de níveis de contaminantes

<b>Propriedades</b>	<b>Recomendação</b>	<b>Unidade</b>
VISCOSIDADE A 40°C	54,4 - 81,6	CST
T.A.N - ÍNDICE DE ACIDEZ TOTAL	MÁX. 2,8	mgKOH/g
ÁGUA KARL FISCHER	MÁX. 250	ppm
Si - SILÍCIO	MÁX. 50	ppm
Al - ALUMÍNIO	MÁX. 50	ppm
Cr - CROMO	MÁX. 20	ppm
Fe - FERRO	MÁX. 100	ppm
Cu - COBRE	MÁX. 100	ppm
Pb - CHUMBO	MÁX. 50	ppm
Ni - NÍQUEL	MÁX. 15	ppm

Fonte: Adaptado de: TRENTINI, 2022

Também é importante tomar algumas precauções durante o processo de coleta do óleo, como limpar o local previamente e utilizar os EPI's adequados ao processo. Deve-se utilizar equipamentos adequados para a coleta do óleo, como mangueira transparente, bomba de óleo e frasco para o transporte do óleo. A Figura 8 apresenta como é realizada a coleta de óleo lubrificante.

Figura 8 – Coleta de óleo lubrificante



Fonte: SIL, 2022

### 3.4 Análise de vibrações

Com a realização da análise de vibrações é possível determinar o estado das peças rotativas dos equipamentos. Pode-se detectar diversas características nas peças rotativas como desbalanceamentos, desgastes, falhas e falta de lubrificação. A detecção prematura de falhas nos equipamentos é de suma importância para o prolongamento da vida útil do mesmo e também a redução de custos de manutenção. Ela é realizada após a programação e expedição da ordem de serviço para a inspeção preditiva.

A análise de vibração, realizada por meio de um sensor de vibração instalado no equipamento, enviando dados de forma remota para sistemas de monitoramento. As medições de vibrações no compressor estudado foram realizadas utilizando um coletor de dados SKF Microlog modelo CMXA75. Na Figura 9 é possível visualizar o equipamento de aferimento das vibrações do compressor.

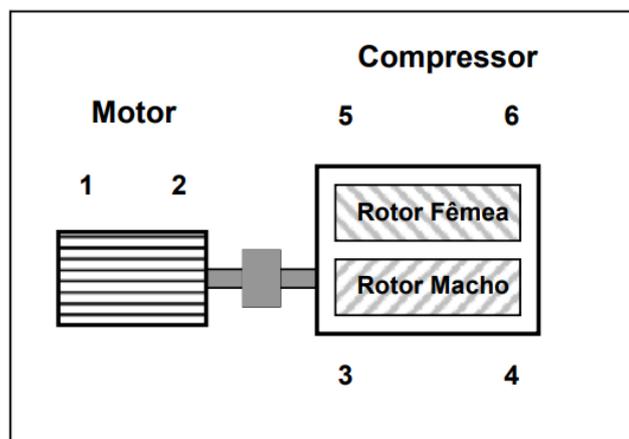
Figura 9 – Coletor de dados SKF



Fonte: Próprio autor, 2022

As medições foram realizadas em pontos predeterminados nas direções vertical, horizontal e axial para detectar problemas mecânicos específicos. Dependendo dos componentes do equipamento a ser analisado, é determinado um método de montagem específico do sensor, para efetivamente capturar os dados com o nível de precisão requerido. Na Figura 10 é possível visualizar os pontos de medição de vibração.

Figura 10 – Pontos de coleta



Fonte: CONTROLS, 2022

Quadro 6 – Descrição dos pontos de coleta

Número	Descrição
1	Mancal do lado oposto ao acoplado (motor)
2	Mancal do lado acoplado (motor)
3	Mancal lado acoplado (lóbulo macho do compressor)
4	Mancal lado oposto ao acoplado (lóbulo macho do compressor)
5	Mancal lado acoplado (lóbulo fêmea do compressor)
6	Mancal lado oposto ao acoplado (lóbulo fêmea do compressor)

Fonte: Adaptado de: CONTROLS, 2022

Os níveis de vibração nas frequências associadas aos principais componentes da máquina (por exemplo, eixos do motor e compressor, rolamentos, engrenagens, rotor) são comparados aos limites de severidade da *Johnson Controls* e aos históricos de tendências do equipamento para determinar a severidade final. Os limites de severidade utilizados pela *Johnson Controls* são extraídos das características do equipamento analisado e de modelos semelhantes. No Quadro 7, é possível visualizar os níveis de vibração máximos recomendados.

Quadro 7 – Recomendação de níveis de vibração

Tipo	Alerta	Alarme	Fonte
Velocidade para motor (mm/s)	4,5	6,5	ISO 10816-1
Velocidade para compressor (mm/s)	7,1	11,3	ISO 10816-1
Envelope (gE) – compressor	9,5	15,0	SKF
Envelope (gE) – motor	5,0	10,0	SKF
Aceleração (G's)	5,0	7,0	JCI

Fonte: Adaptado de: CONTROLS, 2022

### 3.5 Recomendação de lubrificantes

Normalmente os fabricantes de equipamentos deixam especificados os tipos de graxas e óleos lubrificantes nos manuais. Na maioria das vezes o uso dos lubrificantes especificados nos manuais é obrigatório, pois o fabricante vincula a garantia do equipamento com as práticas de manutenção.

Quadro 8 – Recomendação de lubrificantes do fabricante

<b>Descrição</b>	<b>Tipo</b>	<b>GRAU ISO</b>	<b>Núm. NLGI</b>	<b>Marca</b>
Óleo lubrificante	Mineral	68	-	Lubrax
Graxa lubrificante	Poliuréia	-	2	Mobil

Fonte: Adaptado de: CONTROLS, 2022

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

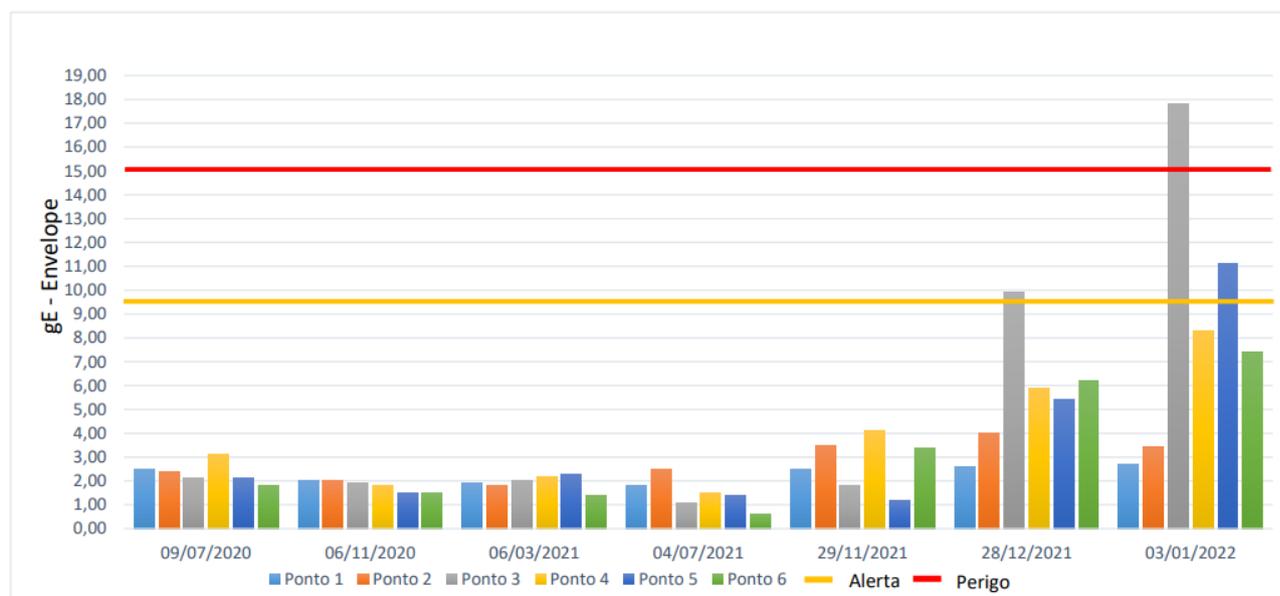
Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos durante a construção deste trabalho.

### 4.1 Recomendação de parada do equipamento

Os equipamentos podem entrar em falha por diversos motivos, mas, máquinas rotativas podem ficar paradas devido principalmente a falhas de lubrificação e excesso de vibração. Essa vibração ocorre quando as peças rotativas estão desbalanceadas e com desgaste, que é causado pela falta de lubrificação.

Para ser possível determinar o momento em que o equipamento deverá ser desligado, foram realizadas análises de vibrações mensais. Dessa forma foi gerado um banco de dados, sendo possível monitorar a assinatura vibratória do compressor através dos gráficos de tendências. Nas figuras abaixo pode-se visualizar esses gráficos dos pontos de medição especificados na Figura 10.

Figura 11 – Resultados das medições de vibração

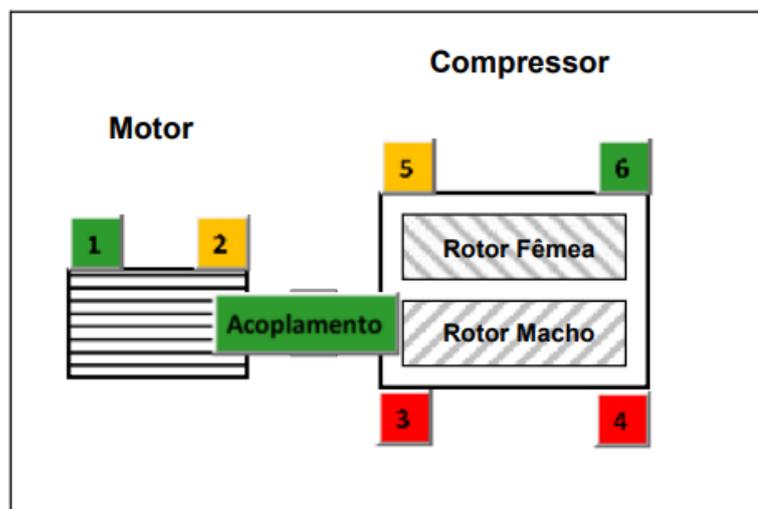


Fonte: FRANAFON, 2022

Analisando o gráfico da Figura 11, foi constatado que no Ponto 3 ocorreu uma anomalia nos níveis de vibração. Segundo o Quadro 7 da seção 3.4, é um nível de alarme para a medição de aceleração de envelope.

Segundo SKF (2009), uma medição de vibração "aceleração de envelope" é a que filtra todos os sinais de vibração, exceto aqueles que emanam de rolamentos e caixas de engrenagem de elementos. Com isso, pode-se concluir que o rolamento do mancal do lado acoplado do compressor apresenta desgaste por falha na lubrificação. Na Figura 12 pode ser visto o resumo dos resultados das medições. Os pontos verdes representam medições normais, amarelos para o sinal de alerta e vermelhos para o sinal de alarme.

Figura 12 – Resumo dos resultados das medições de vibração



Fonte: CONTROLS, 2022

Após as análises e a constatação de situação crítica do Ponto 3, foi realizado o desligamento do compressor. Com o resultado foi solicitada uma visita do técnico em preditiva da *Johnson Controls*, que é a fabricante do equipamento.

O resultado da análise de vibração foi para alerta no motor e perigo no compressor, confirmando os resultados da equipe interna de preditiva da empresa. Foi solicitado pelo fabricante a análise de óleo lubrificante para determinar se o desgaste no rolamento ocorreu devido a falha de lubrificação do mesmo.

Para isso, foi realizada a análise do óleo lubrificante em um laboratório credenciado pela empresa. Também foi realizado o estudo do histórico das análises de óleos lubrificantes anteriores, para determinar se a falha ocorreu por contaminação do óleo lubrificante. No Quadro 9 são apresentados os resultados das análises de óleo lubrificante realizadas no período estudado.

Quadro 9 – Resultados das análises de óleo lubrificante

Dados da Amostra	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	
Nº da amostra	6173/21	11442/21	15411/21	3002/22	
Descr. da amostra	Óleo VG 68	Óleo VG 68	Óleo VG 68	Óleo VG 68	
Data da análise	5/27/21	9/3/21	11/30/21	3/22/22	
Ensaio	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Unidade
Viscosidade a 40°C	87.6	106.4	121.3	74.8	CST
Índice de acidez total	0.1	0.3	0.1	0.5	mgKOH/g
Água karl Fischer	200.3	145.6	1145.6	158.6	ppm
Água e sedimentos	0.0	0.0	-	-	%
Aparência	Límpido	Límpido	Límpido	Límpido	-
Cor	1.5	2.5	2.5	-	-
Si - Silício	4.4	1.7	0	0	ppm
Al - Alumínio	1.5	5.6	0	0	ppm
Cr - Cromo	0.0	1.6	0	0.1	ppm
Fe - Ferro	0.0	2.1	5.8	6.7	ppm
Cu - Cobre	0.0	2.5	0	1.6	ppm
Pb - Chumbo	0.0	4.8	0	0.1	ppm
Ni - Níquel	0.0	2.4	0.1	0	ppm
P - Fósforo	2.7	22.3	2.3	2	ppm
Ca - Cálcio	0.0	0.0	29.1	16.6	ppm
Zn - Zinco	0.0	0.0	3.1	6.5	ppm
Mg - Magnésio	0.0	0.0	1.2	1.4	ppm
Ba - Bário	3.0	0.0	21.5	0.6	ppm
S - Enxofre	356.1	504.2	328.8	425.3	ppm
Na - Sódio	1.8	22.4	22.9	0.2	ppm
K - Potássio	0.0	104.2	3.6	2.4	ppm
Mo - Molibidênio	0.0	0.0	0	0.2	ppm
Cd - Cádmio	0.4	0.6	0	0	ppm
Sn - Estanho	0.0	1.0	0	0.1	ppm
Mn - Manganês	0.0	0.0	0.1	0.1	ppm

Fonte: Adaptado de: TRENTINI, 2022

Após o estudo do histórico de análises de óleo lubrificante foi constatado que as amostras 1, 2 e 3 apresentaram grave alteração em sua viscosidade. A viscosidade é uma das principais características do lubrificante, e quando ocorre uma falha compromete de forma acentuada a lubrificação dos componentes rotativos. Na amostra 3 também é perceptível um elevado nível de contaminação do lubrificante por água.

#### 4.2 Análise de falha do compressor

Após o desligamento do compressor, foi necessário checar a causa raiz do excesso de vibração apresentada. Para isso, foi utilizado o procedimento padrão da empresa para realização do estudo de forma correta. A análise de falha é realizada em conjunto com as principais pessoas envolvidas no processo, operadores, coordenador de manutenção e o mecânico que realiza as inspeções preditivas. A Figura 13 demonstra desdobramentos das causas raízes do problema.

Figura 13 – Desdobramento da causa raiz do problema

5 POR QUÊS						
Possíveis Causa	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Causa
Óleo lubrificante contaminado	Foi encontrada a presença de água em análises de qualidade do óleo lubrificante.	Ocorrência de possíveis vazamentos de água em trocadores de calor ou falta de aplicação de vácuo após manobras de manutenções na linha de amônia.	Falhas em manobras de manutenções na linha de amônia e trocadores de calor.	Falta de procedimento de verificação e validação após a realização de manutenção na linha de amônia e trocadores de calor.		Amônia contaminada por água.

Fonte: Próprio autor, 2022

Tendo realizado os desdobramentos das causas potências, foi possível definir quais foram as principais causas raízes para a falha do compressor. A principal delas foi o fluido refrigerante (amônia) contaminado, que continha aproximadamente 8% de água, sendo recomendado pela *Johnson Controls* que a presença deste contaminante seja mantida abaixo de 0,5%. Quando em concentrações tão elevadas, a água causa contaminação acelerada do óleo lubrificante que entra em contato com a amônia. Após um longo período de funcionamento em tais condições, as características do óleo lubrificante se degradam. A viscosidade é um exemplo, quando alterada causa a má lubrificação dos componentes rotativos, acarretando em desgaste prematuro do equipamento.

#### 4.3 Solução proposta para a contaminação da amônia

A solução proposta para a contaminação da amônia foi um equipamento capaz de reduzir a concentração de água. O equipamento é denominado "purificador de amônia", e realiza a filtração da amônia por meio de sua evaporação. O purificador de amônia possui um valor de aquisição de aproximadamente R\$110,000.00. Na figura 14 é possível visualizar um modelo do purificador.

Figura 14 – Modelo de purificador de amônia



Fonte: Próprio autor, 2022

Segundo Pereira (2016), além das reações químicas a água altera as propriedades da amônia diminuindo seu poder calorífico. A cada 1% de água presente na amônia, o sistema perde 1% de sua capacidade de refrigeração (COP). Aumentando a capacidade de refrigeração do sistema, também é reduzido o consumo de energia, onde a cada 1% de água retirada é reduzido o consumo de energia em aproximadamente 1%.

Atualmente, o consumo médio mensal de energia na unidade é de R\$111,665.15. Com base neste valor, a redução média mensal do consumo de energia seria de R\$8,933.21.

Realizando a divisão do valor de aquisição do purificador, pela redução média de consumo de energia, o retorno do investimento do purificador ocorreria entre 12 e 13 meses de operação, onde a instalação do mesmo já está prevista no orçamento de 2023 da unidade.

#### **4.4 Viabilidade da manutenção preditiva**

Na indústria, a manutenção industrial possui um elevado custo para as empresas, e a manutenção preditiva, por necessitar de mão de obra especializadas e ferramentas específicas pode contribuir para

aumentar ainda mais esta despesa. Por isso, é necessário que a mesma seja eficiente e eficaz em diminuir as quebras imprevistas de equipamentos de alto valor.

Um compressor de amônia de médio porte é capaz de manter grande parte do sistema de refrigeração, quando comparado com os compressores de pequeno porte existentes na unidade. Mas o valor de aquisição deste compressor é incomparavelmente maior, sendo de R\$731,198.00. Na quebra do equipamento, somente a parte do bloco do compressor ficou danificada. O valor de aquisição atualizado para o bloco do compressor estudado é de R\$301,633.00. Já o valor de reparo para o bloco do compressor é de R\$118,000.00. Com isso, foi demonstrado para a empresa, que a manutenção preditiva é de suma importância para que a operação industria.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a avaliação das análises de óleo lubrificante, foi possível inferir que a falha nos rolamentos do compressor de amônia era previsível. Após três análises consecutivas do óleo lubrificante, foi constatada em todas a alteração em sua viscosidade, demonstrando o estado anormal do processo de refrigeração. Na última análise foi encontrado um nível elevado de água no lubrificante, demonstrando o contaminante que estava alterando sua viscosidade.

Como resultado, as análises de vibrações indicaram alterações, em decorrência da falta de lubrificação, apontando desgaste ou falha do rolamento do lado acoplado do compressor no motor, indicando o bloqueio do funcionamento do compressor.

O contaminante encontrado no óleo lubrificante poderia ser rastreado realizando um teste de pureza da amônia, com periodicidade quinzenal ou mensal. Com a aplicação deste simples controle, seria possível solucionar o problema no processo antes que o compressor fosse danificado. Mas com o bloqueio do compressor, a empresa terá um prejuízo significativo, onde cerca de R\$118,000.00 serão gastos para recuperar o bloco do compressor.

Com base nas descrições acima, é possível visualizar a importância da manutenção preditiva, pois quando aplicada de forma correta é um apoio de grande valia para a produção industrial, conseguindo prever com antecedência as paradas de equipamentos por falhas ou desgaste, antecipando o planejamento da manutenção corretiva, diminuindo o tempo de parada do mesmo e as quebras não previstas de equipamentos, que por ventura causariam prejuízos financeiros para a empresa.

## REFERÊNCIAS

- ASM, T. **Curso de Análise Termográfica**. 2022. Disponível em: <<https://asmtreinamentos.com.br/cursos2/curso-de-analise-termografica/>>. Acesso em: 28 de maio de 2022.
- AZEVEDO, J. B.; CARVALHO, L. H.; FONSECA, V. M. **Propriedades reológicas de óleos lubrificantes minerais e sintéticos com degradação em motor automotivo**. Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador, 2005. v. 3, 2005.
- BENEDUZZI, A. H. **Procedimentos de Coletas de Óleo para Análise Preditiva de Turbinas à Gás**. 2012. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94505/beneduzzi\\_ah\\_me\\_ilha.pdf?sequence=1](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94505/beneduzzi_ah_me_ilha.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 31 de junho de 2022.
- CONTROLS, J. **Manual de serviço - Unidades de compressor de parafuso rotativo**. 2013. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1xvLl4VkrIVN5hZTFytJUOkpXCWGdmJFg/view?usp=sharing>>. Acesso em: 13 de novembro de 2022.
- CONTROLS, J. **Relatório de Diagnósticos de Vibração**. 2022. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1CNOu00kfMmRIAicUGXgdPnGPATQ0mRcC/view?usp=sharing>>. Acesso em: 13 de novembro de 2022.
- COSTA, J. V. **Influência da lubrificação em componentes de colhedoras de cana-de-açúcar**. 2021. Disponível em: <<https://www.ifmg.edu.br/arcos/cursos-1/graduacao-1/repositorio-de-tcc/TCCjoovictorcosta.pdf>>. Acesso em: 16 de maio de 2022.
- DANFOSS. **Amônia (NH)**. 2022. Disponível em: <<https://www.danfoss.com/pt-br/about-danfoss/our-businesses/cooling/refrigerants-and-energy-efficiency/refrigerants-for-lowering-the-gwp/ammonia-nh3/>>. Acesso em: 29 de novembro de 2022.
- FELIX, E. P.; CARDOSO, A. A. **Amônia Atmosférica: Fontes, Transformação, Sorvedouros e Métodos de Análise**. Universidade Estadual Paulista, Araraquara - SP, 2004. v. 27, 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/pwqtJLFTTtKPM6MYxC5MfYx/?lang=pt>>. Acesso em: 13 de maio de 2022.
- FIALHO, A. B. **Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. [S.l.]: Érica, Inc., 2003.
- FRANAFON, G. **Relatório de vibrações do compressor amônia RWF**. 2022. Disponível em: <[https://docs.google.com/presentation/d/1OuyN7bby\\_DvGRzj-goPqZMb\\_Z9vvmFPD/edit?usp=sharing&ouid=116999474019589266898&rtopof=true&sd=true](https://docs.google.com/presentation/d/1OuyN7bby_DvGRzj-goPqZMb_Z9vvmFPD/edit?usp=sharing&ouid=116999474019589266898&rtopof=true&sd=true)>. Acesso em: 13 de novembro de 2022.
- FREITAS, L. F. **Elaboração de um plano de manutenção em uma pequena empresa do setor metal mecânico de Juiz de Fora com base nos conceitos da manutenção preventiva e preditiva**. 2016. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/mecanica/files/2016/07/TCC-La%C3%ADs-Fulg%C3%AAncio-Freitas.pdf>>. Acesso em: 16 de maio de 2022.

HERNANDES, P. **Análise de óleo: tudo o que você precisa saber sobre o assunto.** 2022. Disponível em: <<https://www.alsglobal.com/pt-br/news/artigos/2018/07/analise-de-leo-tudo-o-que-voc-precisa-saber-sobre-o-assunto#:~:text=A%20an%C3%A1lise%20de%20%C3%B3leo%20possibilita,redu%C3%A7%C3%A3o%20de%20custos%20com%20manuten%C3%A7%C3%A3o.>> Acesso em: 29 de maio de 2022.

LANSDOWN, A. R. **Lubrication and Lubricant Selection: A practical guide.** 3. ed. [S.l.]: Maintenance Engineering Handbook, 2007.

LIMA, F. **Análise de vibração: conceito e aplicação na Manutenção Predial.** 2022. Disponível em: <<http://manutencaopredial.blog.br/analise-de-vibracao-conceito-e-aplicacao-na-manutencao-predial/>>. Acesso em: 29 de maio de 2022.

MARCASSO, G. **Estudo de caso da falha de um motor diesel 9.0 l John Deere de uma colhedora de cana de açúcar John Deere 3522 2l.** 2017. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/156959?locale-attribute=en>>. Acesso em: 13 de novembro de 2022.

MELO, F. B. de. **Lubrificação: sistema de planejamento.** 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/1551/1/Fabio%20Billy%20de%20Melo%20120779.pdf>>. Acesso em: 13 de novembro de 2022.

NETO, J. C. da S.; LIMA, A. M. G. de. **Implantação do Controle de Manutenção.** 2002.

PAIVA, J. de S.; SODRE, R. B.; CASTRO, A. de O. **O uso de ferramentas de gestão como facilitador do plano de manutenção industrial.** ITEGAM-JETIA, 2019. v. 5, n. 19, p. 75–81, 2019.

PEREIRA, R. **Estudo da contaminação por água e sua influencia no consumo de energia em um sistema de refrigeração por amonia.** 2016. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/48058283-Estudo-da-contaminacao-por-agua-e-sua-influencia-no-consumo-de-energia-em-um-sistema-de-ref.html>>. Acesso em: 02 de novembro de 2022.

PROVATTI, R. **A indústria alimentícia e a refrigeração.** 2008. Disponível em: <<https://ciencialeite.com.br/noticia/2752/a-industria-alimenticia-e-a-refrigeracao>>. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

SANTOS, Y. F. **A utilização da termografia como técnicas de manutenção preditiva na indústria de fios.** 2018. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013451.pdf>>. Acesso em: 13 de novembro de 2022.

SIL. **Análise de Óleo.** 2022. Disponível em: <<https://www.sil.net.br/servico/analise-de-oleo/>>. Acesso em: 31 de junho de 2022.

SKF. **SKF Machine Condition Advisor.** 2009. Disponível em: <<https://www.sermatecnet.com.br/view/img/tabela/53a9cecc509ed.pdf>>. Acesso em: 04 de junho de 2022.

SKF. **Noções básicas dos dados técnicos de graxas**. 2022. Disponível em: <<https://www.skf.com/br/products/lubrication-management/lubricants/Understanding-technical-data-of-greases>>. Acesso em: 28 de maio de 2022.

SPAMER, F. R. **Técnicas preditivas de manutenção de máquinas rotativas**. 2009. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

TRENTINI, D. P. **Laudo de Análise número 15411/21**. Labolmac - Análises Químicas, 2022. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/1pHWj0iVailzY0CS4cubiixQ7UkUq1tMs/view?usp=sharing>>. Acesso em: 13 de novembro de 2022.

TREVISAN, R. **Utilização de medições ultrassônicas de vibrações e da emissão acústica para implantação de lubrificação base-condição visando a prevenção de falhas em mancais de rolamentos**. 2011. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/35619>>. Acesso em: 13 de novembro de 2022.

VAPORTEC. **O uso da amônia na refrigeração industrial**. 2022. Disponível em: <<https://www.vaportec.com.br/ind/2016/11/25/o-uso-da-amonia-na-refrigeracao-industrial/>>. Acesso em: 12 de novembro de 2022.

VILLANUEVA, M. M. **A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação**. 2015. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013451.pdf>>. Acesso em: 13 de novembro de 2022.

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