

IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO PREDITIVA POR ANÁLISE DE VIBRAÇÃO NUM CONJUNTO MOTOR E BOMBA APLICADO (UM ESTUDO DE CASO).

SILVA, Tiago Avelino Flávio

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. tiagoavelinoeng.mecanico@gmail.com

NASCIMENTO, Guilherme Marquezan

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. marquezan.guilherme@gmail.com

Resumo

O presente artigo é um estudo de caso que demonstra a importância do monitoramento de vibração como uma estratégia de manutenção para equipamentos rotativos, técnica bastante utilizada pela manutenção preditiva. A manutenção preditiva por meio da análise de vibração é realizada com base em dados coletados por equipamentos específicos que detectam condições de vibração excessiva, o diagnóstico e a análise de tendência de falha são realizados com base nesses dados. É apresentada informações sobre os principais tipos de manutenção existentes, com foco em manutenção preditiva por análise de vibração, onde são abordadas duas bombas centrífugas dentro do processo produtivo de uma indústria de extração de óleo de soja, com o intuito de demonstrar por meio de ambos conjuntos como é realizado as coletas e as análises de vibração, bem como são controlados tais informações. O objetivo é evidenciar a importância que uma manutenção preditiva bem aplicada pode ter em uma planta fabril. O histórico de informações e gráficos de vibração do equipamento do estudo de caso foram fornecidos pela empresa terceirizada, contratada pela indústria para gerir a manutenção preditiva de equipamentos estrategicamente indicados, os ditos equipamentos vitais. Os resultados obtidos foram detecções e correções planejadas, por análise de vibração, de falhas dos componentes de um conjunto motor e bomba, comprovando a eficiência do método de coleta e análise de vibração como técnica efetiva de manutenção preditiva para equipamentos rotativos.

Palavras-chave: Manutenção preditiva, Análise de Vibração, Bomba Centrífuga, Extração de óleo vegetal.

Abstract

This article is a case study that demonstrates the importance of vibration monitoring as a maintenance strategy for rotating equipment, a technique widely used by predictive maintenance. Predictive maintenance through vibration analysis is performed based on data collected by specific equipment that detects excessive vibration conditions, diagnosis and failure trend analysis are performed based on this data. Information is presented on the main types of existing maintenance, with a focus on predictive maintenance by vibration analysis, where two centrifugal pumps are approached within the production process of a soybean oil extraction industry, in order to demonstrate through both sets how collections and vibration analyzes are carried out, as well as controlling such information. The objective is to highlight the importance that a well applied predictive maintenance can have in a manufacturing plant. The information history and vibration graphs of the case study equipment were provided by the outsourced company, hired by the industry to manage the predictive maintenance of strategically indicated equipment, said vital equipment. The results obtained were planned detections and corrections, by vibration analysis, of failures of the components of a motor and pump assembly, proving the efficiency of the method of collection and analysis of vibration as an effective predictive maintenance technique for rotating equipment

Keywords: Predictive maintenance, Vibration Analysis, Centrifugal Pump, Vegetable oil extraction.

1. Introdução

Este artigo tem como objetivo demonstrar a importância da técnica de manutenção preditiva por meio de análises de vibrações em uma empresa que adota o estilo de produção ininterrupta. A manutenção preditiva é baseada em dados coletados durante o monitoramento e inspeções, onde a frequência da manutenção e a responsabilidade, bem como a forma de aceitação, são determinadas de acordo com o tipo de equipamento. Várias técnicas podem ser usadas na estratégia de manutenção preditiva, como a análise de vibração, ultrassom, inspeção visual e técnicas de análise não destrutiva. Com esta estratégia, é possível prever a vida útil, antecipando a necessidade de realização de serviços de manutenção em subconjuntos de máquinas e dispositivos, eliminando a possibilidade de desmontagens desnecessárias, aumentando a vida útil do sistema de produção e predefinindo interrupções na produção. Além disso, se a manutenção preditiva for estabelecida como estratégia de manutenção, é possível reduzir a manutenção periódica, reduzir os custos de manutenção e proporcionar aumento de produtividade.

O objeto de estudo deste artigo é o sistema de recuperação de hexano por meio da absorção e dessorção em óleo mineral de uma indústria de extração de óleo de soja, a circulação do óleo mineral é feita por dois conjuntos de bombas centrífugas acopladas em motores por indução, tais conjuntos são os únicos pontos do sistema que estão submetidos a análise de vibração, portanto para estudar a estratégia de manutenção preditiva no sistema será analisado a estratégia para as bombas.

O método de manutenção preditiva usando análise de vibração mecânica leva em consideração o estado da máquina por meio de um conjunto de vibrações e análise periódica e contínua de um ou mais parâmetros relevantes. Com base no conhecimento e análise de fenômenos de vibração medidos por dispositivos específicos, é possível detectar mudanças excessivas na vibração do equipamento, permitindo diagnóstico e análise da tendência ao fracasso. Portanto, é um método que permite traçar um plano de ação, corrigir o problema, evitando paradas desnecessárias e substituições de peças. O método de análise de vibração mecânica é capaz de detectar e monitorar danos à máquina e aos elementos do dispositivo. Entre as falhas pode ser citado: Rolamentos quebrados, engrenagens com defeito, desalinhamento do acoplamento, rotor desequilibrado, deformação nos eixos e folgas excessivas [1].

1.1 Motivação

A pesquisa teve como motivação a situação atual da manutenção na empresa estudada, mesmo com a manutenção preventiva e preditiva a disposição do setor de manutenção, a mais utilizada é a corretiva como ferramenta principal de estratégia de manutenção, uma predominância de aproximadamente 80%. A cultura da empresa para as manutenções preventivas e preditivas é de tratá-las sem notoriedade. As lideranças justificam que essa situação ocorre pela grande porcentagem de maquinários antigos que operam na planta, mas essa justificativa é uma forte razão para que sejam aplicadas estratégias de manutenção mais modernas e eficientes, como é a análise de vibração.

A razão da produção deste artigo é dada pelo ânimo de demonstrar que a manutenção preditiva usando a análise de vibração é uma ferramenta eficaz, que tende a somar no campo de atuação a qual for aplicada, e não o contrário. Colaboradores da empresa afirmam que a análise de vibração para a empresa é um mal investimento, e através deste artigo será demonstrado que realmente será um mal investimento se não for bem aplicado ou for negligenciado. Cabe à gestão de manutenção ter o controle total da situação, aplicar bem a ferramenta e explorar o máximo que ela oferece.

2. Fundamentação teórica

2.1. A manutenção de máquinas e equipamentos

Atualmente a manutenção é existente desde pequenas a grandes indústrias. Seja de forma mais superficial ou mais detalhada, a manutenção desempenha um papel crítico e essencial em uma organização lucrativa ou não. O termo “manutenção” deriva do vocabulário militar, que significava manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material num nível constante”. A indústria passou a usar o termo manutenção como uma

sobreposição à palavra conservação, em meados da década de 50. E é exatamente o que as indústrias

e negócios querem com a manutenção, conservar a linha de produção em pleno funcionamento, e consequentemente manter o lucro diminuindo as despesas [2].

No entanto, como tudo é primitivo no início, a manutenção era puramente restauradora e lenta. Pessoas não qualificadas recebiam a tarefa de consertar uma máquina de grande porte e alto valor, o que ocasionava manutenções mal feitas com falhas não corrigidas. Houve momentos na história que foram essenciais para a manutenção que se conhece hoje; primeiro foi o momento em que a Ford implantou uma produção em série, e a fábrica começou a formular um plano mínimo de produção, por isso sentiram a necessidade de formar uma equipe que pudesse consertar as máquinas-ferramenta no menor tempo possível. Como resultado, surgiu um departamento subordinado à produção cujo objetivo básico é realizar manutenção corretiva. E o segundo momento foi no pós Segunda Guerra Mundial, momento no qual se aumentou significativamente a necessidade por uma produção mais ágil, sendo confiável para intervenções corretivas. Depois, há o conceito de manutenção preventiva, cujo objetivo não é apenas corrigir falhas, mas também evitá-las. Depois disso, o conceito de manutenção e operação possuem o mesmo peso [3].

Em seguida, surge o conceito de manutenção preventiva, que visa não só corrigir falhas, mas também evitá-las; logo, o conceito de manutenção e operação possuem igual relevância. Após longos anos de avanços tecnológicos, atualmente pode-se usar recursos para auxiliar e determinar planos de manutenção eficazes que preveem falhas futuras e as eliminam antes de ser necessário o uso da manutenção corretiva. Estamos falando da manutenção preditiva. [3].

2.1.1 Manutenção Preventiva

A manutenção planejada tem o objetivo de tratar os principais sintomas dos equipamentos, buscando resolvê-los antes mesmo da geração de uma falha ou quebra que necessite a parada imediata de um equipamento produtivo. Uma das estratégias da manutenção planejada é a manutenção preventiva que se conceitua como um trabalho pré-determinado realizado através de planejamento com o objetivo de prevenir o desgaste ou falha súbita de um equipamento ou de seus componentes. A manutenção preventiva ajuda a [4].

- Proteger os ativos e prolongar a vida útil dos equipamentos de produção;
- Melhorar a confiabilidade do sistema;
- Redução do custo de substituição;
- Diminuir o tempo de inatividade do sistema;
- Reduzir o prejuízo.

Além do supracitado, a manutenção preventiva auxilia na redução e monitoramento de falhas mecânicas e no controle de equipamentos ou no processo. Dessa forma, além do tempo de produção perdido e os custos envolvidos para a interrupção e/ou substituição de equipamentos, peças ou componentes, pode-se evitar o risco de lesão nos operadores e de uma exposição crítica a agentes químicos e/ou de agentes físicos com a manutenção preventiva [4].

2.1.2 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva conta com a coleta de dados por meio de monitoramentos e inspeções, cuja frequência e métodos são determinados para cada equipamento, por exemplo, o que será discutido neste trabalho: Um plano de manutenção preditiva será analisado em duas bombas centrífugas, do modelo Meganorm, utilizadas no processos de extração do óleo vegetal, coletando dados por meio de análise de vibração no sistema de rotação da bomba [5].

Com a manutenção preditiva, pode-se calcular a vida útil de cada componente que compõe o equipamento, e de acordo com as variáveis às quais o equipamento está exposto, essa vida útil pode ser ampliada ou reduzida em relação ao que o fabricante garante. Também é possível prever interferências em determinados elementos, eliminando a possibilidade de desmontagens desnecessárias. Assim, a manutenção preditiva é utilizada como ferramenta para aumentar a confiabilidade da produção e reduzir os custos de

manutenção [5].

A manutenção preditiva baseada na análise de vibração tem suas informações coletadas periódica e continuamente por determinados equipamentos. Graças aos dados coletados, conhecimento dos fenômenos de vibração e algumas normas como a ABNT NBR 10082, 10272, 10273 e 15928 e a norma ISO 10816; é possível detectar vibrações excessivas que vão além dos parâmetros operacionais e fazer um diagnóstico e tendência de falha.

Conceitua manutenção preditiva como sendo [6].

Uma filosofia que evita a tendência à super manutenção (por exemplo, a manutenção e os reparos excessivos) a que estão propensos os enfoques convencionais de manutenção preditiva. Também é uma filosofia de promoção de atividades econômicas de MP com base principalmente em uma pesquisa de engenharia sobre os ciclos de manutenção otimizados.

O mesmo definiu oito metas para a manutenção preditiva, que são [6]:

- Determinar o melhor período para manutenção;
- Reduzir o volume do trabalho de manutenção preventiva;
- Evitar avarias abruptas e reduzir o trabalho de manutenção não planejado;
- Aumentar a vida útil das máquinas, peças e componentes;
- Melhorar a taxa de operação eficaz do equipamento;
- Reduzir os custos de manutenção;
- Melhorar a qualidade do produto;
- Melhorar o nível de precisão da manutenção do equipamento.

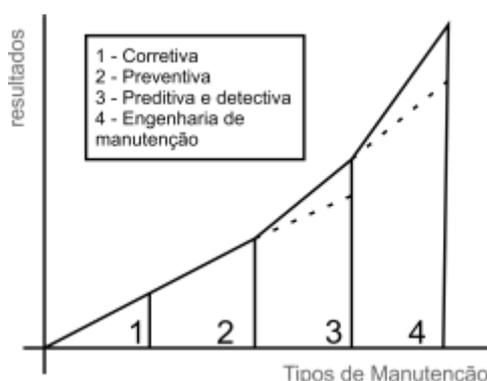
A manutenção preditiva é um programa de manutenção preventiva acionado por condições. A manutenção preditiva analisa as condições mecânicas e outros indicadores similares para ver o tempo de falha de cada máquina e assim conseguir prever uma manutenção [7].

2.1.3 Manutenção Detectiva e Engenharia de Manutenção

A manutenção detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis aos setores de operação e manutenção. A manutenção detectiva passou a ser mencionada na literatura a partir da década de 90 e caracteriza-se por permitir a detecção e correção das falhas, mantendo o sistema operando, de acordo com o autor sua importância cresce a cada dia em virtude da maior automação das plantas e utilização de microprocessadores [8].

Já a engenharia de manutenção é uma nova concepção que constitui a segunda quebra de paradigma na manutenção. Praticar engenharia de manutenção é deixar de consertar continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, evitar os problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, do feedback ao projeto, interferir tecnicamente nas compras. Ainda mais: aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do primeiro mundo [8].

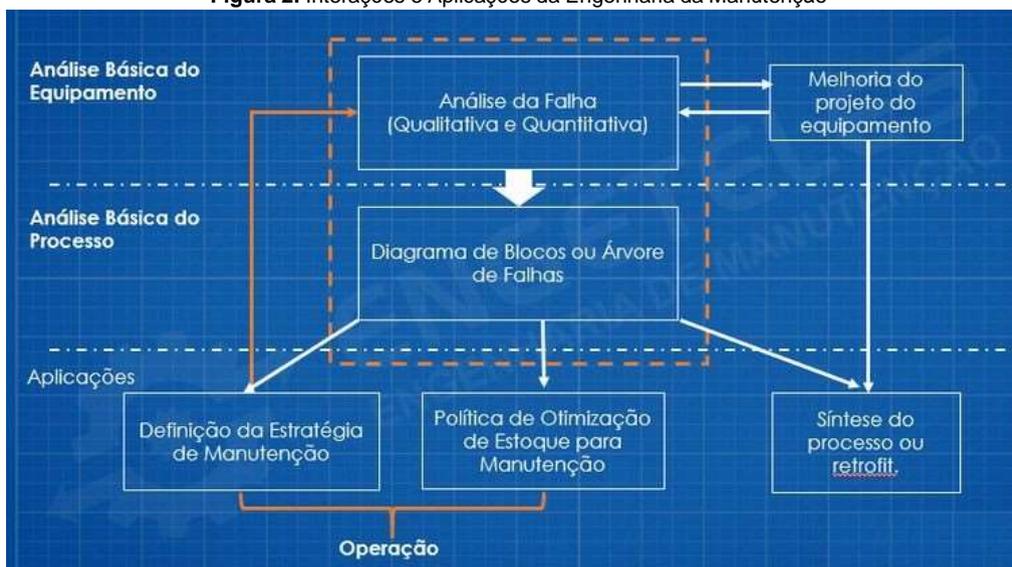
Figura 1: Resultados x Tipos de Manutenção



Fonte: Pinto e Xavier (2001) [8].

A figura 1 mostra a melhoria de resultados, à medida que se evolui dentre os tipos de manutenção. As duas mudanças de inclinação representam as quebras de paradigma. É notório o salto quando se adota a engenharia de manutenção.

Figura 2: Interações e Aplicações da Engenharia da Manutenção



Fonte: Engeteles

A Engenharia da Manutenção tem como meta analisar e registrar falhas, realizar melhorias no projeto do equipamento, otimizar o estoque para a manutenção e definir estratégias de manutenção para o aumento da confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade.

2.2. Manutenção preditiva por análise de vibração

Uma das técnicas de manutenção preditiva é o método de análise de vibração. A vibração de um ou mais parâmetros importantes é regularmente medida para entender o estado da máquina, prolongando assim a vida útil do equipamento, evitando paradas inesperadas e falhas onde as peças necessárias são substituídas. A manutenção preditiva por análise de vibração é concluída com base nos dados coletados por equipamentos específicos que detectam condições de vibração excessiva, e o diagnóstico e a análise de tendência de falha são realizados com base nesses dados. Portanto, quaisquer defeitos ou deficiências podem ser apontados com antecedência e um plano de ação para corrigir o problema pode ser traçado para evitar paradas acidentais e desnecessárias do equipamento [1].

O registro da vibração é feito por sensores, que convertem a energia mecânica da vibração em sinais elétricos, estes colocados em posições estratégicas da máquina. Por sua vez, os sinais elétricos são enviados para o equipamento de gravação ou analisador de vibração. Os dados são então armazenados e interpretados por especialistas como se fosse uma radiografia dos componentes da máquina [1].

Os sistemas e instrumentos utilizados para monitorar regularmente a vibração podem ser divididos em três níveis; o medidor de vibração global (sem filtro) que é um instrumento capaz de medir o valor da vibração global em uma ampla faixa de frequência. Os resultados da medição são comparados com padrões comuns (especificações) ou valores de referência estabelecidos para cada máquina. Embora o medidor de vibração de nível global tenha uma boa capacidade de detectar falhas de máquinas, ele se limita a identificar e diagnosticar certos tipos de falhas mecânicas. O medidor de vibração com análise de frequência (com filtro) é um instrumento que pode medir o nível geral de vibração em uma ampla faixa de frequência, ele pode refletir o nível de vibração dos principais componentes de frequência no espectro. Esses espectros são os mais importantes para monitorar. Um analisador de frequência de transformada de Fourier é um dispositivo que realiza a transformação de Fourier em um sinal e gera um espectro de frequência. São indicados para uma situação em que a análise de frequência com uma largura de filtro muito estreita é necessária. Independente do sensor a se utilizar todos devem ser calibrados periodicamente, por instituição certificada e autorizada para

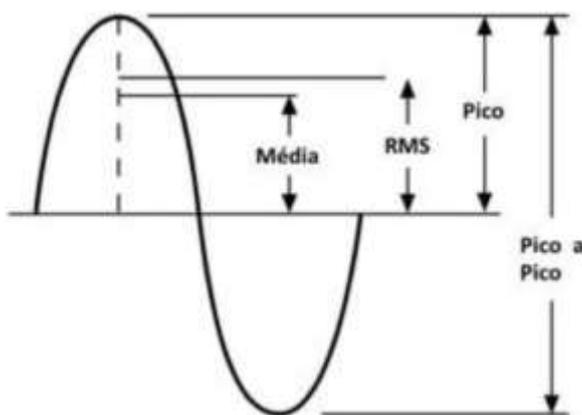
tal atividade [1].

2.2.1 Características da Vibração Mecânica

O comportamento dos componentes de uma máquina, quando submetidos a força interna ou externa, pode ser chamado de vibração. Devido a vibrações excessivas, muitas falhas mecânicas são geradas, portanto a técnica de análise destas vibrações é importante para o acompanhamento da condição da máquina. Na coleta de vibração mecânica é gerado um sinal, onda mecânica, que pode ser caracterizado por sua amplitude e frequência. O número de vezes que um certo comportamento se repete em um período de tempo, pode ser considerado como frequência, sendo um indicativo do tipo e causa da falha da máquina. O tamanho do sinal é considerado como a amplitude, sendo um indicativo do grau da falha na máquina, se esta amplitude está alta, maior será a vibração e o grau do problema. O nível da amplitude de medição pode ser expressado de quatro maneiras diferentes: RMS, Valor- Médio, Pico-a-Pico e Pico [18].

A vibração explicada de um modo simples pode ser relacionada a algo que vibra, como uma corda de violão. O som que se ouve vem da força que o faz vibrar. A corda, que estava em repouso, após a força aplicada, agora desliza de um lado para o outro, atingindo seu ponto máximo de um lado e o ponto máximo do outro; este ponto máximo que a corda atinge a partir do ponto de repouso é denominado amplitude de deslocamento. Quantas vezes uma corda executa este ciclo em um determinado tempo é chamado de frequência de vibração. Ele também vibra a uma determinada velocidade que, se variável, assume aceleração [9].

Figura 3: Valores de Onda



Fonte: Athos eletronic, (2016).

2.2.2 Parâmetros de Monitoramento

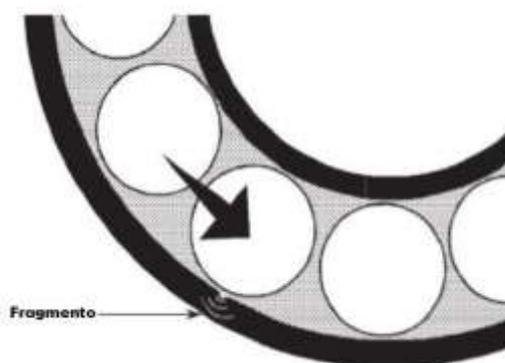
Na coleta de informações da condição da máquina, são utilizadas várias técnicas e parâmetros de medição para detectar os possíveis defeitos. Em análise de vibração, são utilizadas múltiplas técnicas e parâmetros de medição de modo a se coletar as informações mais significativas da condição da máquina para cada defeito. Os parâmetros mais utilizados são a velocidade de vibração, aceleração de vibração e envelope de aceleração [12].

Ao utilizar a velocidade de vibração como parâmetro, é possível detectar falhas como desalinhamento, desbalanceamento, folgas e falhas em rolamentos nos estágios mais avançados. Falhas deste tipo são consideradas como de baixa frequência, pois ocorrem próximo da velocidade de rotação e dos primeiros harmônicos da máquina. As altas frequências são consideradas a partir do décimo harmônico. Com o parâmetro da aceleração se detecta falhas como falta de lubrificação em mancais, cavitação em bombas centrífugas e eventos que ocorrem em alta frequência, ou seja, acima do décimo harmônico do conjunto [12].

O parâmetro de envelope de aceleração se baseia em uma técnica que é responsável por filtrar vibrações periódicas e realçar os efeitos impulsivos (choques) e de modulação. Nesta técnica os eventos harmônicos em baixa frequência são filtrados para ressaltar os de alta frequência. Com este parâmetro é possível detectar falhas iniciais de rolamento, engrenagem, algumas folgas e falhas impulsivas (choques) [12].

As falhas iniciais em rolamentos e engrenagens se caracterizam por gerar sinais de vibração com baixa amplitude e alta frequência em relação a outras falhas. Neste ponto que a técnica de envelope é utilizada, ela filtra os sinais de vibração em baixa frequência e realça a faixa de frequência que apresenta defeitos em componentes de rolamento. Esta técnica é a mais utilizada para detectar defeitos em rolamentos, pois a vibração da estrutura e dos componentes móveis pode esconder as falhas, por se tratar de amplitudes baixas e frequências altas. Um exemplo prático é o caso de um rolamento possuir defeito em sua pista externa, os elementos rolantes ao passar pelo defeito geram um pequeno sinal de vibração na frequência do defeito. Esse sinal, por ser de baixa energia, é perdido por vibrações estruturais e de componentes móveis na máquina [11].

Figura 4: Rolamento com falha no anel



Fonte: SKF Reliability Systems [11].

A figura 4 ilustra o defeito em um anel externo de rolamento e o pequeno sinal de vibração captado na técnica de envelope.

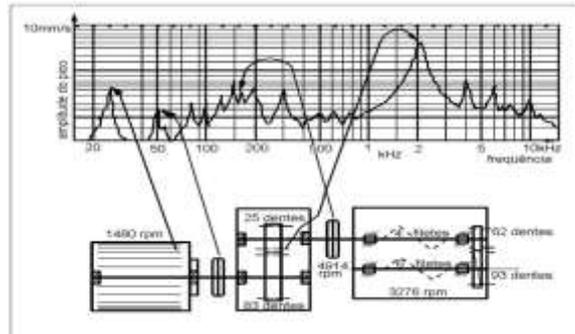
2.2.3 Equipamentos para análise de vibração

A análise por vibrações é geralmente dada em motores, caixas de engrenagens, compressores, turbinas, bombas centrífugas, etc; sempre relacionado a elementos que possuem rotação. O método se baseia em identificar as frequências específicas de vibração desses elementos, o aumento na amplitude de vibração é um resultado direto de falha no elemento rotacional. Baseando-se na velocidade de rotação, serão calculadas e comparadas medições para identificar um modo de falha.

Os dados de vibração da máquina são como uma radiografia de seus componentes e, assim como uma radiografia requer um equipamento especial, o registro da vibração da máquina requer um dispositivo específico. Para registrar vibrações, sensores ou transdutores são colocados em pontos estratégicos da máquina; eles convertem a energia mecânica das vibrações em sinais elétricos que são enviados para

dispositivos de registro de vibração ou analisadores. A forma mais comum de representação é a aceleração de vibração dada em função da frequência ($\text{mm/s}^2 \times \text{Hz}$) com a medição de vários pontos de amplitude de vibração diferentes mostrados em formas de pico, pode-se rastrear as mudanças de cada ponto de vibração ponto a ponto e distinguir defeitos de componente como ilustrado na figura 5:

Figura 5: Exemplificação de análise de vibração



Fonte: Manuais industriais [15]

Analisando a imagem acima, podemos observar picos de vibrações anormais, e com base na análise, podemos confirmar a falha do equipamento. Cada componente da máquina tem sua própria frequência de ressonância; em condições normais de trabalho, duas frequências semelhantes não serão registradas e, se houver um pico, ele aparecerá no espectro.

Finalmente, os instrumentos usados para análise de vibração são testadores, analisadores e vibrômetros, hoje encontrados em apenas um instrumento. No entanto, esses instrumentos são inúteis sem sensores, eles convertem vibrações em pulsos elétricos e é possível encontrar três sensores mais comuns. O tipo eletrodinâmico pode detectar vibrações absolutas acima de 3 Hz, o piezoelétrico pode detectar vibrações absolutas acima de 1 Hz, e o tipo indutivo pode detectar vibrações relativas acima de 0 Hz, que podem ser usadas para medir o deslocamento estático e dinâmico. Este último é atualmente o mais usado no mercado. Os instrumentos de análise de vibração e seus respectivos sensores podem medir a amplitude e a frequência da vibração, de forma que a fonte da vibração possa ser identificada e monitorada [13].

Figura 6: Analisador de vibração



Fonte: Autor

Figura 7: Sensor piezoelétrico



Fonte: Autor

A figura 6 ilustra o analisador de vibração utilizado nas análises de vibração da indústria estudada, trata-se de um Analisador de vibração Dual-Channel, modelo RH802 da Ronds, e este tem como sensor o demonstrado na figura 7, um sensor piezoelétrico.

2.3. Bomba centrífuga - O objeto de estudo

Em engenharia, uma bomba centrífuga é chamada de turbomáquina, e bombear líquido é sua função exclusiva. Uma bomba consiste basicamente em corpo de bomba, eixo, mancais e impulsor, porém, se não houver motor para transmitir potência ao rotor que bombeia o fluido, tudo isso não tem sentido [9].

A bomba estudada é a Meganorm 050-032-200 GG produzida pela KSB. Os termos são explicados da seguinte forma: Meganorm é o modelo da bomba, 050 é o diâmetro nominal do flange de sucção; 032 é o diâmetro do flange de exaustão e 200 é o diâmetro nominal do rotor, que pode ser alterado de acordo com a pressão e carga necessárias; GG se refere ao material do corpo da bomba e do rotor, neste caso ambos de ferro fundido. É uma bomba com corpo espiral simples, o rotor é o radial fechado com palhetas curvadas, a vedação do eixo é composta por luva protetora do eixo e selo mecânico simples, rolamentos radiais de esfera, e a lubrificação é por óleo lubrificante.

Figura 8: Bomba Meganorm



Fonte: Manual técnico KSB Meganorm

(http://www.ksb.com.br/php/produtos/download.php?arquivo=MT_2748_5_01_PB_Revised.pdf&tipo=tecnicos)

A figura 8 ilustra uma bomba centrífuga KSB modelo Meganorm idêntica às que são utilizadas no bombeamento das colunas de absorção e dessorção da empresa analisada. Não foi possível tirar fotografias do conjunto pois o equipamento está instalado em uma área classificada com alto risco de explosão, e é proibido o uso de celulares e/ou câmeras fotográficas.

2.3.1 Manutenção em bombas centrífugas

Uma bomba centrífuga, como qualquer outro equipamento, necessita passar por inspeções e manutenções periódicas que englobam vários fatores como: Pressão de sucção, nível de óleo, temperatura de operação, ruídos e vibrações anormais, lubrificação, troca de óleo e desmontagens para análise de mancais, rotores, acoplamentos e juntas. O ideal é que seja elaborado, ou seguido conforme fabricante, um plano de manutenção que tenha o intuito de melhorar e manter a disponibilidade do equipamento, evitando assim falhas inesperadas.

Figura 9: Plano de Manutenção

Pontos de Supervisão	Tipos de supervisão			
	Semanal	Mensal	Semestral	Anual
Ponto operação da bomba	X			
Pressão de sucção.	X			
Vibrações e ruídos anormais	X			
Nível de óleo	X			
Vazamentos das gaxetas (se houver)	X			
Temperatura dos mancais		X		
Intervalo de troca de óleo		X		
Parafusos de fixação da bomba, do acionador e da base			X	
Alinhamento do conjunto bomba-acionador			X	
Lubrificação do acoplamento (quando aplicável)			X	
Substituir engaxetamento se necessário (quando aplicável)			X	
Verificar selo mecânico, se suas faces não estão desgastadas, arranhadas ou quebradas. Substituir se necessário			X	
Desmontar a bomba para manutenção. Após limpeza inspecionar estado dos mancais, das juntas, dos rotores e a o acoplamento.				X

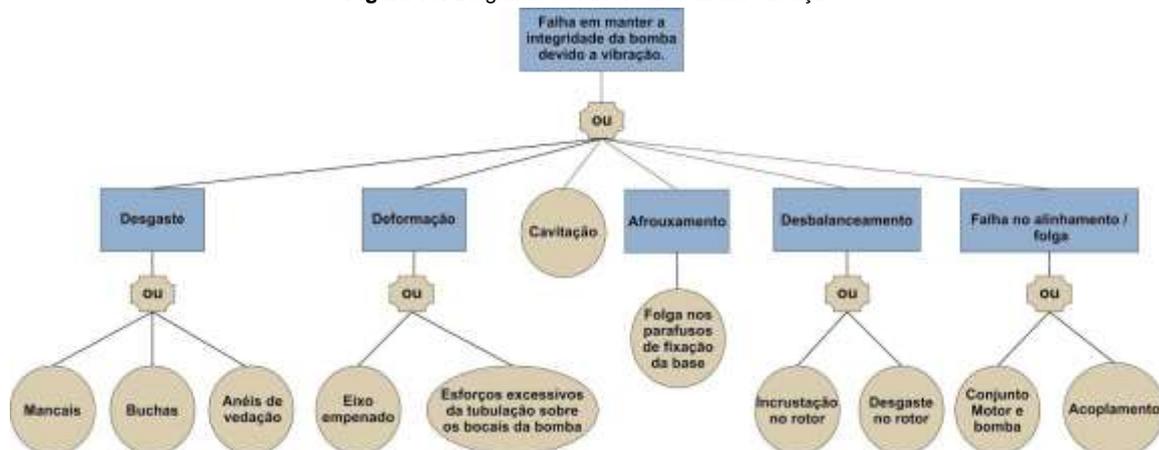
Fonte: KSB (2007)

O plano de manutenção possui conceitos de manutenção preventiva e preditiva. O conceito de manutenção preventiva é evidenciado pela atuação efetuada antes de uma falha ocorrer e a um determinado intervalo de tempo. A manutenção preditiva é evidenciada nas verificações de parâmetros como, análise de ruídos e vibrações, temperatura de partes do equipamento e de pontos de operação. Quando este plano de manutenção é adotado, as falhas e quedas no desempenho são minimizadas, aumentando assim a disponibilidade do equipamento e atendendo a demanda da produção.

2.3.2 Falhas em bombas centrífugas

Um plano seguido corretamente pode evitar falhas inesperadas no equipamento, ao aplicar a manutenção preditiva é possível detectar falhas específicas de vibração. Estas falhas são ocasionadas por desgastes, deformação, afrouxamento, desbalanceamento e folgas.

Figura 10: Diagrama de Árvore de Falhas: Vibração



Fonte: Castilla (2018)

Rotor quebrado, palhetas danificadas, desalinhamento ou desvios de excessivos de eixo, acoplamento desbalanceado, desgastes em mancais, desgastes em rolamentos e folgas nas fixações da base são as falhas mais comuns ao realizar a análise de vibração como método preditivo.

3. A importância dos conjuntos no processo produtivo

A indústria de extração de óleo usa, em seu sistema produtivo, o hexano em forma líquida para extrair o óleo da soja. Esse solvente é misturado à massa e ligado ao óleo, separando-o da massa, esta depois de segregada do óleo+solvente torna-se o farelo de soja, com alto teor de proteína. Atualmente este farelo é o principal produto no mercado interno e principalmente no mercado externo da empresa analisada. O hexano utilizado no processo é separado e recuperado do óleo através do processo de evaporação e condensação, por ser um solvente altamente volátil ele evapora antes do óleo e na forma gasosa passa por três câmaras onde sofrerá a condensação e retornará ao processo.

Porém esse processo de recuperação do hexano pela condensação não recupera completamente todo solvente evaporado, por isso, por meio de vácuo, o vapor de hexano é puxado para as colunas de absorção e dessorção, onde as bombas analisadas neste artigo operam. Nessas colunas são bombeados aproximadamente 600 litros de óleo mineral Enca plus, o qual em temperatura ambiente tem grande poder de absorver as moléculas de hexano, e quando excitado em temperaturas acima de 90°C desprende as mesmas que voltam ao processo.

Segundo os supervisores e operadores da empresa, baseados nos vários anos de experiência, esse processo recupera de 18 a 23% do hexano utilizado no processo, o que mostra a importância econômica e ambiental que as bombas dessas colunas possuem. Não foi divulgado o valor que a empresa paga pelo solvente, através de pesquisas chegou a um valor médio de R\$ 45,00 o litro, atualmente a planta fabril tem

capacidade para aproximadamente 40 mil litros de hexano, gerando um valor de R\$1.800.000,00 de solvente. Caso não houvesse esse sistema de recuperação do hexano se perderia muito para atmosfera. Contando com o que o processo recupera de 18%, o prejuízo seria em torno de R\$324.000,00 a cada ciclo completo do solvente, ou seja, seria necessário a constante reposição do mesmo. Além do prejuízo ambiental, o hexano na atmosfera com a chuva iria parar em rios e lagos, e é um composto extremamente prejudicial à vida aquática.

4. Materiais e métodos

Este Artigo é um estudo de caso da estratégia de manutenção preditiva por análise de vibração aplicada em uma indústria de extração de óleo de soja; para demonstrar tal estratégia foi usado uma visão pontual do sistema de recuperação de hexano por meio da absorção e dessorção do hexano no óleo mineral *Enca Plus*, que tem sua circulação realizada por duas bombas, da coluna de absorção e da coluna de dessorção, ambas com motores de indução elétrica de 10cv. Portanto, foram analisadas ambas as bombas com seus respectivos motores, para análise do ponto escolhido para o estudo. Foram analisado 4 ciclos, diagnóstico de falha, apresentação de relatório de falha, recomendação de ação para correção e as próprias ações executadas ou não; esses ciclos correspondem aos meses de julho, agosto, setembro e outubro de 2020

O estudo de caso “é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto de vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”, e é exatamente isso o que esse artigo apresenta, a realidade da aplicação da manutenção preditiva de uma empresa focada em um equipamento, no caso, a bomba centrífuga Meganorm e sua importância para a empresa [14].

Para a execução das análises e diagnósticos de falhas são usadas normas que regem e orientam os técnicos, a ABNT NBR 10082 rege e orienta a avaliação da vibração mecânica de máquinas com velocidades de operação de 600 a 15.000 RPM, caso das bombas analisadas; a ABNT NBR 10272 diz respeito às análises relacionadas à máquinas elétricas rotativas; a ABNT NBR 10273 usada na orientação dos procedimentos de medição, principalmente relacionado aos instrumentos utilizados para isso; a ABNT NBR 15928 largamente utilizada no momento da terminologia; e por fim a ISO 10816-3 útil na determinação dos critérios de julgamento do estado da máquina, e o grau de alarme para correção da falha.

Para cada ciclo são levantados os dados de vibração dos equipamentos mencionados, cada ciclo

corresponde a um mês, afinal trata-se de um ciclo mensal, tais dados são levantados com o auxílio de um analisador de vibração Dual-channel RH802, da Ronds, junto com um sensor acelerômetro piezoelétrico de 1 eixo e fixação manual nos pontos de medição, ambos apresentados anteriormente nas figuras 6 e 7. O software utilizado para a análise dos dados coletados é o Rozh, o técnico realiza uma análise preliminar e envia os dados mais importantes em um relatório para futuras análises, juntamente com o gráfico sintomático de falha e as ações recomendadas para correção de tais falhas, tudo isso executado utilizando o software.

Como mencionado anteriormente, há três tipos de medidores de vibração, o medidor de vibração global (sem filtro), o medidor de vibração com análise de frequência (com filtro) e o analisador de frequência de transformada de Fourier, que é o utilizado pela empresa, é um dispositivo que realiza a transformação de Fourier em um sinal e gera um espectro de frequência. São indicados para uma situação em que a análise de frequência com uma largura de filtro muito estreita é necessária. Quanto ao sensor piezoelétrico utilizado na coleta de dados, a empresa não se dispôs a fornecer o certificado de calibração do mesmo, porém afirmou que é calibrado a cada dois anos juntamente com o analisador e medidor de vibração.

Essa atitude de não fornecer o certificado deve ser mal vista pois a rastreabilidade de calibração é um dos fatores que as normas vigentes de calibração regem e orientam. A rastreabilidade é definida no Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM, 2000) como a “propriedade do resultado de uma medição ou valor de um padrão estar relacionado a referências estabelecidas, geralmente padrões nacionais ou internacionais, através de uma cadeia contínua de comparações, todas possuindo incertezas estabelecidas” [19]. Dessa forma, para se ter confiança da veracidade dos dados coletados seria necessário se ter essas informações a disposição. Mesmo sem acesso a tais documentos, foi decidido confiar na empresa, afinal trata-se de uma empresa de grande porte, pelo histórico de sucesso e responsabilidade da mesma foi decidido que será realizado a análise das coletas e dar continuidade ao que o artigo propõe.

4.1. Informações e parâmetros dos equipamentos para monitoramento de vibração

Os equipamentos a serem analisados são bombas centrífugas acionadas por motor de indução trifásica. Os dados, como os espectros e medições, aqui apresentados são genuinamente das bombas analisadas; somente as fotos não são do conjunto analisado, devido os mesmos estarem situados em um setor classificado como área explosiva. A fim de ilustrar e identificar os pontos de medição foi utilizado fotografias de um conjunto idêntico ao das bombas estudadas. Seguem as principais informações sobre o conjunto mecânico:

Tabela 1: Informações pertinentes dos motores e bombas para a análise de vibração

	BOMBA	MOTOR
Marca	KSB	WEG
Modelo	Meganorm	132S
Pólos	-	2
Potência	idem ao motor	10CV
Rotação	idem ao motor	3515rpm
Rolamentos LA	3208	6308-ZZ
Rolamentos LOA	NU208-E	6207-ZZ

Fonte: Autores

Na tabela 1 estão as especificações dos motores de indução trifásica e das bombas centrífugas do processo que acionam.

Os pontos de medição utilizados pela empresa para realizar a coleta nos equipamentos são diretamente nos mancais, pois é no rolamento onde se concentra toda a força de desequilíbrio causadora das vibrações. A recomendação para coleta de dados em equipamentos industriais é efetuar medições nas direções horizontais, verticais e axiais. No caso de equipamentos instalados verticalmente deve-se adotar coleta radialmente em cada rolamento, deslocando-se 90° (graus) um do outro. Para identificar os pontos da máquina é importante seguir o fluxo de energia através do sistema, partindo da unidade acionadora para a unidade acionada.

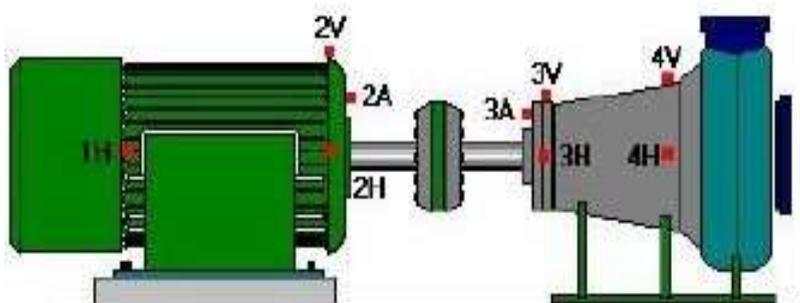
Como o equipamento varia de configuração dependendo do tipo, tamanho, função e componentes, os dados são coletados em cada mancal, e cada coleta é identificado numericamente em sequência com o fluxo de energia através do sistema, partindo da unidade acionadora para a unidade acionada.

A identificação do ponto de coleta é feito da seguinte maneira: é enumerado cada mancal em sequência partindo do mancal no lado oposto ao acoplamento (LOA) da unidade acionadora (motor), passando pelo trem de potência, pelos mancais do lado acoplado (LA) até o mancal no lado oposto ao acoplamento (LOA) de unidade não acionada do último componente acionado. A compreensão da sequência do fluxo de energia na máquina é vital para a avaliação de diagnóstico de dados de espectro de vibração. Embora muitas opções sejam consideradas na elaboração desta prática padronizada, é importante lembrar que estas são apenas diretrizes - o discernimento e a experiência do representante técnico em campo ainda são fundamentais para uma implementação bem sucedida do programa de monitoração.

Em cada rolamento, o plano e coleta de dados é identificado por (H) para horizontal, (V) para vertical e (A) para Axial. Em casos do acesso a um local de ponto de coleta não estiver disponível, não se pode mudar a identificação padronizada de ponto.

A figura a seguir ilustra uma bomba simples, de 4 mancais, caso analisado, montada horizontalmente, com os pontos de coleta da bomba marcados e rotulados:

Figura 11: Pontos de coleta



Fonte: Material fornecido pela empresa contratada

Tabela 2: Pontos de Coleta de Medição

Máquina	Posição	Ponto	Horizontal	Vertical	Axial
Motor	LOA	1	Sim	Não	Não
Motor	LA	2	Sim	Sim	Sim
Bomba	LA	3	Sim	Sim	Sim

Bomba	LOA	4	Sim	Sim	Não
-------	-----	---	-----	-----	-----

Fonte: Autoria própria.

Figura 12: Conjunto motor x bomba idêntica aos conjuntos de estudo



Fonte: Autores em consenso com a empresa

Figura 13: Bomba reserva das colunas



Fonte: Autores em consenso com a empresa

Figura 14: Especificação da bomba reserva



Fonte: Autores em consenso com a empresa

A figura 12 demonstra um conjunto idêntico aos conjuntos estudados, e as figuras 13 e 14 são fotos da bomba reserva utilizadas em caso de uma parada por falha inesperada, reforçando a importância das bombas no processo.

A empresa possui sua própria metodologia de coleta e emissão de relatórios, ela adota o método de falha maior detectada, ou seja, apenas são evidenciados em relatórios os espectros e análises que

detectaram falhas, aqueles que estão dentro da normalidade não são expostos. E caso haja defeitos similares, por exemplo falha no rolamento, identificado em dois pontos de coleta, apenas é representado o espectro do ponto que o valor de vibração seja maior. Apesar de seguir o seu próprio método de trabalho, a empresa segue as normas vigentes que regem a coleta e análise de vibração. Os valores de prioridade para execução da correção do defeito é baseado na tabela que segue, e é dividido em cores com seus respectivos números, 1 - Urgência (vermelho), 2 - Oportunidade (Amarelo), 3 - Normal (verde), e ainda há a opção azul que é quando o equipamento está indisponível para análise, mas isso é somente para a questão do relatório.

Figura 15: Critérios para julgamento de Máquina de acordo com a ISO 10816 (adaptado)

CRITÉRIOS PARA JULGAMENTO ESTADO DE MÁQUINA				
Nível de Vibração (mm/s ²)	Até 20CV	De 20CV Até 100CV	> 100CV Base Rígida	> 100CV Base Flexível
0,28	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
0,45				
0,71				
1,12				
1,8	OPORTUNIDADE	OPORTUNIDADE	OPORTUNIDADE	OPORTUNIDADE
2,8				
4,5	URGÊNCIA	URGÊNCIA	OPORTUNIDADE	OPORTUNIDADE
7,1				
11,2				
18				
28	URGÊNCIA	URGÊNCIA	URGÊNCIA	URGÊNCIA
45				

Fonte: Tabela DIN ISO 10816-3 modificada para aplicação interna da empresa (fornecido pela empresa)

Quando o nível de vibração analisada estiver na área normal (verde) significa que o equipamento está operando normalmente e sem falhas detectadas. A área correspondente a oportunidade (amarelo) significa que o equipamento apresentou alguma falha e pelo nível de vibração é aconselhado corrigi-la em uma oportunidade de parada de produção, que ocorre geralmente uma vez por mês. A área correspondente a cor vermelha, é o nível de urgência, que significa que a falha detectada deve ser corrigida o mais rápido possível, caso haja um plano de manutenção de emergência é aconselhado ser usado. Os conjuntos analisados possuem

um plano de emergência, há uma bomba revisada de reserva para esse tipo de evento, pois o sistema suporta ficar até uma hora sem uma das bombas, depois disso a coluna da bomba em manutenção começa a afogar. São necessários até 30 minutos para a troca da bomba danificada pela reserva.

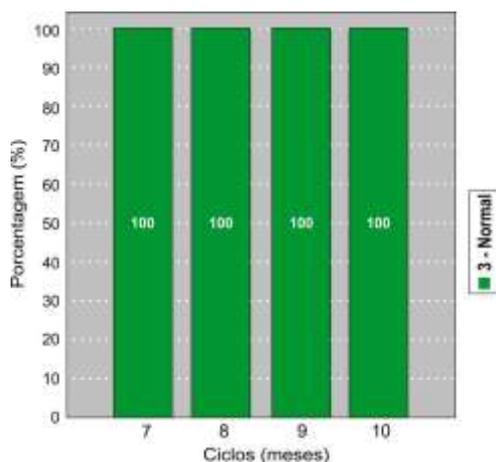
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Conjunto motor e bomba de absorção

O conjunto analisado é composto por uma bomba e um motor de indução, logo a vibração de um afeta diretamente o funcionamento do outro, dito isso foram analisadas tanto as bombas quanto os motores dos conjuntos durante o período proposto.

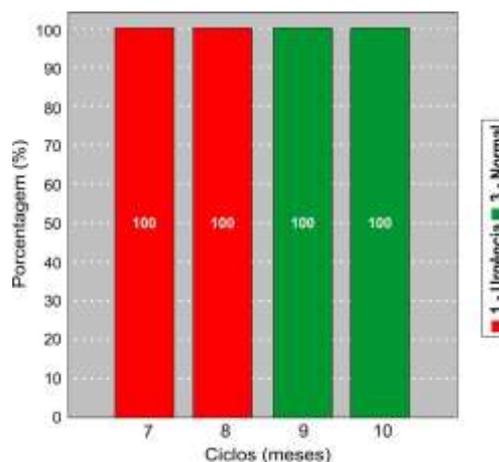
A figura 16, demonstra a evolução dos alarmes do motor por indução da bomba de circulação da coluna de absorção; durante todo o período de julho a outubro (ciclo 7 ao 10) não foram detectadas falhas no motor pela análise de vibração, por essa razão não houve necessidade de emissão de relatório com espectro para análise e emissão de ordens de manutenção. A figura 17 demonstra a evolução dos alarmes da bomba de circulação da coluna de absorção do período proposto. Observa-se que o ciclo 7 e 8 evidenciam um alarme de nível 1 - Urgência - , indicando que a falha deve ser solucionada com rapidez a fim de evitar que ela se intensifique. Entre os meses de agosto e setembro (ciclos 8 e 9) a falha indicada foi corrigida e a partir da análise do ciclo 9 não houve mais falhas identificadas. Os resultados das análises dos ciclos 7 e 8 são descritos e evidenciados a seguir, bem como o plano de ação utilizado para correção da falha detectada.

Figura 16: Evolução dos Alarmes do motor da bomba de absorção



Fonte: Empresa

Figura 17: Evolução dos alarmes na bomba de absorção



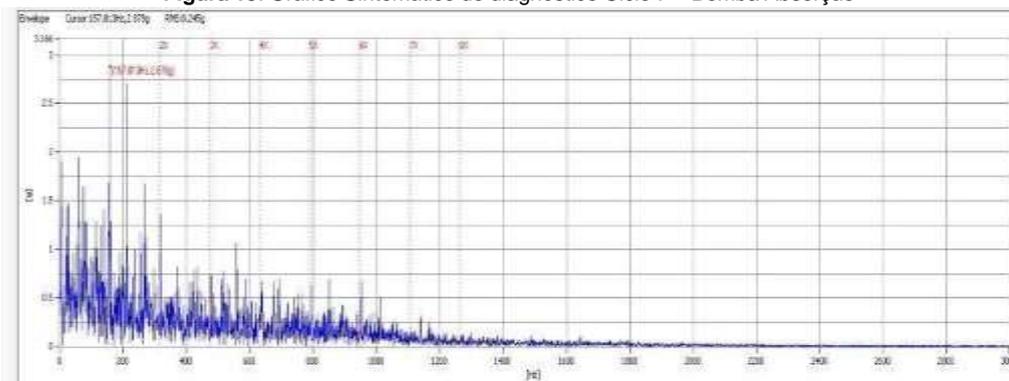
Fonte: Empresa

Figura 18: Análise Ciclo 7 - Bomba Absorção

—Análise	
Ponto de Medição:	McBbLOAc-H
Tipo de Medição:	ES (Espectro de envelope)
Data da Medição:	29/07/20
Sintoma:	Frequência de Rolamento
Diagnóstico:	Defeito de Rolamento
Prioridade:	1 – Urgência
Ação Recomendada:	- Efetuar a troca dos rolamentos da bomba
Análise realizada por:	Cristiano Eduardo Ribeiro

Fonte: Empresa

Figura 19: Gráfico Sintomático do diagnóstico Ciclo 7 - Bomba Absorção



Fonte: Empresa

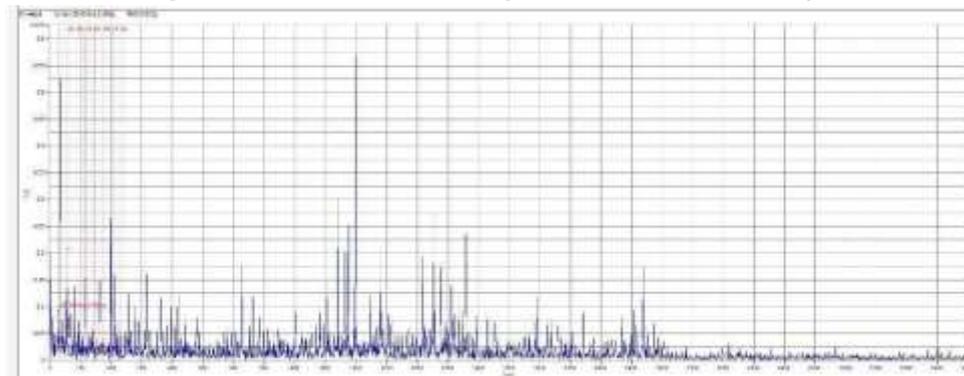
O ciclo 7 é referente à coleta e análise realizada no dia 29/07/2020, e de acordo com a análise e com o gráfico sintomático do diagnóstico, figuras 18 e 19 respectivamente, o defeito está localizado no rolamento do lado oposto ao acionamento, mais especificamente coletado no ponto 4H. A ação recomendada é a troca dos rolamentos da bomba, eixo e alojamento do rolamento em regime de urgência, ou seja, é altamente recomendado usar o plano de ação da bomba reserva.

Figura 20: Análise Ciclo 8 - Bomba Absorção

—Análise	
Ponto de Medição:	McBbLOAc-H
Tipo de Medição:	ES (Espectro de envelope)
Data da Medição:	18/08/20
Sintoma:	Apresenta vibração na região de ressonância do rolamento em aceleração RMS, harmônicos da rotação em envelope e harmônicos em velocidade RMS, Proveniente de folga rotativa.
Diagnóstico:	Defeito de Rolamento
Prioridade:	1 – Urgência
Ação Recomendada:	Substituição dos rolamentos, atentando-se aos ajustes e tolerâncias na montagem (alojamento e eixo)
Análise realizada por:	Cristiano Eduardo Ribeiro

Fonte: Empresa

Figura 21: Gráfico Sintomático do diagnóstico Ciclo 8 - Bomba Absorção

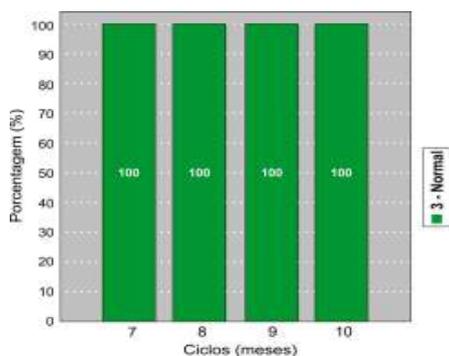


Fonte: Empresa

O ciclo 8 é referente à coleta e análise realizada no dia 18/08/2020, e de acordo com a análise e com o gráfico sintomático do diagnóstico, figuras 20 e 21 respectivamente, o defeito foi apontado no ciclo 7 já em regime de urgência, porém nenhuma ação foi realizada para a correção da falha, que persistiu para o ciclo 8, com uma preocupação maior por parte da empresa contratada. A análise apresenta vibração na região de ressonância em aceleração RMS, harmônicos da rotação em envelope e harmônicos em velocidade RMS, proveniente de folga rotativa. É recomendado substituir os rolamentos, atentando-se aos ajustes e tolerâncias na montagem (alojamento e eixo). No dia 20/08/2020 houve uma parada na fábrica devido a questões logísticas, esse fato foi a oportunidade para a troca dos rolamentos e enchimento do eixo que estava gasto.

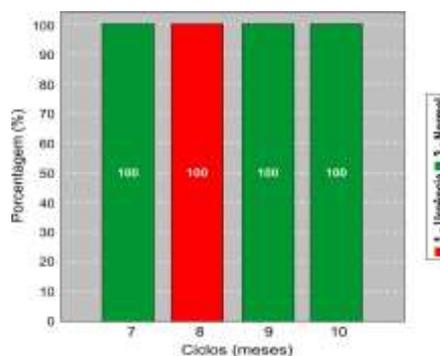
5.2. Conjunto motor x bomba de dessorção

Figura 22: Evolução dos alarmes - Motor Bomba Dessorção



Fonte: Autor

Figura 23: Evolução dos alarme - Bomba Dessorção



Fonte: Autor

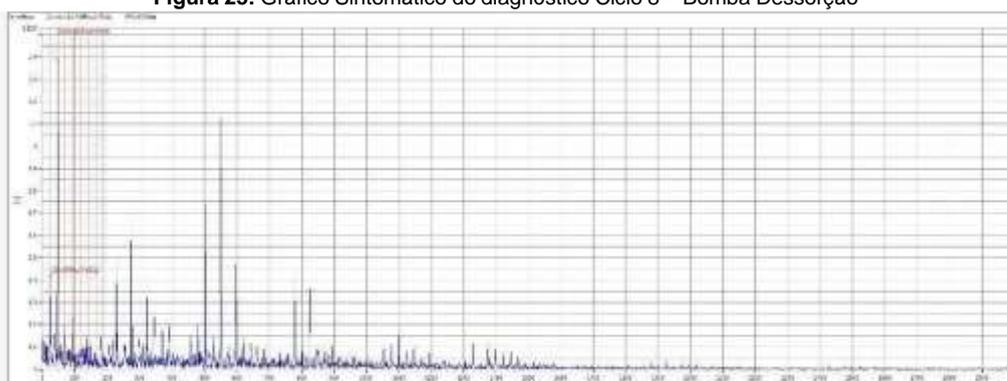
A figura 22 mostra a evolução dos alarmes referente ao motor da bomba de circulação da coluna de dessorção, durante todo o período de julho a outubro de 2020 (ciclo 7 ao 10) e, assim como o motor da bomba de absorção, não foram detectadas falhas no motor pela análise de vibração. Como não houve detecção de falhas para o motor, foi descartada a necessidade de emissão de relatório com espectro para análise. A figura 23 mostra a evolução dos alarmes da bomba de circulação da coluna de dessorção, apenas no ciclo 8 houve algo fora da normalidade, um alarme de regime urgente, nos demais ciclos não foram detectadas falhas pela análise de vibração

Figura 24: Análise Ciclo 8 - Bomba Dessorção

— Análise —	
Ponto de Medição:	McBbLOAc-H
Tipo de Medição:	ES (Espectro de envelope)
Data da Medição:	18/08/20
Sintoma:	Apresenta vibração na região de ressonância do rolamento em aceleração RMS, harmônicos da rotação em envelope e harmônicos em velocidade RMS. Proveniente de folga rotativa.
Diagnóstico:	Defeito de Rolamento
Prioridade:	1 – Urgência
Ação Recomendada:	Substituição dos rolamentos, atentando-se aos ajustes e tolerâncias na montagem (alojamento e eixo)
Análise realizada por:	Cristiano Eduardo Ribeiro

Fonte: Autor

Figura 25: Gráfico Sintomático do diagnóstico Ciclo 8 - Bomba Dessorção



Fonte: Autor

O ciclo 8 é referente à coleta e análise realizada no dia 18/08/2020, e de acordo com a análise e com o gráfico sintomático do diagnóstico, figuras 24 e 25 respectivamente, a bomba apresenta vibração na região de ressonância em aceleração RMS, harmônicos da rotação em envelope e harmônicos em velocidade RMS, proveniente de folga rotativa. Para esses casos é recomendado a substituição dos rolamentos, atentando-se aos ajustes e tolerâncias na montagem (alojamento e eixo). Apesar de ter sido um alarme de regime urgente, o setor de manutenção não julgou dessa forma, porém programou a manutenção e correção para a próxima parada ocorrida no dia 01/09/2020

6. CONCLUSÃO

Do presente artigo, foi concluído que a manutenção preditiva utilizando a análise de vibração é uma ferramenta útil para tomadas de decisões, graças aos dados coletados pelo analisador de vibração é possível obter informações que, se bem aplicadas, abrem uma gama de opções de ações para correção de uma falha ou identificação de defeitos ocultos. Através do monitoramento é possível detectar desbalanceamentos, desalinhamentos, folgas mecânicas e falhas em rolamentos, dentre outros defeitos que podem ser encontrados em uma bomba centrífuga. A ocorrência vem desde a coleta dos dados de vibração nos equipamentos até a análise gráfica. A medição e análise de vibração é fundamental para conhecer e

acompanhar as condições mecânicas dos equipamentos industriais.

Usando uma visão pontual do sistema de recuperação de hexano no período de quatro meses, o estudo de caso das bombas centrífugas e motores, evidenciou a constatação de três falhas de rolamentos em pontos e períodos indicados, as falhas foram notificadas e relatadas ao setor de gestão de manutenção como alarme de urgência, porém em um dos casos, tal relatório foi ignorado e na análise subsequente a falha intensificou-se, somente depois da reincidência que foi corrigido o defeito; levando a conclusão de que apesar da análise ser eficiente, de nada resolve se as ações recomendadas não forem executadas, porém nesse caso em específico o defeito foi corrigido a tempo.

A partir desse resultado foi observado que a empresa analisada não tem a manutenção preditiva como prioridade para planejamento de manutenção. O comportamento da empresa em relação a atitude tomada para resolução dos problemas apresentado é preocupante, nesse caso específico se tem um plano de emergência, a bomba reserva, mas na planta fabril inteira são poucos os equipamentos com planos de emergência, e o que se notou é a negligência da empresa para com a manutenção preditiva.

A manutenção preditiva, se bem aplicada, pode evitar prejuízos financeiros e ambientais, foi dito que a porcentagem de recuperação de hexano gira em torno de 18% que equivale em valor financeiro a uma quantia de R\$324.000,00. É evidente que se não houvesse tal sistema de recuperação, seria implantado algum outro sistema para isso, ou o sistema anterior e primário ficaria responsável pela recuperação total, neste último caso seria prejuízo pois a produção seria mais lenta e mesmo assim haveria pequenas perdas. Quanto ao prejuízo ambiental, o responsável seria a perda à atmosfera que com as chuvas o hexano iria para rios e lagos contaminando a vida aquática a qual é altamente prejudicial

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sugere-se que a partir desse artigo possa ter uma linha de investigação no planejamento e controle de manutenção, pois pelo estudo feito, o setor de manutenção está lento na resposta quanto às sugestões que análise de vibração propõe isso se deve ao baixo número de pessoal do controle, atualmente são apenas três pessoas para gerenciar 450 equipamentos, e como dito anteriormente, são máquinas antigas, logo tendem a precisar de cuidados maiores.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] CYRINO, L. **Análise de vibração - método de preditiva**. Manutenção em foco, 08 abr. 2015.
- [2] MONCHY, F. **A função manutenção**. São Paulo: DURBAN, 1989.
- [3] MOREIRA NETO, T. C. **A história da evolução do sistema de gestão de manutenção**. Web Artigos. 2017.
- [4] SOUZA, J. B. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e função do Planejamento e Controle da Produção (PCP): Uma abordagem Analítica**. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa.
- [5] ALBUQUERQUE, D. **O que é manutenção preditiva?** Templum, 26 fev. 2013.
- [6] OSADA, T. **Manutenção produtiva total**. São Paulo: Instituto IMAN, 1993.
- [7] ALMEIDA, Márcio T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Itajubá: Escola Federal de Engenharia. 2000. Disponível em: www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf, acessado em 15/09/2019.
- [8] PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio A. Nascif. **Manutenção: função estratégica**. Ed. 2, Rio de Janeiro:

Editora Qualitymark, 2003.

[9] SILVA, M. **Bombas centrífugas**. Mário Silva - Técnico Industrial, 13 mar. 2014.

[10] SKF CONDITION MONITORING. **Identificando estágios de falhas em rolamentos**. REVOLUTIONS, v. 7, n. 3, [200-?].

[11] SKF RELIABILITY SYSTEMS. **Vibration diagnostic guide**. EUA: SKF Reliability Systems, 2000. 28p.

[12] SKF SERVICE. **Tecnologia de vibrações**. [S.l.]: [s.n.], [200-?]. (Apostila fornecida pela empresa).

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

[14] YIN, Robert. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. 2. ed. atual. Porto Alegre: Bookman, 2001. 200 p.

[15] TELECURSO 2000 Manutenção 34 Análise de vibrações. Produção de Manuais Industriais. São Paulo, 2018. Son., P&B. disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=SBhVGHw9VxM&list=PLRAI8tIC7rYCbaZW29Dq5-DJNuJ4LRFLB&index=28> acessado 02/11/2020.

[16] KSB. **Bomba Centrífuga Normalizada para Uso Geral**. 2.ed. São Paulo: KSB,2007.

[17] ATHOS ELETRONICS. **TRUE RMS e RMS - O que é**. 22 jan. 2016. Disponível em: <<http://athoselectronics.com/true-rms/>>. Acesso em: 05 out. 2020.

[18] MAIS, J.; BRADY, S. **Introduction guide to vibration monitoring: measurements, analysis, and terminology**. EUA: SKF Reliability Systems, may. 2002. 30p.

[19] VIM, "Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia", Publicação SENAI / INMETRO, 2a edição, Brasília, 2000.