



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Curso de Engenharia Mecânica

Diogo Feitosa Ribeiro

**EFICIÊNCIA DA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO NA DETECÇÃO DE POSSÍVEIS
FALHAS MECÂNICAS**

SÃO LUÍS – MA
2019

DIOGO FEITOSA RIBEIRO

**EFICIÊNCIA DA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO NA DETECÇÃO DE POSSÍVEIS
FALHAS MECÂNICAS**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Prof.^a Jerusa Perla Leal Almeida.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A VERSÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DEFENDIDO PELO ALUNO DIOGO FEITOSA RIBEIRO E ORIENTADO PELA PROF.^a JERUSA PERLA LEAL ALMEIDA.

.....
ASSINATURA DA ORIENTADORA

SÃO LUÍS – MA
2019

Ribeiro, Diogo Feitosa.

Eficiência da análise de vibração na detecção de possíveis falhas mecânicas / Diogo Feitosa Ribeiro. – São Luís, 2019.

47 f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Profa. Ma. Jerusa Perla Leal Almeida.

1.Análise de vibração. 2.Manutenção. 3.Manutenção preditiva. 4.Falhas mecânicas. I.Título

CDU: 62-7

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**EFICIÊNCIA DA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO NA DETECÇÃO DE POSSÍVEIS
FALHAS MECÂNICAS**

Autor: Diogo Feitosa Ribeiro

Orientadora: Jerusa Perla Leal Almeida

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta monografia:

Prof..

Prof...

Prof...

São Luís/MA, 02 de Dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Agradecer aos meus pais pela educação, dedicação, carinho e exemplos depositados em mim, certamente sem eles como pilares da minha fundação como indivíduo eu não estaria apto a concluir esse objetivo.

Sou grato pela confiança depositada na minha proposta de projeto pela minha professora Jerusa Perla Leal Almeida, orientadora do meu trabalho. Obrigado por me manter motivado durante todo o processo.

Aos meus irmãos Isabela e Filipe e minha namorada Ivanna, que sempre estiveram ao meu lado em todo o tempo.

E por último, quero agradecer a Universidade Estadual do Maranhão e todo seu corpo docente.

RESUMO

Toda máquina possui uma frequência de vibração característica, pois na ocorrência de mudança dessa vibração pode se dar o início de uma falha, caso essa não seja tratada, pode desencadear uma série de riscos, onde podem afetar a integridade física dos colaboradores e dos ativos, causar parada da produção, desencadeando prejuízos financeiros. A análise de vibração está no mercado como método preditivo, com a função de detectar essas falhas antes de se tornarem um problema com um alto potencial, assim evitando situações indesejadas. O trabalho tem o objetivo de explicar essa técnica e sua importância, demonstrando sua eficiência através de seus benefícios. Abordando trabalhos de diferentes autores numa pesquisa bibliográfica, e também analisando documentos de uma empresa local, que contribuíram de forma precisa para a obtenção dos objetivos citados, oferecendo um conteúdo vasto. Os benefícios adquiridos com a adoção dessa técnica enfatizam sua importância, mostrando que um diagnóstico correto, sendo respeitado, pode influenciar na redução de custos, melhoria da produção, lucratividade entre outros pontos positivos. A partir de todos os benefícios, a análise de vibração se mostra uma ferramenta totalmente eficiente na detecção de possíveis falhas mecânicas, ajudando na gestão de ativos, aumentando a vida útil dos equipamentos e máquinas.

***Palavras-chave:** Análise de vibração, manutenção, manutenção preditiva, falhas mecânicas.*

ABSTRACT

Every machine has a frequency of resource vibration, as changes in this vibration can cause a failure to start, if left untreated, can cause a number of risks, where it can use the physical integrity of employees and assets, cause production stoppage, triggering financial losses. A vibration analysis is not commercially available as a premeditated method, with the function of detecting these failures before making a problem with a high potential such as unwanted consequences. The work aims to explain this technique and its importance, demonstrating its efficiency through its benefits. Approaching works by different authors in a bibliographic research, as well as analyzing documents of a local company, which contributed precisely to the use of the objectives mentioned, offering a vast content. The benefits gained from the adoption of this technique emphasize its importance, showing a correct diagnosis, being respected, can influence the cost reduction, the production improvement, the profitability among other positive points. From all the benefits, a vibration analysis shows a fully efficient tool for detecting mechanical failures, helping with asset management, reducing equipment and machine life.

Keywords: *Vibration Analysis, maintenance, predictive maintenance, mechanical failures.*

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 4

Figura 4.1 – Períodos da Manutenção

Figura 4.2 - Grandezas da análise de Vibração

Figura 4.3 – Esquema de análise de vibração.

Figura 4.4 – sensor de deslocamento (Proximidade).

Figura 4.5 – Sensor eletrodinâmico de velocidade.

Figura 4.6 – Acelerômetro.

Capítulo 5

Figura 5.1 – Coletor/Analisador.

Capítulo 6

Figura 6.1 – componentes de um compressor

Figura 6.2 – Componentes de um ventilador industrial.

Figura 6.3 – vibrômetro em utilização.

Figura 6.4 – caneta de vibração em utilização.

Figura 6.5 – Analisador de Vibração em utilização.

Figura 6.6 – Desbalanceamento de um rotor

Figura 6.7 – Tipos de desalinhamento.

Figura 6.8 – Oil Whirl – Instabilidade.

Figura 6.9 – Oil Whip – Instabilidade

Figura 6.10 – Componentes Frouxos.

Figura 6.11 – Engrenagem com dente quebrado.

Capítulo 7

Figura 7.1 – Benefícios da manutenção preditiva

Figura 7.2 – Quadro com Aumento de benefícios com Manutenção Preditiva.

Figura 7.3 – Quadro de Benefícios da manutenção preditiva.

Figura 7.4 – Falhas encontradas através de análise de vibrações.

Figura 7.5 – Laudo de análise de vibração.

Figura 7.6 – Laudo de análise de vibração.

Figura 7.7 – Laudo de análise de vibração.

Figura 7.8 – Laudo de análise de vibração.

Figura 7.9 – Laudo de análise de vibração.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.

FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia.

SDM – Sistema de Diagnóstico de Máquinas

RMS – Root Mean Square. Tradução: Potência Média Quadrática.

HZ – Hertz

CPM – Ciclos Por Minuto.

ISO – International Organization for Standardization

kHz – Quilo Hertz

UNESP – Universidade Estadual Paulista.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 METODOLOGIA	14
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1 Considerações sobre Manutenção	15
4.2 Benefícios da manutenção preditiva.....	17
4.3 Conceitos e importância das Vibrações Mecânicas	18
4.4 Análise de Vibração	18
4.4.2 Importância da análise de Vibração.....	22
5 EFICIÊNCIA DA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	23
6 MEDIÇÕES DE VIBRAÇÕES COMO FERRAMENTA PARA DETECÇÃO DE POSSÍVEIS FALHAS	25
6.1 Desbalanceamento.....	30
6.2 Desalinhamento.....	31
6.3 Instabilidade	32
5.4 Componentes Frouxos.....	33
6.5 Engrenagens	33
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
8 CONCLUSÕES	42
9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Em certo momento da história, a partir da terceira geração, buscou-se garantir a confiabilidade dos equipamentos reduzindo perdas com paradas indesejada e custos. Tendo isso em vista, junto com o avanço tecnológico e o aumento da competitividade, indústrias de diversos setores fizeram investimentos para assegurar melhorias a fim de se manterem no mercado e satisfazer todas as demandas, “o que reforça o conceito e a utilização da manutenção preditiva” (KARDEC E NASCIF, 2009, p. 03).

A manutenção preditiva pertencente a terceira geração, utiliza-se de técnicas preditivas que visam detectar falhas potenciais. A sua finalidade é monitorar equipamentos, assim “podendo prever quando seria necessária uma intervenção para uma manutenção com base no estado do equipamento” (KARDEC E NASCIF, 2009, p.235). Dentre essas técnicas, está a análise de vibração que faz medições constantes e periódicas das vibrações das máquinas indicando o momento correto de troca de peças e outras correções, descartando eventuais adversidades.

No geral, todas as máquinas emitem vibrações, o que é previsto desde o projeto, porém, com o passar do tempo suas propriedades dinâmicas podem ser alteradas, pois “as vibrações causam desgastes mais rápido nas peças” (RAO, 2008, p.5), pode ocorrer manuseio inadequado, falta de manutenção ou manutenção incorreta, e até má condição do ambiente em que o equipamento é exposto e outras situações. Tudo isso pode encadear uma série de falhas mecânicas. Todos esses fatores provocam um aumento no nível de vibração, podendo também diminuir o rendimento do equipamento e levar a uma possível quebra e assim tornar indisponível para continuidade da produção. Mas será que a análise de vibração é uma ferramenta eficiente, que de forma precoce e precisa é capaz de identificar falhas potenciais antes que ocorra uma falha funcional ou catastrófica? E isso traria benefícios para uma empresa que adotasse essa prática?

Entender como a análise de vibrações é eficaz no cumprimento do seu objetivo na manutenção e demonstrar todos os benefícios adquiridos com sua utilização é de uma alta importância nesse meio, e a pesquisa realizada deixará claro como a adoção desse método pode trazer retornos positivos. A técnica de análise de vibrações, que é o que se encontra num estágio bastante avançado tanto nas metodologias de análise, quanto nos aparelhos e instrumentos, além dos softwares utilizados, pode se caracterizar como uma ferramenta confiável e eficaz. Tudo isso, e com o crescente desenvolvimento da manutenção, que já surge numa quarta geração,

onde “algumas expectativas em relação à manutenção existentes na terceira geração ainda continuam” (KARDEC E NASCIF, 2009, p.4), pode facilitar o uso das técnicas preditivas, principalmente da análise de vibrações.

Com o objetivo de demonstrar a importância e eficácia da análise de vibração, este trabalho também visa especificar todos os benefícios adquiridos com a sua implementação e seu funcionamento.

Com a revisão dos trabalhos de diferentes autores, conseguiu-se um vasto conteúdo, que no desenvolver do trabalho será exposto de forma clara e precisa para um bom entendimento sobre o tema em questão, demonstrando como o não uso dessa técnica ou o desrespeito de seu diagnóstico pode acarretar uma série de danos e um alto prejuízo, assim identificando a análise de vibração uma ferramenta eficiente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é mostrar a eficácia da análise de vibração como técnica preditiva na detecção de possíveis falhas mecânicas em componentes de um equipamento ou máquina, demonstrando todos os benefícios adquiridos com a sua adoção.

2.2 Objetivos específicos

1. Explicar a técnica de análise de vibração e a sua importância.
2. Demonstrar como a análise de vibração pode determinar uma possível falha.
3. Avaliar a eficiência da análise de vibração e seus benefícios.

3 METODOLOGIA

Foi utilizado a pesquisa bibliográfica para obtenção das informações necessárias para o desenvolvimento deste trabalho de forma explicativa, onde foram abordados materiais de diversos autores, dentre os principais estão Rao (2008) que entrega um melhor entendimento sobre os fundamentos e origens das vibrações, Kardec e Nascif (2009) que passam como essas vibrações são uteis na manutenção como técnica preditiva através de suas análises. A análise de documentos através de um estudo feito em outubro de 2019, onde foram analisados laudos técnicos de análise de vibração, cinco desses laudos foram disponibilizados para análise junto ao estudo, foram realizados nos últimos 4 anos, ambos de uma empresa siderúrgica local. E uma análise de pesquisa realizada pela empresa Plant Performance Group em 1988, que demonstra, no próximo tópico 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES, toda a eficiência da análise de vibração na detecção de possíveis falhas mecânicas.

Também foram abordados outros diversos trabalhos realizados nas últimas duas décadas como Monografias, Revistas, Artigos, Apostilas e Sites que ajudaram a discorrer sobre o tema em questão, possibilitando um vasto conteúdo, que foi essencial para demonstrar a importância do tema tratado e como de fato é eficiente como analisado. O conteúdo foi buscado em livros e sites de banco de dados, através de pesquisas sobre “Análise de Vibração” e “Manutenção Preditiva”.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Considerações sobre Manutenção

Ao longo da história a manutenção teve papel muito importante, não só no setor industrial, mas como também em empresas dos ramos de fabricação, prestação de serviços e até comerciais, e residências e seus diversos tipos de instalação. “Manutenção é a expressão usada para abordar a forma pela qual as organizações evitam as falhas ao cuidar de suas instalações físicas.” (SLACK, 2008, p.644). Podendo ser classificada em 3 tipos mais conhecidos: manutenções corretiva, preventiva e preditiva.

Segundo Moubray (1997), a manutenção corretiva corresponde a primeira geração da história da manutenção, de acordo com a figura 4.1, é efetuada após falha ou pane em determinado equipamento, e é utilizada para recolocar este item em funcionamento, executando como antes sua função.

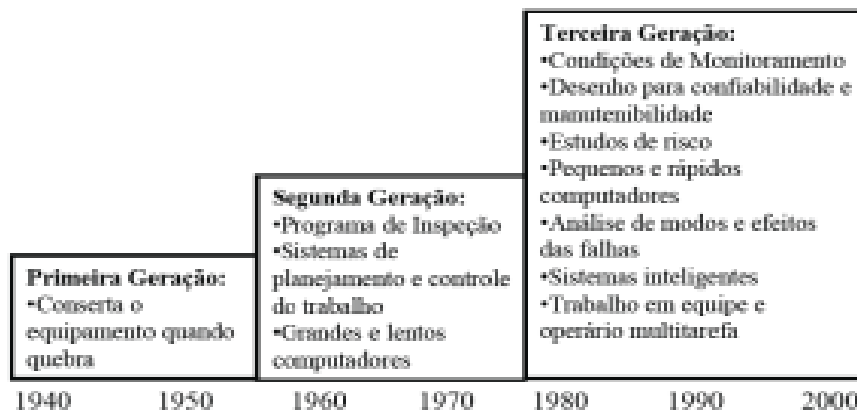


Figura 4.1 – Períodos da Manutenção

FONTE: Moubray (1997)

É um tipo de manutenção cara, que geralmente gera uma alta despesa para a empresa, pois é solicitada após a máquina falhar e necessariamente a parada obrigatória da produção. “A manutenção era, fundamentalmente, corretiva não planejada.” (KARDEC E NASCIF, 2009, p.2).

A manutenção preventiva é “a atuação realizada de forma que visa a redução ou até evitar a falha ou a queda no desempenho, obedecendo a um plano elaborado de forma prévia, baseado em intervalos programados de tempo” (KARDEC E NASCIF, 2009, p. 42). No planejamento

elaborado, são analisados os melhores intervalos de tempo para ocorrer a parada e assim realizar a manutenção.

A preventiva corresponde a segunda geração na linha de tempo da manutenção, conforme figura 4.1, e foi criada para amenizar as paradas não programadas com as falhas que ocorrem de forma indesejada. “Evidenciou-se a necessidade de aumentar a disponibilidade e confiabilidade, buscando maior produtividade.” (KARDEC E NASCIF, 2009, p.2). Apesar de ser um tipo de manutenção planejada, não elimina o risco de ocorrer falhas, apenas diminui. Muitas vezes, por não considerar as condições dos equipamentos, pode gerar maiores custos levando a um desperdício de recursos financeiros. A partir disso criou-se a necessidade de um novo tipo de manutenção, onde cada máquina e equipamento tivesse uma manutenção monitorada e particularizada.

Diferentemente da preventiva, a manutenção preditiva, que segundo SLACK (2008), visa realizar a manutenção somente quando os equipamentos precisam dela, e auxilia e ajuda as empresas para economia de seus bens. Garante um desempenho total no funcionamento das máquinas e equipamentos, se torna mais fácil prever seu funcionamento correto através de um monitoramento, com todas suas peças e lubrificantes, e otimiza as trocas desses materiais de acordo com os ciclos identificados, assim mantendo sempre sua eficiência, evitando paradas na linha de produção da organização. Isto é chamado de monitoramento da tendência e permite a equipe de manutenção planejar os reparos com antecedência (SEMEQ, 2003, p. 2).

“Manutenção preditiva é aquela que mostra as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que indicam seu desgaste ou processo de degradação” (SENAI, 2008, p.22). Um monitoramento constante e adequado desses dados permite detectar variações e corrigir defeitos antes de ocasionar falhas potenciais, e além disso também pode ajudar nas máquinas novas e aceitação das mesmas após algum reparo, pois identifica anormalidades presentes nas mesmas.

A preditiva se encaixa na terceira geração da manutenção, indicado na figura 4.1, onde já se fez necessário a busca e utilização de novos métodos para atender as demandas das organizações, pois sempre buscam mais eficiência com menor custo de produção.

As principais técnicas de manutenção preditiva, além da análise de vibração, que será explorada neste trabalho, são:

- Termografia: “A termografia é a técnica que permite o acompanhamento de temperatura e a formação de imagens térmicas, conhecidas como termogramas” (KARDEC e NASCIF, 2009, p.273). Detecta a radiação

infravermelha emitida por maquinário, permitindo identificar em quais pontos a temperatura está fora dos padrões para determinado ativo, se torna muito importante pois a temperatura errada pode prejudicar de forma severa inúmeros componentes.

- **Análise de lubrificantes:** “Os objetivos da análise dos óleos são dois: economizar lubrificantes e exterminar os defeitos. Os modernos equipamentos facilitam análises exatas e rápidas dos óleos utilizados em máquinas. É por meio das análises que o serviço de manutenção pode determinar o momento adequado para sua troca ou renovação, tanto em equipamentos mecânicos quanto hidráulicos” (TELECURSO 2000, Aula 6).
- **Análise estrutural:** “A análise estrutural de peças que compõem as máquinas e equipamentos também é importante para a manutenção preditiva. É por meio da análise estrutural que se identifica, por exemplo, a existência de fissuras, trincas e bolhas nas peças das máquinas e equipamentos. Em uniões soldadas, a análise estrutural é muito importante” (TELECURSO 2000, Aula 6).

4.2 Benefícios da manutenção preditiva

Um plano de manutenção preditiva adotado poderá ajudar uma organização tanto em sua produção, pois não haverá paradas inesperadas, e o tempo é de grande importância em um processo de produção. Como também nos custos, pois todo o monitoramento evita possíveis falhas e quebras de equipamentos, podendo prever quando será necessário uma possível troca ou reparo.

De acordo com Rao (2008, p. 365)

As inspeções gerais a intervalos fixos são substituídas por medições a intervalos fixos que permitem a observação de alterações nas condições de funcionamento regular da máquina. Desse modo, o aparecimento de condições de falha pode ser detectado, e seu desenvolvimento pode ser acompanhado de perto.

“A manutenção preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não provoca intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo” (KARDEC E NASCIF, 2009, p. 45). Ou seja, agiliza e otimiza a produção, como exclui a necessidade de uma manutenção não programada para identificação da falha e impede que os danos se propaguem aumentando a vida útil dos componentes.

4.3 Conceitos e importância das Vibrações Mecânicas

“Qualquer movimento que se repita após um intervalo de tempo é dito Vibração ou Oscilação”, é o que diz Rao (2008, p. 6). “Uma vibração mecânica é o movimento de uma partícula ou de um corpo que oscila em volta de uma posição de equilíbrio” (FCT, 2010, p. 1). Pode ser oscilação ou até mesmo uma trepidação de uma máquina ou algum elemento, saindo de sua posição, emitindo vibrações.

“A maioria das atividades humanas envolve vibração de uma forma ou de outra. Por exemplo, ouvimos porque nossos tímpanos vibram, e vemos porque as ondas de luz sofrem vibração. Assim como a respiração está associada a vibração dos pulmões e a fala ao movimento oscilatório da laringe e língua” (RAO, 2008, p. 5). Seu entendimento no meio da engenharia mecânica é de extrema importância. Segundo Rao (2008, p. 5) “A maioria dos motores de acionamento tem problemas de vibração em razão do desbalanceamento inerente aos motores. O desequilíbrio pode dever-se a falha de um projeto ou manutenção ruim.” Assim como o desbalanceamento de motores a diesel, rodas de locomotivas e turbinas que a vibração pode ocasionar falhas de grandes dimensões.

Por exemplo, qualquer desbalanceamento em máquinas que tenham peças rotativas, tais como ventoinhas, ventiladores, separadores centrífugos, máquinas de lavar roupa, tornos, bombas centrífugas, prensas rotativas e turbinas, podem causar vibrações. (BALACHANDRAN e MAGRAB, 2011, p. 1)

A pesar de indesejáveis, as vibrações são essenciais para diversos tipos de estudos e análises, e na engenharia sua criticidade é muito alta, pois seus efeitos podem causar danos que muitas vezes se tornam catastróficos.

4.4 Análise de Vibração

Até certo ponto, o fenômeno da vibração é considerado como natural para o funcionamento correto da máquina, o problema é encontrado quando ultrapassa esse limite tolerável. “O acompanhamento e a análise de vibração estão entre os mais importantes métodos preditivos em vários setores de indústria” (KARDEC e NASCIF, 2009, p. 244). Nos equipamentos rotativos que está concentrada a maior parte dos acompanhamentos de vibração,

onde toda a metodologia de análise é bem avançada. “Os parâmetros de vibração relacionados com máquinas rotativas são usualmente expressos em termos de velocidade, deslocamento e aceleração” (KARDEC e NASCIF, 2009, p. 244).

Segundo a SDM (Sistema de Diagnóstico de Máquinas) qualquer que seja a grandeza escolhida, a forma e o período de vibração continuam similares, o que muda é a existência de uma diferença de fase entre elas. As grandezas citadas estão representadas na figura 4.2 abaixo.

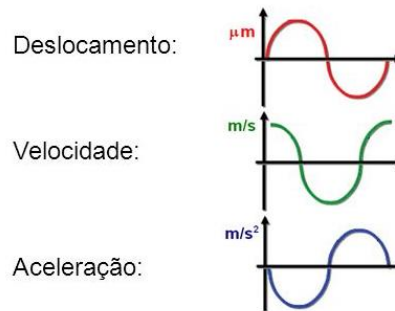


Figura 4.2 - Grandezas da análise de Vibração

FONTE: Slide da Faculdade de engenharia de Guaratinguetá (2013).

Segundo Kardec e Nascif (2009, p. 244), “todas as três grandezas representam o quanto o equipamento está vibrando”. Dentro da análise de medidas, pode-se avaliar de pico a pico, apenas picos, média retificada ou por RMS (Root Medium Square, traduzindo: Raiz Média Quadrada). O método que mais se destaca é o RMS, pois ele considera o histórico no tempo da onda gerando um valor de nível diretamente ligada ao componente avaliado.

Na prática, a análise de vibração acontece por meio do uso de medições, segundo Rao (2008, p. 344) “são periódicas para garantir margens de segurança adequadas”, feitas de um ou mais parâmetros e após isso, a comparação com os dados do equipamento avaliado, referente a cada componente. Se a vibração se encontrar fora dos parâmetros ideais, de acordo com os dados avaliados, a equipe identificará o momento exato da substituição do componente em questão, e também avalia a vida útil dos demais componentes. “Qualquer alteração encontrada nas frequências naturais ou outras características da vibração irão indicar falha ou necessidade de manutenção da máquina” (RAO, 2008, p. 344).

Após implementada com os sensores de vibração distribuídos em pontos estratégicos, pois cada componente possui um tipo de frequência diferente, a análise envia os dados a um ponto digital para a leitura dos dados, onde será possível determinar quando haverá necessidade ajuste ou troca. “A frequência é a outra variável de importância na análise de vibração, que

ajuda a identificar o que está causando a viração” (KARDEC e NASCIF, 2009, p. 244). A utilização da técnica de análise de vibração pode assim determinar uma possível falha.

4.4.1 Medições para a análise da vibração

Os sinais mecânicos de vibração são lidos por um tipo de sensor de vibração, também chamado de transdutor, este dispositivo que converterá o sinal mecânico para elétrico. “O transdutor é um dispositivo que transforma valores de variáveis físicas em sinais elétricos equivalentes” (RAO, 2008, p. 345). Após isso, o sinal de saída será conduzido por cabos até um aparelho apropriado, que pode só coletar e armazenar, como também realizar logo a leitura, analisando a vibração do componente em questão. A figura 4.3 a seguir mostra um esquema da análise de vibração, e como as medições são essenciais.

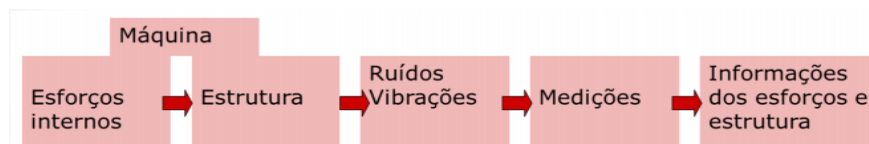


Figura 4.3 – Esquema de análise de vibração

FONTE: Martins e Sarto (2014)

Os sensores que são utilizados nas análises são de 3 tipos:

- Sensor eletromagnético capacitivo ou de deslocamento: Classificado como sensor de proximidade pois mede a distância relativa sem contato físico, conforme figura 4.4. Ele é auto gerador, permitindo enviar sinais elétricos por longas distancias através dos cabos, no que facilita o trabalho a altas temperaturas. “O sensor de proximidade capacitivo mede a capacitância entre o sensor e o alvo (eixo) e são calibrados para converter a capacitância em distância.” (KARDEC e NASCIF, 2009, p. 245).



Figura 4.4 – sensor de deslocamento (Proximidade).

FONTE: Timóteo (2016).

• Sensor eletrodinâmico de velocidade: É de aplicação mais restrita devido aos seus componentes internos que são frágeis. Esses sensores tem o sinal forte, e geram esse sinal através de voltagem e pode ser montado em qualquer direção, porém seu manuseio é dificultado pelo seu peso e tamanho e o preço ser bem elevado. A bobina se move através do núcleo do magneto e gera um sinal de voltagem proporcional a voltagem, indicado na figura 4.5. “Este é um tipo de sensor sísmico que incorpora um ímã suportado por um sistema de suspensão (molares) para formar um sistema sísmico (massa mola).” (KARDEC e NASCIF, 2009, p.247).

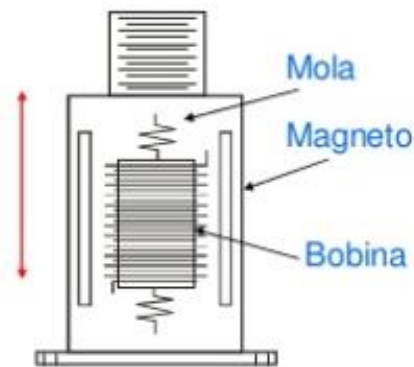


Figura 4.5 – Sensor eletrodinâmico de velocidade.

FONTE: Agnoletto (2016).

• Sensor de aceleração ou acelerômetro: É o mais utilizado devido a sua enorme versatilidade, como mostrado na figura 4.6 seu funcionamento se baseia nos cristais piezoelétricos, que após serem sujeitos à compressão, emitem um sinal elétrico de acordo com a aceleração do equipamento.

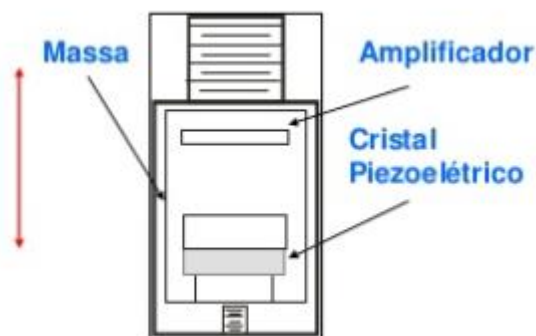


Figura 4.6 – Acelerômetro.

FONTE: Agnoletto (2016).

“Existem diversos tipos de acelerômetros, mas simplesmente todos utilizam um sistema massa mola e são classificados como transdutores sísmicos” (KARDEC e NASCIF, 2009, p. 248). Estes sensores possuem ampla faixa de respostas de frequência, seus peso e dimensão são reduzidos, tem alta resistência a temperaturas elevadas e um preço mais razoável, porém suas peças são sensíveis e exigem cuidados na montagem.

4.4.2 Importância da análise de Vibração

Entre as vantagens como método preditivo, a análise de vibração evita danos e prejuízos, detectando possíveis falhas como:

- Rotores com Desbalanceamento;
- Acoplamentos Desalinhamento;
- Instabilidade;
- Componentes com folgas (frouxos);
- Rolamentos deteriorados;
- Defeitos em engrenagens e correias;
- Eixos deformados ou empenados;
- Falhas na lubrificação e etc.

Não adotar a manutenção preditiva através da análise de vibração pode ocasionar diversos riscos, com uma maior probabilidade de acidentes, quebras inesperadas de máquinas e equipamentos, assim forçando uma parada na produção. Logo se aumenta o custo de manutenção, causa perda de energia, fadiga estrutural e possivelmente a perda de qualidade dos produtos. “Esse método de manutenção propicia grande redução de custos porque há um número menor de falhas catastróficas, melhor utilização das peças de reposição e eliminação de manutenção preventiva desnecessária” (RAO, 2008, p. 365).

5 EFICIÊNCIA DA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

Para entender como a manutenção preditiva através da análise de vibrações pode influenciar de forma positiva na otimização da produção e vida útil de máquinas e peças, é preciso entender os pontos-chaves para atingir o sucesso da sua eficiência.

Como mencionando anteriormente, a análise de vibrações pode ser vista como o principal método preditivo, pois basicamente todas as máquinas e diversos equipamentos emitem vibrações. E o que se pode ganhar com a análise de vibrações? De acordo com a consulta a diversos autores, a resposta que mais se encaixa a essa pergunta é: eficiência. A análise de vibrações não é nenhuma mágica ou suposição, e sim matemática, dessa forma procura dar certeza através de dados confiáveis e a escolha da técnica perfeita para cada caso.

Para se ter uma noção mais clara da eficiência da análise de vibrações, toma-se como exemplo o uso avançado da tecnologia nesse método. Kardec e Nascif (2009) mostram como o diagnóstico é a parte mais importante, pois é a palavra final sobre o que está ocorrendo e a decisão sobre a intervenção ou não. E esse diagnóstico se dá através do uso de tecnologias, os coletores e analisadores de dados, eles coletam, medem e analisam as vibrações, todos fazem interface com um computador, onde se utilizam vários softwares para auxílio da formulação do diagnóstico. A capacidade como analisador incorpora:

- Análise dinâmica por espectro, forma de onda, nível global, Fase.
- Frequência em HZ, CPM, Ordens.
- FFT – Transformada rápida de Fourier.
- Modo de coleta de dados em rota, fora de rota ou como analisador.
- Inclui programas residentes de balanceamento, filtro, análise cíclica, corrente do motor, dentre outros.

Kardec e Nascif (2009) mostram como estes equipamentos apresentam características que facilitam seu manuseio, como peso e portabilidade, como também são ajustáveis a diversas entradas para sensores e outros tipos de sistemas de monitoração, conforme figura 5.1. Isso mostra o poder de precisão desse método para analisar e diagnosticar uma possível falha mecânica em máquinas rotativas.



Figura 5.1 – Coletor/Analisador.

FONTE: Catálogo Windrock 6400.

Segundo Kardec e Nascif (2009), através dos sistemas de monitoração, com suas funções de vigilância, se torna mais prático e rápido obter um reconhecimento de algum tipo de avaria no sistema, depois desse reconhecimento de uma possível variação que pode levar a uma situação mais crítica, se obtêm imediatamente uma resposta, que pode ser via alarme ou até mesmo a parada do equipamento.

Segundo Rao (2008, p. 365), “a análise de vibração é utilizada mais comumente para a monitoração prognóstica de máquinas”. O monitoramento é uma valiosa ferramenta, pois possui uma excepcional capacidade de contribuição na detecção de possíveis falhas, assim permitindo a realização da manutenção preditiva. Os módulos de monitoramento avaliam todas as medições e valores característicos em função do modo de operação e do ponto de operação, e inclui as funções lógicas baseadas nos parâmetros que geram os sinais de disparo (alarmes ou o desligamento da máquina) a serem transferidos para a proteção mecânica da unidade.

Ainda segundo Rao (2008, p. 364), “Em operação, todas as máquinas estão sujeitas à fadiga, desgaste, deformação e acomodação da fundação” e através do monitoramento, é possível saber em tempo real se existe a probabilidade de falha nos componentes, indicando de forma extremamente precisa qual a posição em que está ocorrendo. O sistema possibilita ainda a geração de gráficos através de software integrado, que permitem o estudo da origem da falha e o comportamento da deterioração. Quando se identifica a deterioração é possível estimar quando o componente irá falhar e com base nas informações é possível agilizar a reposição de componentes, isso com meses de antecedência, reduzindo as paradas de máquinas indesejadas, que representam alto custo para as empresas.

6 MEDIÇÕES DE VIBRAÇÕES COMO FERRAMENTA PARA DETECÇÃO DE POSSÍVEIS FALHAS

Como observado na seção 4.1, a análise de vibrações é uma das ferramentas disponíveis para determinar as condições de uma máquina, apesar de ser só “uma” as medições de vibrações, de maneira precisa, produzem uma enorme quantidade de dados sobre as possíveis falhas futuras ou como uma máquina se comportou em determinadas situações, e esses dados são de extrema importância para a vida útil dessa máquina.

De acordo com Rao (2008, p. 365) “Os níveis de vibração medidos podem ser extrapolados de modo a prever quando atingirão valores inaceitáveis e quando a máquina terá de passar por serviços de manutenção”.

Na seção 4.4 “Análise de vibrações”, utilizando o material dos autores já citados Kardec e Nascif (2009) pôde se observar que a vibração está em qualquer sistema à medida que responde a uma excitação. As três grandezas citadas (Deslocamento, Velocidade e Aceleração) representam o quanto o equipamento está vibrando. A frequência é outra variável de importância na análise de vibração, que ajuda a encontrar sua origem, ou seja, o que está causando a vibração. Finalmente, a fase indica onde o ponto do foco se encontra em relação ao sensor de vibração. As equações 6.1, 6.2 e 6.3 que representam as variáveis vêm a seguir:

Deslocamento:

$$x = A \sin \omega t \quad (6.1)$$

Velocidade:

$$v = A\omega \cos \omega t = \frac{dx}{dt} \quad (6.2)$$

Aceleração:

$$a = -A\omega^2 \sin \omega t = \frac{dv}{dt} \quad (6.3)$$

Onde:

A = amplitude do vetor de zero a pico em mm.

ω = velocidade angular em rad/seg.

t = tempo em segundos.

Como $\omega = 2\pi f$, onde f = frequência em ciclos/segundo, substituindo nas equações de deslocamento, velocidade e aceleração, verifica-se que:

- A amplitude de deslocamento independe da frequência.
- A amplitude de velocidade crescerá proporcionalmente a frequência.
- A amplitude de velocidade crescerá com o quadrado da frequência.

As equações 6.4 e 6.5 a seguir são úteis para compreender melhor qual variável deve ser acompanhada.

$$v = 2\pi fA \quad (6.4)$$

$$a = (2\pi f)^2 A \quad (6.5)$$

Na seção 4.4.1, onde são citados os sensores, que conseguem captar as vibrações e suas possíveis alterações. E para medir as vibrações, segundo Kardec e Nascif (2009), três aspectos devem ser levados em consideração:

- Qual o tipo de máquina? Como é a sua construção?
- Qual o propósito da sua medição? O que queremos ver?
- Qual a faixa de frequência?

De acordo com Kardec e Nascif (2009) essas três perguntas permitirão, primeiramente, que se faça a escolha correta do sensor a ser utilizado. Caso se queira, por exemplo, medir a vibração em tubulação, ou em estruturas, cuja a frequência é da ordem de 1 a 2 Hz, não se teria sucesso com um sensor de velocidade, desde que ele não se presta a medições de baixa frequência. No exemplo, a escolha correta seria o acelerômetro. O tipo de máquina e como é sua construção particular são muito importantes para a definição de como medir.

Segundo Kardec e Nascif (2009), máquinas rotativas com conjunto rotativo leve e carcaças robustas e pesadas têm a maioria das forças geradas pelo rotor, como o movimento relativo entre o eixo e o mancal. Basicamente, a carcaça funciona como um amortecedor, assim a medição de vibração diretamente na carcaça não é a mais precisa. A medição deve ser feita diretamente no eixo, com sensores sem contato. Um exemplo típico é um compressor centrífugo de alta pressão, onde a relação de pesos entre a carcaça e o rotor é de 30:1 ou até maior, como se pode observar na figura 6.1 a seguir.

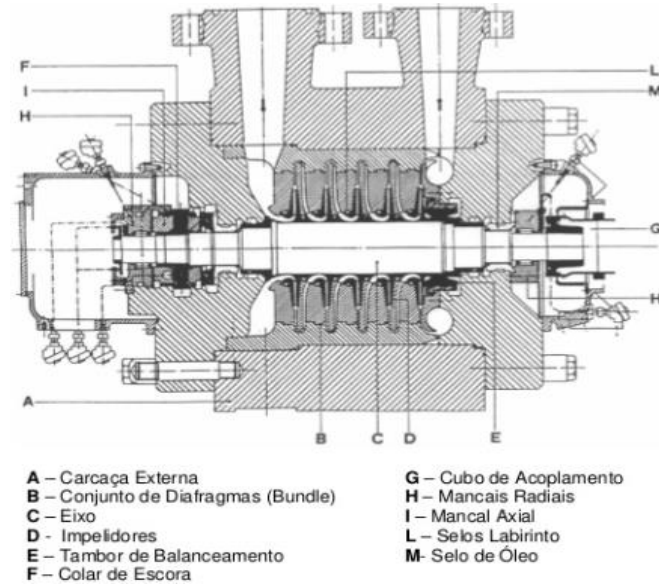


Figura 6.1 – componentes de um compressor

FONTE: Diaz (2017)

Ainda segundo Kardec e Nascif (2009), de modo contrário, se a máquina tem conjunto rotativo pesado, apoiado em mancais rígidos suportados em estrutura flexível, as forças geradas pelo rotor são dissipadas através da estrutura flexível, e assim é melhor medir a vibração diretamente na carcaça. A máquina que melhor exemplifica esse tipo são os ventiladores industriais, que tem sua carcaça e estrutura bastante leves, enquanto seu conjunto rotativo é o oposto, como representado na figura 6.2 abaixo.

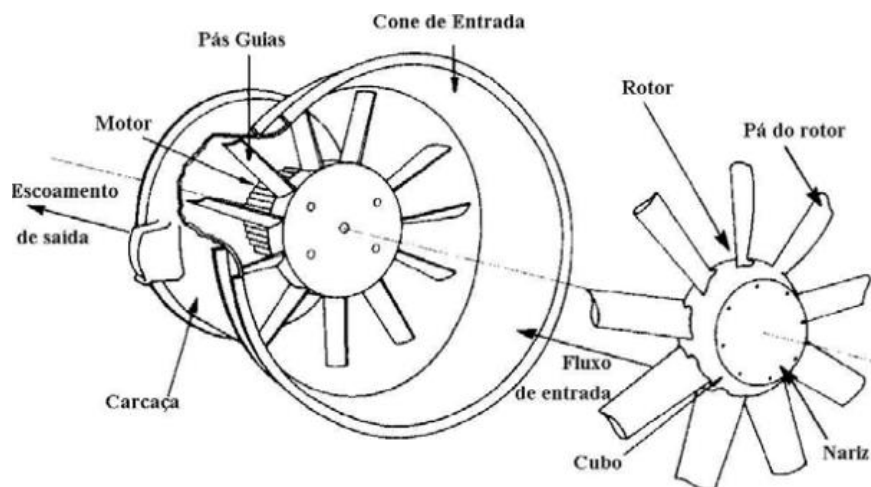


Figura 6.2 – Componentes de um ventilador industrial.

FONTE: Perez (2014).

De acordo com Kardec e Nascif (2009), outro aspecto é a faixa de frequência de interesse, pois é sobre ela que serão feitas as medições. Todas as medições de vibração serão feitas dentro

de uma faixa de frequência de modo que se possa analisar as contribuições de cada valor típico de frequência para a vibração final. Nada mais é do que definir o espectro de vibrações que é a assinatura de valores de velocidade ou deslocamento para as diversas frequências, num dado momento.

Os valores de frequência, para os diversos tipos de sensores, estão mostrados de acordo com a tabela 6.1 abaixo.

Tabela 6.1 - Valores de frequência para diversos tipos de sensores.
(Adaptado de KARDEC e NASCIF, 2009)

Probe de deslocamento sem contato	Limite superior 2.000 Hz
Pick-up de velocidade	10 Hz a 1.500 Hz
Acelerômetros	Abaixo de 1 Hz até 50 kHz

Segundo Kardec e Nascif (2009), estes fatores são apenas alguns poucos e básicos nas considerações sobre a medição de vibração em equipamentos e estruturas, para cada sensor e sistema a utilizar, uma série de detalhes devem ser observados de modo que as medições tenham a confiabilidade necessária. Deve ser consultado livros específicos sobre o assunto, catálogos dos fabricantes e normas pertinentes, particularmente a ISO.

Dos instrumentos para medição, análise e registro de vibração mais utilizados no mercado, temos primeiramente o Vibrômetro, figura 6.3 abaixo, que é o instrumento mais simples para medição de vibração. Tem como sensor o pick-up de velocidade ou acelerômetro, podendo medir a amplitude de deslocamento e velocidade em diversas faixas, que podem ser ajustadas por meio de um seletor (KARDEC e NASCIF, 2009, p. 257).



Figura 6.3 – vibrômetro em utilização.

FONTE: Catálogo PCE Instruments.

De acordo com Kardec e Nascif (2009), as canetas de medição de vibração, observar figura 6.4 a seguir, que são bastante pequenas e leves, podem medir, ao mesmo tempo, o valor de vibração global e envelope de aceleração, é bastante aceitável para uma primeira avaliação dos estados dos equipamentos. O sensor da caneta é um acelerômetro pizoelétrico com integrador o sinal de entrada é processado para produzir as medições já citadas. O valor global de vibração, que é na faixa de 10 a 1.000 Hz é usado para analisar alterações como desbalanceamento e desalinhamento. O envelope de aceleração analisa alterações que ocorrem com uma frequência maior, de 10 kHz a 30 kHz.



Figura 6.4 – caneta de vibração em utilização.
FONTE: Catálogo SKF CMAS 100

Já que alguns vibrômetros só fornecem vibração total, os analisadores de vibração, representados na figura 6.5, em desenvolvimento, tem a capacidade de selecionar determinada frequência para medição. Outro recurso são os filtros, que têm a propriedade de limitar um sinal de vibração, que permite uma determinada passagem de uma faixa de frequência ou até mesmo uma única frequência, o que facilita a análise de vibração (KARDEC e NASCIF, 2009, p. 258).



Figura 6.5 – Analisador de Vibração em utilização.
FONTE: Catálogo Fluke 810.

Todas as medições de vibração e seus respectivos instrumentos para realização da análise são de extrema importância para detectar e evitar possíveis futuras falhas. As grandezas citadas, junto com a frequência, o local adequado para medição (carcaça ou eixo) e os instrumentos utilizados para realização da medição são fundamentais na detecção dessas falhas.

Todas as máquinas estão expostas à diversos fatores, como fadiga e desgaste, que podem provocar uma falha. “Esses efeitos provocam um aumento nas folgas entre partes concordantes, desalinhamento em eixos e desbalanceamento de rotores” (RAO, 2008, p. 364). No item 3.4.2 “Importância da análise de Vibração”, observou-se que no seu principal objetivo, a análise de vibração detecta possíveis falhas, que “com o passar do tempo, os níveis de vibração continuam crescendo, o que resulta em falha ou avaria da máquina” (RAO, 2008, p. 364). As principais falhas serão abordadas agora.

6.1 Desbalanceamento

Segundo Eisenmann (1997), O desbalanceamento é uma das fontes mais comuns de vibração em máquinas e equipamentos. O desbalanceamento ocorre quando há uma distribuição irregular de massa em torno da linha central de rotação de um eixo, gerando carga nos mancais como resultado das forças centrífugas. As suas principais causas são o balanceamento feito de maneira inadequada, deixando o desbalanceamento residual, perda de parte do rotor por qualquer razão, depósito de qualquer material em alguma das pás do rotor que traz desigualdade nas massas, empeno permanente ou temporário, excentricidade entre os componentes acoplados e outros mais. Pode ser identificado no espectro de frequências como um pico com valor igual ao valor de rotação do eixo.

Segundo Michell (1993), o desbalanceamento é uma das causas mais comuns de vibração em equipamentos rotativos, especialmente em rotores de motores elétricos, rotores de ventiladores e rotores de sopradores, conforme figura 6.6. O processo de balanceamento é o processo de corrigir a distribuição de massa de um corpo, de modo que ele gire em torno de seu eixo, desde que não atuem forças centrífugas desbalanceadas. O objetivo só pode ser alcançado até certo nível, mesmo depois de balanceado, o rotor pode possuir desbalanceamento residual permitido.

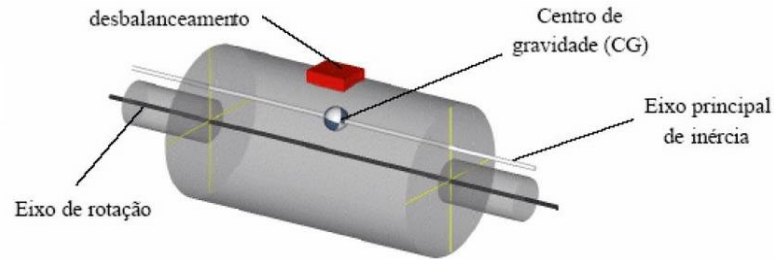


Figura 6.6 – Desbalanceamento de um rotor

FONTE: Mendes (2013).

6.2 Desalinhamento

Desalinhamento de eixos é considerado a segunda fonte de vibração mais prevalente após o desbalanceamento, o qual ocorre devido ao mau alinhamento entre peças correspondentes, como metades de acoplamento, eixos, polias e etc. De maneira mais técnica o desalinhamento pode ser definido como a condição quando a linha central geométrica de dois eixos acoplados não coincidem ao longo do eixo de rotação. “O objetivo do alinhamento é garantir o bom funcionamento dos equipamentos rotativos tendo, como característica principal eliminar vibrações, aquecimento e dar maior durabilidade aos componentes” (SENAI, 1997, p. 6). Como mostrado na figura 6.7, “os desalinhamentos podem ser paralelo ou radial, angular ou axial e combinado, seja no plano horizontal ou vertical” (SENAI, 1997, p. 6).

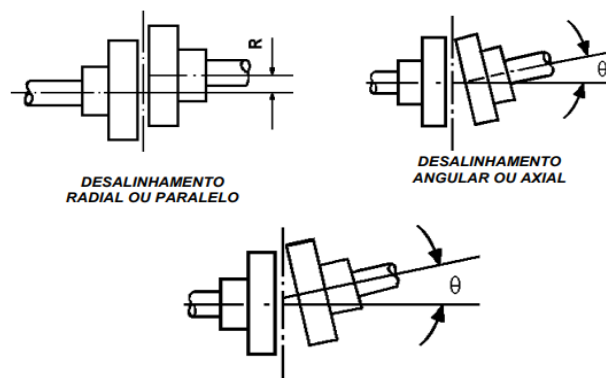


Figura 6.7 – Tipos de desalinhamento.

FONTE: SENAI (1997).

O desalinhamento paralelo ou radial, acontece quando as linhas de centro dos eixos estão paralelamente afastadas. Por outro lado, no caso de desalinhamento angular ou axial esse desvio é observado pelo ângulo formado entre as linhas de centro em um plano no espaço. E o

desalinhamento combinado, é a mais comum das situações, e ocorre justamente quando existem desvios paralelos e angulares em um mesmo conjunto de linhas de centro.

No caso de alinhamento de eixo, em geral, acoplamentos rígidos e flexíveis podem ser empregados. Embora os acoplamentos flexíveis sejam preferíveis por compensarem parte do desalinhamento, existem padrões geralmente aceitos para o desalinhamento do eixo com vários tipos de acoplamentos, de forma que é de extrema importância ter as linhas de eixo alinhadas o mais próximo possível. De acordo com a apostila de “Alinhamento de Máquinas Rotativas” (SENAI, 1997), A realização de um bom alinhamento não depende, tão somente, de quem o faz, por isso, deve-se observar, antes da execução do serviço, o nivelamento, a centralização e os dispositivos de deslocamento.

6.3 Instabilidade

Segundo Pereira (2005), a instabilidade em máquinas rotativas é normalmente produzida por forças que são tangenciais à órbita de giro do rotor, chamadas de forças desestabilizadoras, agindo no mesmo sentido do movimento instantâneo. Os problemas devido à instabilidade pertencem ao chamado grupo das Vibrações subsíncronas, ou seja, aquelas cujas frequências estão abaixo da rotação das máquinas são consideradas auto excitadas e caracterizam-se pela incapacidade dos mancais manterem o rotor numa posição estável. Os principais casos são: Oil Whirl, Oil whip, representados nas figuras 6.8 e 6.9, e instabilidade derivada da selagem. O fenômeno denominado Oil Whirl é a instabilidade do filme de óleo, na qual o gradiente de pressão ao longo do mancal não consegue ser mantido constante. Quando a frequência de vibração provocada pelo oil whirl conjunto rotor/mancal, os níveis de vibração atingem amplitudes elevadas, culminando no rompimento do filme de óleo e na falha no mancal, essa situação é conhecida como Oil Whip.

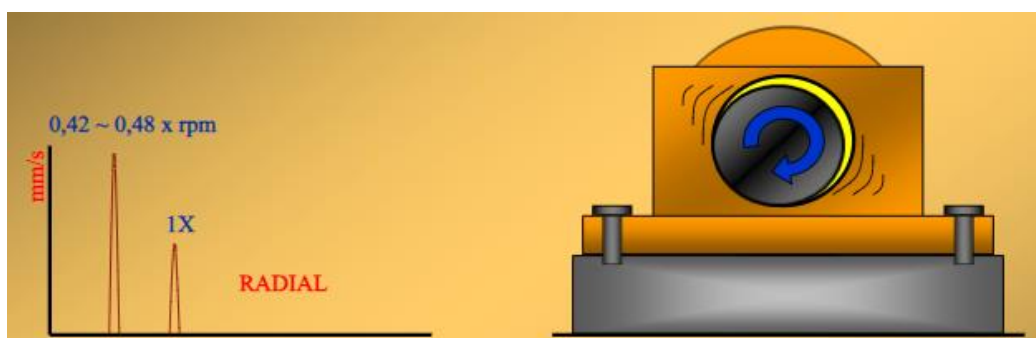


Figura 6.8 – Oil Whirl – Instabilidade.

FONTE: Alves (2015).

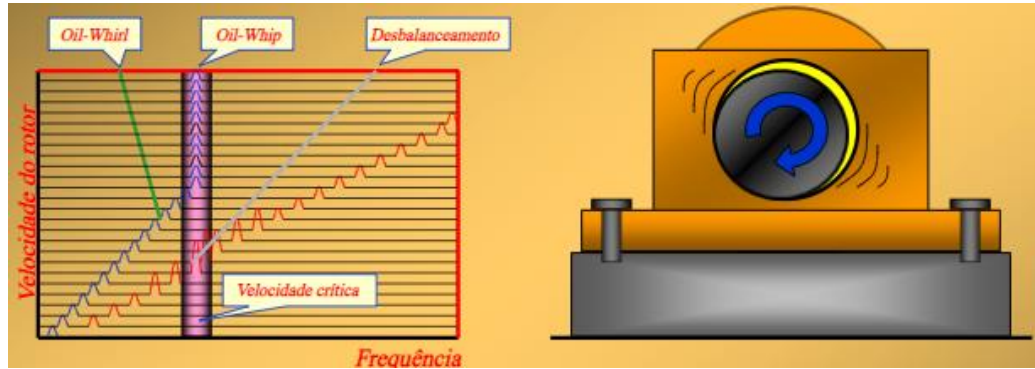


Figura 6.9 – Oil Whip – Instabilidade.

FONTE: Alves (2015)

5.4 Componentes Frouxos

De acordo com Salomão Filho (2013), é a vibração provocada pela existência de folga entre componentes que deveriam permanecer estáticos, os casos mais comuns de ocorrência podem ser folgas entre a caixa dos mancais e a carcaça da máquina, figura 6.10. Como o funcionamento da máquina já emite uma certa vibração, que aliado a essas folgas provoca um aumento na intensidade da vibração, podendo causar desgaste nas peças.

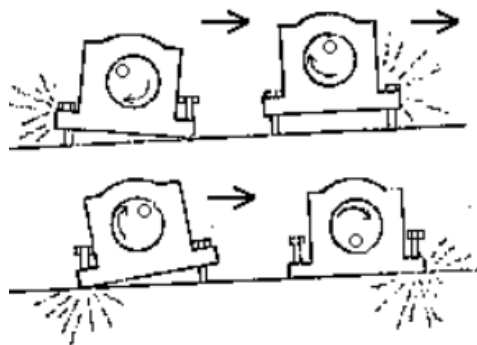


Figura 6.10 – Componentes Frouxos.

FONTE: Salomão filho (2013)

6.5 Engrenagens

De acordo com Santos Júnior (2002), engrenagens são elementos rígidos utilizados na transmissão de movimentos rotativos entre eixos. Segundo Salomão Filho (2013), são originados pela necessidade de interação entre os eixos que compõem as próprias engrenagens. Os principais problemas em engrenagens estão associados a excentricidade das engrenagens, onde o centro de rotação não coincide com o centro do círculo formado pela pitch line. As

engrenagens permitem a transmissão de potência com ou sem redução de velocidade e a relação de rotação entre eixos está ligada ou número de dentes entre os pinhões em contato, a figura 6.11 mostra uma engrenagem com um dente quebrado.

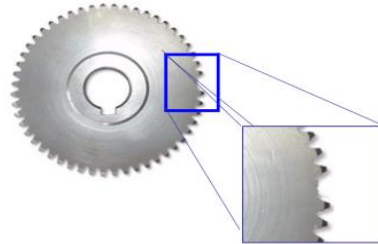


Figura 6.11 – Engrenagem com dente quebrado.

FONTE: Costa (2018).

Todas as informações dadas neste capítulo mostram o quanto as medições de vibrações são avançadas tecnologicamente, dando ao profissional todas as informações necessárias para uma análise e um diagnóstico precisos, mostrando-se uma ferramenta bastante útil na detecção das possíveis falhas abordadas, como também de muitas outras que também podem ter um diagnóstico prévio através das medições de vibrações.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao adotar a prática de análise de vibrações na manutenção preditiva, uma empresa se torna propícia a diversos benefícios que são trazidos com este método. Alguns dos principais benefícios do monitoramento de máquinas através da análise de vibração são:

- **Evita paradas indesejadas de máquinas:** Com o monitoramento constante pode-se ter um controle de manutenção, assim podendo prever e evitar falhas. Essas falhas quando não monitoradas e identificadas podem se agravar, precisando de uma intervenção corretiva, assim provocando a parada indesejada do maquinário.
- **Antecipa possíveis falhas, evitando a quebra e aumentando a segurança:** Ao monitorar as máquinas, é possível prever falhas no maquinário. Dessa forma, os reparos e ajustes são realizados antes que haja um defeito mais grave no equipamento. Ainda, alguns danos nas máquinas colocam em risco a segurança dos colaboradores.
- **Propicia o aumento na produtividade:** Quando há o monitoramento em tempo real, é possível acompanhar todo o processo produtivo e verificar falhas. Com a identificação imediata, são elaborados meios de superar tais dificuldades. Assim, tais problemas são resolvidos em um curto tempo para evitar prejuízos, otimizando o processo produtivo da fábrica em questão. Também disponibiliza relatórios para estudo e assim melhorias em todos os processos e identifica falhas de operação das máquinas para assim potencializar a produção.
- **Reduz o tempo e os gastos com a manutenção:** Com monitoramento de máquinas, a economia nos gastos é vista em diversos aspectos. Isso porque há redução de custos com a manutenção preventiva não planejada, a compra de peças e a contratação de serviços técnicos. Ainda, esse tipo de intervenção ocorre somente quando for necessário, evitando prejuízos decorrentes de máquinas paradas. Com a otimização do desempenho, aumenta-se a produtividade, gasta-se menos com insumos e há menor gasto de energia elétrica, gerando mais lucro.

O monitoramento deve ser considerado um ponto crucial nesse processo para atingir o objetivo superior, mostrando toda a eficácia da análise de vibrações na detecção de futuros problemas, se estabelece como uma das técnicas da manutenção preditiva mais eficientes do meio.

A figura 7.1 abaixo mostra que a manutenção preditiva, com a análise de vibração, consegue antecipar a identificação de uma falha potencial em até 9 meses, o que dá mais tempo para planejar e analisar a falha, diminuindo o impacto na operação, onde as peças de reposição podem ser compradas com antecedência não necessitando de um grande estoque em campo, que reduz o custo de manutenção, assim dando o retorno citado anteriormente.



Figura 7.1 – Benefícios da manutenção preditiva

FONTE: LLK Engenharia para inovação.

A seguir na figura 7.2, um quadro com aumento de benefícios ao adotar manutenção preditiva onde são apresentados dados de uma pesquisa que mostram todos os benefícios adquiridos com a implementação da manutenção preditiva, nota-se que são reduzidos consideravelmente as falhas e horas extras para realização da manutenção, consequentemente reduzindo seus custos. E um aumento na vida útil dos equipamentos e consequentemente na lucratividade.

Atividade	% Benefício
Custos de manutenção	Redução de 50 a 80 %
Falhas nas máquinas	Redução de 50 a 60 %
Estoque reposição	Redução de 20 a 30 %
Horas extras manutenção	Redução de 20 a 50 %
Tempo paradas de máquinas	Redução de 50 a 80 %
Vida dos equipamentos	Aumento de 20 a 30 %
Lucratividade	Aumento de 25 a 60 %

Figura 7.2 – Quadro com Aumento de benefícios com manutenção preditiva.

FONTE: Plant Performance Group (uma divisão da Technology for Energy Corporation).

A pesquisa foi realizada pela “Plant Performance Group (uma divisão da Technology for Energy Corporation)” no ano de 1988 com mais de 500 empresas consultadas de diferentes países, e nas áreas de ferro, aço, papel, celulose, têxteis, processamento de alimentos e energia elétrica. Com no mínimo 3 anos de utilização da manutenção preditiva. Embora não recentes, os dados dessa pesquisa já mostram o quão eficiente é a análise de vibrações.

Atualmente, com as técnicas mais evoluídas com a ajuda da tecnologia, se pode obter até números melhores com a adoção deste método. Dados de 2010, do departamento de energia dos EUA, apontam que a manutenção preditiva é bastante rentável, demonstrando também redução nos custos, aumento na produção e um alto retorno de investimento, conforme figura 7.3 a seguir.

Retorno do investimento	10 vezes
Redução nos custos de manutenção	25% a 30%
Eliminação de avarias	70% a 75%
Redução do tempo de inatividade	35% a 45%
Aumento da produção	20% a 25%

Figura 7.3 – Quadro de Benefícios da manutenção preditiva.

FONTE: Adaptado de (Operations & Maintenance Best Practices, cap 5.4)

Um estudo realizado em uma empresa siderúrgica local em 2019, por meio de um levantamento de dados através de laudos de análise de vibrações, verificou o cumprimento das recomendações e a análise dos custos envolvidos. O trabalho visava a melhoria no processo

produtivo, redução dos custos gerais de manutenção e acompanhamento regular das condições operacionais dos equipamentos. Obteve os seguintes resultados:

- Levantamento de dados dos últimos 4 anos (2016 a 2019);
- Total de 1287 laudos de vibração;
- Falha mais recorrente – Rolamentos Danificados: 45,53%
- Área mais crítica – Precipitação: 20,28%;
- Análise mais relevante:
 - Área: Clarificação;
 - Equipamento: 035G-BA-012;
 - 16 laudos: 8 rolamentos danificados;
 - Periodicidade: 14 dias;
 - Custo atual: R\$ 4329,48;
 - Custo extra: R\$ 20577,39 (475,29%)

Rótulos de Linha	Soma de 2016	Soma de 2017	Soma de 2018	Soma de 2019
ACOPLAMENTO DANIFICADO	12	12	8	19
DESALINHAMENTO	54	43	28	28
DESBALANCEAMENTO	28	8	8	13
DESGASTE	6	21	3	6
ENGRENAMENTO	5	3	12	9
FOLGAS	70	79	42	42
IMPACTOS	3	4	1	5
OUTROS	24	20	13	14
ROÇAMENTOS	0	0	0	0
ROLAMENTO DANIFICADO	159	153	133	141
RÚIDO ANORMAL	7	7	4	0
SELO DANIFICADO	0	1	0	2
VAZAMENTO	7	14	9	7
Total Geral	375	365	261	286
SOMA TOTAL	1287			

Figura 7.4 – Falhas encontradas através de análise de vibrações.

FONTE: Empresa Siderúrgica local.

Através do estudo pode-se observar que o número de falhas encontradas por meio da análise de vibração foi de 1287, figura 7.4, sendo quase metade destes em rolamentos, inclusive na análise mais relevante indicada. E nela observa-se um aumento de 475,29% sobre o custo inicial dado após o laudo, que seria evitado com o reparo imediato.

Os benefícios adquiridos com a adoção dessa técnica preditiva podem demonstrar como essa ferramenta é totalmente eficiente, quando detecta uma falha pode desencadear uma série de pontos positivos para empresa que à utiliza, como demonstrado.

Nas figuras de 7.5 até 7.9 estão alguns laudos que foram disponibilizados, todos com alto alerta de criticidade, com um curto prazo para execução de reparo. Todos os laudos são de análises de vibração realizados em uma empresa Siderúrgica local, e foram utilizados no estudo mostrado anteriormente.

EQUIPAMENTO:	TRANSPORTADOR DE CORREIA	DATA DA ANÁLISE:	13/02/2017
TÉCNICA APLICADA:	ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	ORDEM DE TRABALHO:	WO11085279
INSTRUMENTO:	CSI 2130	PRAZO DE EXECUÇÃO	10/03/2017
DESCRIÇÃO DA FALHA			
DESCRIÇÃO DA FALHA:	ROLAMENTO DANIFICADO		
LOCAL DA FALHA	MANCAL	COMPONENTE:	ROLAMENTO
TIPO DE SERVIÇO:	PREDITIVA		
DETALHAMENTO			
Mancal de polia 1E apresenta vibração alterada e espectros indicam falhas no rolamento.			
RECOMENDAÇÕES			
Trocar rolamento da polia 1E (polia 1, lado esquerdo - lado mar)			

Figura 7.5 – Laudo de análise de vibração.

FONTE: Empresa Siderúrgica local.

EQUIPAMENTO:	REDUTOR	DATA DA ANÁLISE:	13/03/2019
TÉCNICA APLICADA:	ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	ORDEM DE TRABALHO:	WO13764625
INSTRUMENTO:	CSI 2130	PRAZO DE EXECUÇÃO	19/04/2019
DESCRIÇÃO			
DESCRIÇÃO DO DEFEITO:	ROLAMENTO APRESENTA INDICAÇÃO DE DEFEITO		
LOCAL DO DEFEITO	REDUTOR	COMPONENTE:	ROLAMENTO
CONDIÇÃO OPERACIONAL	OPERAR SEM RESTRIÇÕES (ATÉ PRAZO DE EXECUÇÃO)		
DETALHAMENTO			
ROLEMENTOS DO EIXO DE ENTRADA DO REDUTOR APRESENTAM INDICAÇÕES DE DEFEITOS.			
RECOMENDAÇÕES			
ENVIAR REDUTOR A OFICINA CENTRAL PARA QUE SEJA FEITA A SUBSTITUIÇÃO DOS ROLAMENTOS DO EIXO DE ENTRADA E A VERIFICAÇÃO DO DESGASTE DAS ENGRANAGENS E DOS DEMAIS ROLAMENTOS.			

Figura 7.6 – Laudo de análise de vibração.

FONTE: Empresa Siderúrgica local.

EQUIPAMENTO:	TRANSPORTADOR DE CORREIA	DATA DA ANÁLISE:	30/10/2019
TÉCNICA APLICADA:	ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	ORDEM DE TRABALHO:	WO14575844
INSTRUMENTO:	CSI 2130	PRAZO DE EXECUÇÃO	15/11/2019
DESCRIÇÃO			
DESCRIÇÃO DO DEFEITO:	ROLAMENTO APRESENTA INDICAÇÃO DE DEFEITO		
LOCAL DO DEFEITO	MANCAL	COMPONENTE:	ROLAMENTO
CONDIÇÃO OPERACIONAL	OPERAR SEM RESTRIÇÕES (ATÉ PRAZO DE EXECUÇÃO)		
DETALHAMENTO			
O MANCAL DE POLIA 11D DA CORREIA B6 APRESENTA VIBRAÇÃO ANORMAL. O ESPECTRO DE VIBRAÇÃO APRESENTA SINAIS DE DEFEITO NO ROLAMENTO.			
RECOMENDAÇÕES			
SUBSTITUIR O ROLAMENTO DO MANCAL DE POLIA 11D DA CORREIA 15-TP-11 (B6).			

Figura 7.7 – Laudo de análise de vibração.

FONTE: Empresa Siderúrgica local.

EQUIPAMENTO:	SOPRADOR	DATA DA ANÁLISE:	10/04/2018
TÉCNICA APLICADA:	ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	ORDEM DE TRABALHO:	Vide abaixo
INSTRUMENTO:	CSI 2130	PRAZO DE EXECUÇÃO	Vide abaixo
DESCRIÇÃO			
DESCRIÇÃO DO DEFEITO:	Defeito de rolamento e eixo empenado		
LOCAL DO DEFEITO	Soprador	COMPONENTE:	Soprador
CONDIÇÃO OPERACIONAL	OPERAR SOMENTE EM EMERGÊNCIA		
DETALHAMENTO			
<p>Equipamento apresenta defeito de rolamento e eixo com indícios de empeno. O mancal "D" possui alta amplitude na direção axial, com 19,3 mm/s RMS, enquanto o maior valor na radial é de 12,4 mm/s RMS.</p> <p>A literatura sobre vibração diz: <i>"Quando uma amplitude de vibração na direção axial exceder 50% da maior amplitude da radial, um empeno de eixo pode ser a provável causa da vibração".</i></p> <p>Ressalta-se que houve tentativa de balanceamento do equipamento, sem o sucesso desejado. Assim, diante dos argumentos acima, existe forte indicio de empeno de eixo, próximo ao mancal "D".</p> <p>Obs: devido a restrição de acesso, não é possível checar o empeno entre o mancal "D" e o rotor.</p>			
RECOMENDAÇÕES			
Trocar rolamentos dos mancais do soprador – WO11614184 - 04-MAI-2018			
Trocar eixo do soprador. – WO11614196 - 31-JUL-2018			

Figura 7.8 – Laudo de análise de vibração.

FONTE: Empresa Siderúrgica local.

EQUIPAMENTO:	TRANSPORTADOR DE CORREIA	DATA DA ANÁLISE:	30/01/2015
TÉCNICA APLICADA:	ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	ORDEM DE TRABALHO:	WO8921035
INSTRUMENTO:	CSI 2130	PRAZO DE EXECUÇÃO	03/03/2015
DESCRIÇÃO DA FALHA			
DESCRIÇÃO DA FALHA:	DEFEITO NO ROLAMENTO		
LOCAL DA FALHA	MANCAL DE POLIA	COMPONENTE:	ROLAMENTO
TIPO DE SERVIÇO:	REPARO		
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rolamento do mancal direito da polia 03 apresenta defeito na pista externa (BPFO). 			
RECOMENDAÇÕES			
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Substituir rolamento da polia 03 lado do mancal direito, que conforme a análise de falhas apresenta defeito na pista externa. 			

Figura 7.9 – Laudo de análise de vibração.

FONTE: Empresa Siderúrgica local.

Todos os laudos disponibilizados mostram falhas encontradas com a análise de vibração, indicando o local correto da falha e as recomendações necessárias para o reparo. É dado um prazo de execução do reparo pois a técnica permite prever o momento necessário para isso. O poder de precisão torna essa técnica confiável, benéfica para a empresa que adotar o método e extremamente eficiente em sua função.

8 CONCLUSÕES

A maior contribuição deste trabalho é demonstrar o quanto a manutenção preditiva, através da análise de vibrações, é eficiente nas detecções bastante precisas de possíveis falhas futuras, que podem prejudicar o funcionamento do ativo, ou até mesmo danos maiores. Basicamente esse método contribui na produtividade, e assim, instantaneamente na gestão e redução de gastos.

Se pôde ver como a análise de vibração é de extrema importância na indústria atualmente, pois ela engloba características que ajudam no desenvolvimento e gestão da mesma, praticamente ajudando em quase todos os setores. Apesar de um alto custo de aquisição, sua implementação trará retornos significativos, mesmo que a longo prazo.

Todos os métodos e instrumentos abordados neste trabalho ajudam na determinação das possíveis falhas que venham a ocorrer, como mostrado, a alta precisão dos aparelhos no instante da medição e o diagnóstico que é dado com convicção.

Os dados analisados anteriormente mostram como a análise de vibração, dentro da manutenção preditiva, pode ser eficaz, os números mostram como reduzem falhas e outros imprevistos que contribuem na redução dos custos, como também mostram aumentos significativos na produtividade e lucratividade, trazendo os objetivos desejados.

Todos os benefícios citados demonstram o quão esse método é eficiente, usando a análise de vibração, a condição de uma máquina pode ser monitorada constantemente, dando análises detalhadas e identificando quaisquer falhas que possam surgir ou que já existam. Com isso se pode programar manutenções adequadas e no tempo certo. A análise de vibrações se mostra totalmente eficiente como manutenção preditiva, podendo detectar falhas mecânicas futuras, aumentando a vida útil do equipamento monitorado.

9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como o método que este trabalho abordou está em constante evolução e ainda, de certa forma, é pouco utilizado no mercado, futuros trabalhos podem demonstrar como a análise de vibração pode dar um retorno significativo do investimento para sua aquisição, mostrando que vale a pena adotar tal método. E também um trabalho experimental demonstrando a precisão dos aparelhos de medição e o diagnóstico correto que é dado.

Conseguindo todos os recursos para a realização, pode-se desenvolver trabalhos demonstrando o comportamento dos aparelhos de monitoramento quando há um surgimento de uma possível falha e análise das vibrações para dar o diagnóstico.

REFERÊNCIAS

AGNOLETTO, Evaldo. Análise de Vibrações: Definições Técnicas. Caxias do Sul. 2016.

ALVES, J. B. Análise Espectral. Transportadora Basileira Gasoduto Brasil-Bolívia S.A. 2015.

BALACHANDRAN. B.; MAGRAB. E.B. Vibrações Mecânicas. 2.ed. São Paulo: Cengage do Brasil, 2011.

COSTA, César da. Ferramentas de Diagnóstico de máquinas IMFDM. Aula 5. 2018.

CLÁUIDA SEQUEIRA. Sensores para medições de Vibrações Mecânicas – Acelerômetros. Revista Manutenção, 3 pág.

CURSO DE ANÁLISE DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS. Programa de transferência de tecnologia. Análise espectral.

DA SILVA, B.T.V. Bancada para análise de vibração: Análise de falhas em máquinas rotativas. Mestrado em Engenharia Mecânica. Taubaté. 2012.

DE ALMEIDA, I. B. Análise de falhas em rolamentos por análise de vibração aplicado a aero geradores. Pós graduação em Eng. Mecânica. Natal. 2016.

DIAZ, Eduardo Losada. Apostila de Compressores Centrífugos. 2017.

EISENMANN, Robert C. Sr. And Eisenmann, Robert C. Jr.(1997), Machinery Malfunction Diagnosis and Correction: vibration analysis and troubleshooting for the process industries, New Jersey, Prentice-Hall, Inc.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. Confiabilidade e Manutenção Industrial. São Paulo, Elsevier, 2009.

FLUKE. Catálogo de analisadores de medição Fluke. 2018.

HOLANDA, S.M.S. Aplicação da manutenção preditiva por análise de vibração em equipamentos de trens urbanos com plano de manutenção proposto. Mestrado em Engenharia Mecânica área de Materiais e Fabricação. Recife. 2016.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. Manutenção: Função Estratégica. 3.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2009.

LIMA, Bruno H. Marinho de. Uso da Manutenção Preditiva para estudo de confiabilidade de equipamentos críticos. Programa de Estágio Alcoa. 2019.

MARTINS, M. L.; SARTO, Eduardo. Aplicação da Preditiva on-line Como Ferramenta para o Aumento da Disponibilidade e Confiabilidade dos Equipamentos Rotativos em uma Empresa do Ramo Petrolífero. 29º Congresso ABRAMAM, 2014.

MENDES, André. Desenvolvimento de software em LabVIEW para balanceamento dinâmico de rotores. 2013.

Mitchell, J. S. "Introduction to Machine Analysis and Monitoring", Ed. PennWell Publishing company, 1993.

MOUBRAY, J. Reliability-centered maintenance: second edition. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

NETO, J. P. Análise de vibração em equipamentos de mineração: monitoramento online de vibração. Minas Gerais, 13 pág. 2015.

PCE. Catálogo de medidores de vibração PCE Instruments 2018.

PEREIRA, José Carlos. Introdução à Dinâmica de Rotores. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

PEREZ, Nestor Proenza. Mecânica dos Fluídos: Sistemas Fluido mecânicos, Aula 23. UNESP. 2014.

Plant Performance Group (Divisão da Technology for Energy Corporation). Pesquisa sobre manutenção preditiva. 1988.

RAO, Singiresu. Vibrações Mecânicas. 4ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2008.

ROCHA, D.L. Análise de vibração em equipamentos rotativos de uma indústria alimentícia. Trabalho de conclusão de curso superior de tecnologia em manutenção industrial. Campo dos Goytacazes. 2014.

SALOMÃO FILHO, L.F. Manutenção por Análise de Vibrações: Uma Valiosa Ferramenta para Gestão de Ativos. Pós graduação em engenharia Naval e Oceânica. Rio de Janeiro. Abril de 2013.

SANTOS JÚNIOR. Auteliano Antunes dos. Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos. Apostila curso Elementos de Máquinas II. Campinas. 2002.

SEMEQ. Análise de vibração nível I. 2003.

SEMEQ – Serviço de Monitoramento de Equipamentos. Apostila de Análise de Vibração em Motores Elétricos, 2003.

SENAI. Alinhamento de Máquinas Rotativas. Espírito Santo. 1997.

SENAI. Procedimento para balanceamento de máquinas rotativas com 1 ou 2 planos de correção. Resposta técnica. Rio Grande do Sul. Janeiro de 2004.

SENAI. Manutenção industrial. Curso técnico mecânico. 1 ed. Contagem. 2008.

Sequeira, Cláudia D.(2005) “A Análise de Vibrações como Ferramenta no Diagnóstico de Avarias em Máquinas Rotativas”. Lisboa: Tese de Mestrado – FCT

SKF. Catálogo de medidores de vibração SKF. 2018.

SLACK, Nigel. Administração da Produção, 2.ed. São Paulo, Atlas, 2008.

SULLIVAN, G.P. Operations & Maintenance Best Practices: A Guide to Achieving Operational Efficiency Release 3.0. Prepared by Pacific Northwest National Laboratory for the Federal Energy Management Program U.S. Department of Energy. Efficiency Solutions, LLC. August 2010.

TELECURSO2000. Apostila de manutenção mecânica. Manutenção preditiva. Aula 6.

TIMÓTEO, Luís F. M. Automação Industrial: Sensores Capacitivos. 2016.

WINDROCK. Windrock 6400 analisador portátil: Monitoramento premium para máquinas alternativas. Catálogo. 2017.