

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS



CRISTIANE CARVALHO DA SILVA

ANÁLISE DE VIBRAÇÕES E O AUMENTO DA VIDA ÚTIL DOS
ROLAMENTOS

RIO DE JANEIRO

2011

CRISTIANE CARVALHO DA SILVA

**ANÁLISE DE VIBRAÇÕES E O AUMENTO DA VIDA ÚTIL DOS
ROLAMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito para aprovação no curso de
Aperfeiçoamento de Oficiais de Máquinas pelo
Centro de Instrução Graça Aranha.

ORIENTADOR: PROFESSOR LUIZ OTAVIO RIBEIRO CARNEIRO

RIO DE JANEIRO

2011

CRISTIANE CARVALHO DA SILVA

**ANÁLISE DE VIBRAÇÕES E O AUMENTO DA VIDA ÚTIL DOS
ROLAMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito para aprovação no curso de
Aperfeiçoamento de Oficiais de Máquinas pelo
Centro de Instrução Graça Aranha.

Aprovado pela Banca Examinadora em_____

Resultado:_____

BANCA EXAMINADORA

Professor Luiz Otavio Ribeiro Carneiro

Centro de Instrução Almirante Graça Aranha

Professor (a)

Centro de Instrução Almirante Graça Aranha

Professor (a)

Centro de Instrução Almirante Graça Aranha

DEDICATÓRIA

Dedico a Deus por permitir alcançar mais uma vitória na minha vida através da realização deste curso e ser a minha força na superação de todos os obstáculos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai, assim como todas as minhas vitórias acadêmicas, por sempre zelar por minha educação e ser meu porto seguro.

Agradeço ao meu marido Willian e minha mãe Janete por sempre me apoiarem principalmente nos momentos mais difíceis de minha jornada.

Agradeço ao meu orientador e professor Luiz Otavio Ribeiro Carneiro pelos ensinamentos, amizade, incentivo e paciência em me ajudar a desenvolver este trabalho.

Agradeço aos meus amigos e funcionários da biblioteca Tereza e Fidélis por me auxiliarem na pesquisa bibliográfica deste trabalho,

Agradeço a todos os professores do curso de Aperfeiçoamento de Oficiais de Maquinas que mesmo diante de adversidades perseveraram na missão de transmitirem conhecimentos aos alunos com toda dedicação.

Agradeço aos colegas de curso pela oportunidade de aumentar meus conhecimentos através da nossa convivência.

**A maioria das pessoas não planeja fracassar,
fracassa por não planejar.**

(John L. Beckley)

RESUMO

Este estudo objetiva demonstrar a importância da adoção da análise de vibração para o aumento da vida útil dos rolamentos e conseqüentemente a redução de custos e demandas de serviços de manutenção relacionada com defeitos e quebras de rolamento como causas nas embarcações mercantes. Os rolamentos são suportes mecânicos de eixos com a função de permitir que estes realizem os movimentos rotacionais com maior facilidade através da redução da fricção entre as peças móveis de um equipamento. As causas mais comuns de falhas em máquinas rotativas estão relacionadas aos rolamentos. A fim de atender a missão atual da manutenção de garantir a confiabilidade e a disponibilidade das máquinas há a necessidade da adoção de técnicas de manutenção preditiva que permitam a detecção e localização de falhas ou diminuição de desempenho do equipamento possibilitando uma manutenção corretiva planejada e não uma manutenção corretiva emergencial que normalmente acarreta altos custos ou conseqüências graves a equipamentos da mesma planta de operação do equipamento que ocorreu a falha ou desempenho deficiente. Portanto a análise de vibração vai permitir que os rolamentos funcionem por um maior tempo de vida útil através de monitoramento e que as correções possam ocorrer de maneira planejada nos equipamentos com rolamentos.

Palavras-chave: Confiabilidade, Custos, Desempenho, Detecção, Disponibilidade, Manutenção, Monitoramento, Rolamentos.

ABSTRAT

This study aims to demonstrate the importance of the adoption of vibration analysis to increase bearing life and therefore reducing costs and demands of maintenance related defects and failures as causes rolling machines in the merchant vessels . The bearings are mechanical supports axis with the function to enable them to make the rotational movements more easily by reducing friction between moving parts of equipment. The most common causes of failures in rotating machinery are related to bearings. To meet the current mission of maintenance to ensure reliability and availability of machines is the need for adoption of predictive maintenance techniques that allow the detection and localization of failures or reduced performance of the equipment enabling a planned corrective maintenance and not an emergency corrective maintenance that usually results ins serious consequences or high costs for equipment of the same plant of equipment which failed or poor performance. Therefore the vibration analysis will allow the bearings to run for a longer service life though monitoring and that corrective action can occur in a planned way with the equipment bearings.

Keywords: Reliability, Cost, Performance, Search, Availability, Maintenance, Monitoring, Bearings.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Considerações Gerais	12
1.2	Situação Problemática	13
1.3	Objetivos	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos	14
1.4	Justificativa	15
2	REVISÃO DA LITERATURA	
2.1	Mancais de Rolamento	16
2.2	Identificação de Falhas	19
2.3	Manutenção	25
2.3.1	Tipos de Manutenção	25
2.3.2	Vantagens da Manutenção preditiva	26
2.4	Técnicas Preditivas	
2.4.1	Acompanhamento ou Monitoração Subjetiva	27
2.4.2	Acompanhamento ou Monitoração Objetiva	28
2.4.3	Monitoração Contínua	28
2.5	Terceirização	30
2.5.1	Vantagens da Terceirização	30
2.5.2	Desvantagens da Terceirização	30
2.5.3	Formas de Contratação	31

2.6	Capacitação do Pessoal de Bordo	32
2.7	Análise de Vibração	34
2.7.1	Sensores	35
2.7.2	Registradores de Vibração	36
2.7.3	Analisadores de Vibração	37
2.7.4	Coletores e Analisadores de Vibrações	38
2.7.5	Profissional Realizador da Análise de Vibração	38
2.7.6	Medição de Vibração	39
3	Estudo de Caso	39
3.1	Introdução	39
3.2	Histórico	39
3.3	Teste	40
3.4	Resultados	40
3.5	Conclusão	42
4	Método e Procedimentos de Pesquisa	43
4.1	Delineamento da Pesquisa	43
4.2	Técnicas de Pesquisa	44
4.3	Análise de Dados	44
5	CONCLUSÃO	45
6	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade podemos perceber como a confiabilidade impacta ao meio ambiente, a produção, a segurança e os custos de uma instalação de equipamentos. O impacto em custos ocorre, pois a baixa confiabilidade em qualquer instalação de equipamentos localizada em uma planta, sistema ou unidade afeta diretamente os custos de manutenção o que conseqüentemente irá afetar os custos operacionais da empresa.

Do ponto de vista do custo inicial, a manutenção corretiva mostra-se mais barata do que a manutenção preditiva. Contudo se forem analisados os resultados econômicos durante um significativo período de tempo é possível observar que os custos com instrumentação, aparelhos de medição e mão de obra capacitada não são tão altos assim. É possível visualizar as vantagens de adotar a técnicas de manutenção preditiva a equipamentos críticos que estão apresentando altos custos com a manutenção corretiva na tabela abaixo:

Tabela 1: Comparação de Custo Médio Anual por HP entre os Tipos de Manutenção

Tipo de Manutenção	US\$/HP/Ano	Relação
Corretiva não Planejada	17 a 18	2
Preventiva	11 a 13	1,5
Preditiva / Monitoramento de Condição + Corretiva Planejada	7 a 9	1

Fonte: KARDEC; NASCIF (2010, p.53)

A divergência de compreensão do que é custo ou do que é investimento entre a alta gerência das empresas e a área técnica composta pelas áreas de Operação, Manutenção e Engenharia existe a um grande período de anos apesar de apresentar certa redução com o tempo. Contudo em uma era de alta competitividade faz-se necessário que a compreensão de custo e investimento para todas as áreas

seja similar. Para isto é necessário o envolvimento de todos os segmentos da empresa comprometidos e com perseverança para que ocorra esta melhoria na comunicação.

A análise de vibrações é uma técnica da manutenção preditiva, assim tem como objetivo prevenir falhas nos equipamentos através do acompanhamento de parâmetros. Sua aplicação, como técnica preditiva, permite a operação contínua do equipamento por um maior tempo possível.

As falhas que ocorrem normalmente nos rolamentos são oriundas de causas que podem ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada que é uma das condições básicas para a adoção da manutenção preditiva.

Cabe então ao Chefe de máquinas, como responsável da manutenção a bordo, avaliar os métodos e os resultados dos tipos de manutenção utilizados e transmitir suas solicitações como necessidade de treinamento, necessidade de material ou necessidade de realização de manutenção junto a uma análise custos versus benefícios ou os impactos na produção ou serviço caso sua solicitação seja atendida ou descartada a fim de possibilitar que as gerências de manutenção escolham a melhor manutenção que garanta maior disponibilidade do equipamento a um menor custo com segurança e redução de demanda de serviços de manutenção.

1.1 Considerações Gerais

Mancais de rolamentos, mancais de elementos rolantes ou simplesmente rolamentos estão entre os elementos mais utilizados nos equipamentos em todo mundo. De acordo com alguns historiadores, o desenho elementar dos rolamentos de esfera que conhecemos atualmente foi criado no século XV por Leonardo da Vinci. Contudo, o rolamento somente começou a ser desenvolvido industrialmente no final do século XIX e até os tempos atuais ocorreram diversas inovações com a finalidade de melhorar o desempenho da peça e conseqüentemente aumentar sua vida útil.

Basicamente os rolamentos são suportes mecânicos montados em eixos e são constituídos por anéis conhecidos como pistas internas e externas, e fabricados com um aço especial, separados por uma espécie de fileira de esferas ou rolos e estes são separados eqüidistantes através da gaiola.

Estes mancais de rolamentos nos equipamentos desenvolvem a função de suportar os eixos e permitir que estes realizem movimentos rotacionais com mais facilidade pela maneira que minimiza a fricção ou atrito entre as peças móveis da máquina e suporta uma carga.

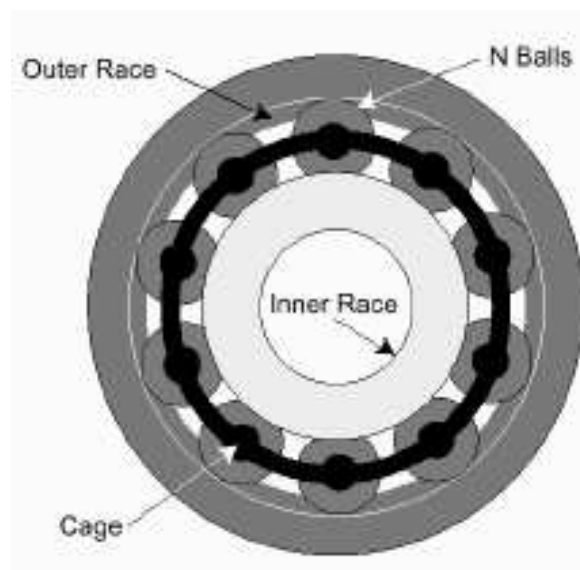


Figura1: Partes do rolamento

Fonte: MIT, s.d.

1.2 Situação Problemática

De acordo com os estudos e pesquisas da empresa Nippon Seiko Kabushiki Kaisha (NSK), apenas 3% dos mancais de rolamentos chegam a atingir a vida útil para qual foram projetadas.

Segundo dados divulgados no site da empresa Svenska Kullager Fabriken (SKF), os rolamentos falham prematuramente devido a erros que poderiam ser evitados e que durante a operação do equipamento se fossem detectados os

indícios de irregularidades poderiam ter sido evitados muitos graves danos tanto aos rolamentos como as demais partes do equipamento.

Normalmente, nas embarcações mercantes, o serviço de monitoramento de vibrações de rolamentos é realizado por empresas terceirizadas. A terceirização apesar de possuir vantagens como redução de custos também apresenta desvantagens como aumento de dependência de terceiros e redução de especialização própria. O nível de contrato de terceirização existente no Brasil onde a grande parte das empresas é paga por serviço ou mão de obra e não um contrato de resultados demonstra que na verdade na maioria dos casos não ocorre um aumento de disponibilidade com a terceirização, pois se a empresa contratada aumentasse a disponibilidade da instalação que realizou o serviço estaria reduzindo a demanda por seus serviços e seu faturamento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a eficiência da análise de vibrações para os mancais de rolamentos a bordo de embarcações e plataformas através do monitoramento realizado pelos próprios tripulantes responsáveis pela manutenção de bordo aumentando a vida útil destas peças e gerando uma redução dos custos de manutenção e demanda de serviços.

1.3.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Identificar qual dos tipos de manutenção se adapta melhor aos equipamentos que utilizam os mancais de rolamentos a bordo;
- Identificar as falhas que interferem na vida útil dos mancais de rolamento;
- Identificar as formas de técnicas preditivas de monitoramento;

- Identificar a necessidade de haver os recursos necessários e mão-de-obra treinada e qualificada para aplicar a análise de vibração a bordo através de monitoramento constante e não só periodicamente por oficinas de serviço terceirizado.
- Analisar e identificar a influencia da análise de vibração como técnica preditiva com constante monitoramento no aumento da vida útil do rolamento e dos equipamentos rotativos que o utilizam.

1.4 Justificativa

Este estudo se justifica pela grande utilização dos rolamentos em equipamentos de embarcações mercantes e plataformas, e por apesar destes elementos possuírem menor atrito que os mancais normais, são muito sensíveis a choques e cargas excessivas exigindo atenção a determinados cuidados e procedimentos para uma vida útil longa.

A escolha do tema está relacionada devido ao fato de que o conceito atual da manutenção é de garantir a confiabilidade e a disponibilidade da função dos equipamentos e das suas instalações a fim de atender aos serviços ou produção a custos adequados com segurança e preservação do meio ambiente, e ao fato de que empresas como o grupo SKF, fornecedor líder no mundo de rolamentos, baseados em pesquisas e estudos defendem que um pequeno percentual dos rolamentos consegue atingir o tempo de vida útil para qual eles foram projetados apesar de que os fabricantes de rolamentos estão sempre desenvolvendo tecnologias mais avançadas para aumentar a durabilidade de seus produtos. Sendo o monitoramento e o acompanhamento do funcionamento do rolamento um dos cinco estágios que influenciam a vida útil do rolamento de acordo com a própria SKF, este tema é de extrema importância para a demonstração de como a análise de vibrações em rolamentos poderá permitir que o rolamento funcione até um período mais próximo de sua vida útil projetada, reduzindo paradas de equipamentos ou sistemas, e reduzindo custos de manutenção.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Mancais de Rolamento

Os termos *mancal de contato com rolamento*, *mancais antifricção* e *mancais de rolamento* são utilizados para descrever aquela classe de mancal na qual a carga principal é transferida por elementos em contato rolante em lugar de contato de deslizamento (BUDYNAS; NISBETT, 2011, p.576).

“Mancais são fabricados para receber cargas radiais puras, cargas de empuxo somente ou uma combinação dos dois tipos de carga” (BUDYNAS; NISBETT, 2011, p.576).

“Quando a esfera ou o rolo do mancal de contato de rolamento rola, tensões de contato ocorrem no anel interno, no elemento rolante e no anel externo” (BUDYNAS; NISBETT, 2011, p.579).

Se o mancal estiver limpo e for lubrificado apropriadamente, for montado e vedado de maneira que evite a entrada de poeira e sujeira, for mantido nesta condição e operando a temperaturas razoáveis, a fadiga do metal será a única causa de falha (BUDYNAS; NISBETT, 2011, p.579).

Segundo BUDYNAS e NISBETT (2011, p.579), as medidas comuns de vida são:

- Número de revoluções do anel interno (anel externo estacionário) até a primeira evidência tangível de fadiga;
- Número de horas de uso a uma velocidade angular padrão até a primeira evidência tangível de fadiga.

O padrão da American Bearing Manufacturers Association (ABMA) estabelece que o critério de falha seja a primeira evidência de fadiga. O critério de fadiga utilizado pelos laboratórios da Timken Company é o lascamento ou formação de cavidades (crateramento) de uma área de 6,45 mm² (BUDYNAS; NISBETT, 2011, p.579).

Para aumentar a vida útil dos rolamentos, a empresa SKF recomenda boas práticas de manutenção e utilização de ferramentas corretas. Segundo esta empresa, o ciclo de vida útil do rolamento pode ser influenciado em cinco estágios:

- Montagem e lubrificação: A montagem adequada e uma lubrificação suficiente resultam em um eficiente desempenho do rolamento;
- Alinhamento: O alinhamento mantido em níveis aceitáveis evita o surgimento de falhas prematuras;
- Relubrificação: Alguns rolamentos necessitam de relubrificação durante sua operação. As práticas de relubrificação quando utilizadas da maneira correta maximizam a vida útil destes rolamentos;
- Monitoramento: o acompanhamento do funcionamento do rolamento permite detectar problemas previamente e diminuir a incidência de paralisações aleatórias dos equipamentos;
- Desmontagem: a extração correta do rolamento visa evitar dano aos componentes da máquina prevenindo comprometer o rolamento substituto.

Estes estágios foram adequadamente mostrados na figura a seguir:



Figura 2. Ciclo de vida dos rolamentos da SKF

Fonte: SKF, s.d.

De acordo com a tabela de possíveis falhas de rolamentos da empresa SKF, os efeitos que interferem no ciclo de vida dos rolamentos são:

- Arranhamento das faces de rolos e anéis guia;
- Arranhamento de superfícies externas;
- Arranhamento diagonais nas pistas de rolamentos axiais de esferas;
- Arranhamento por escorregamento;
- Arranhamento por montagem incorreta;
- Corrosão por assento irregular;
- Corrosão por penetração de umidade;
- Descascamento por arranhamento;
- Descascamento por assento irregular;
- Descascamento por corrosão;
- Descascamento por desalinhamento;
- Descascamento por endentações;
- Descascamento por estrias ou crateras;
- Descascamento por pré-carga;
- Descascamento por sobrecarga axial;
- Desgaste por lubrificação inadequada;
- Desgaste por partículas abrasivas;
- Desgaste por vibração;
- Deterioração da superfície;
- Endentações por montagem incorreta ou sobrecarga;
- Endentações por penetração de partículas estranhas;

- Passagem de corrente elétrica com rolamento em rotação;
- Trincas por arranhamento;
- Trincas por corrosão de contato;
- Trincas por interferência excessiva;
- Trincas por montagem incorreta.

2.2 Identificação de Falhas

É comum em todos os tipos de equipamentos ou elementos de máquinas, o surgimento de sinais de desgaste e até mesmo apresentar falhas com o passar do tempo. A vida útil do equipamento é calculada durante seu projeto levando em consideração todos os esforços atuantes durante seu funcionamento.

A falta de identificação das falhas quando seu aparecimento apresenta seus primeiros sinais acarreta em uma diminuição da vida útil do equipamento ou do elemento de máquinas e conseqüentemente um aumento de demanda de manutenção e altos custos.

Dentre as falhas mais comuns em equipamentos rotativos estão:

- Desalinhamento;
- Desbalanceamento;
- Empenamento;
- Falha em rolamentos;
- Falhas elétricas;
- Falhas em engrenamento;
- Folga mecânica;
- Lubrificação;

- Passagem de pás;
- Ressonância;
- Roçamento.

Como citado anteriormente, a falha em rolamentos encontra-se como uma das falhas mais comuns nas máquinas rotativas que utilizam este tipo de mancal. As falhas que ocorrem em rolamentos provocam vibrações que em seus níveis iniciais somente poderão ser detectadas com a utilização de equipamentos de medição específicos para vibração. Estas falhas possuem frequências específicas que permite a aplicação da análise de vibração de maneira eficaz.

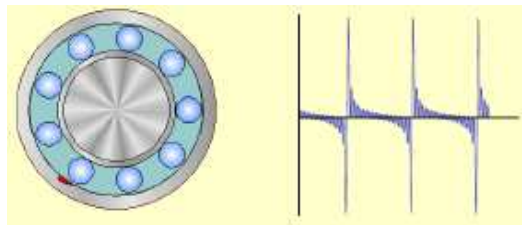


Figura 3: Mancal de rolamento danificado por impacto e seu espectro

Fonte: TODESCHINI, 2002

As principais causas de vibração em rolamentos são:

- Defeitos de fábrica;
- Desgaste;
- Folgas internas;
- Lubrificação inadequada;
- Vibrações de origens externas.

Dentre os principais defeitos encontrados estão:

- Ajuste ou assentamento inadequado do rolamento;
- Elementos rolantes com diâmetros diferentes;
- Imperfeições ou rugosidades na pista interna, externa, ou em ambas;

- Irregularidade na gaiola;
- Irregularidades nos elementos rolantes.

Segundo a SKF, um rolamento não gera ruído por si só. O que é percebido como “ruído do rolamento” é, na realidade, o efeito audível das vibrações geradas direta ou indiretamente pelo rolamento na estrutura ao redor.

As falhas encontradas nos rolamentos produzem choques característicos que se repetem permitindo a determinação de uma frequência característica para cada falha. A diferença entre as frequências geradas para cada falha permite que o problema seja detectado e sua causa.

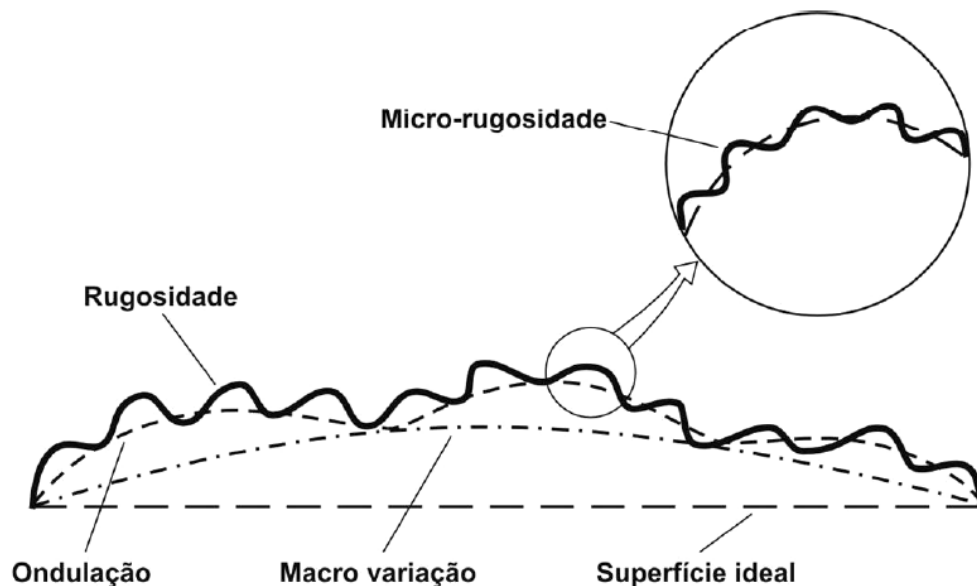


Figura 4: Variações da superfície que causam vibrações

Fonte: LARSEN-BASSE, 1992

Segundo SAMPAIO (2009, p.93), as principais frequências características de falhas em rolamentos são:

- BPFi - Ball Pass Frequency Inner (Frequência dos Elementos Rolantes Passando na Pista Interna);
- BPFO – Ball Pass Frequency Outer (Frequência dos Elementos Rolantes Passando na Pista Externa);

- BSF- Ball Spinning Frequency (Frequência Circular de Cada Elemento Rolante Enquanto Gira);
- FTF- Fundamental Train Frequency (Frequência da Gaiola).

Algumas das falhas que apresentam as frequências anteriormente citadas podem ser visualizadas nas figuras a seguir:

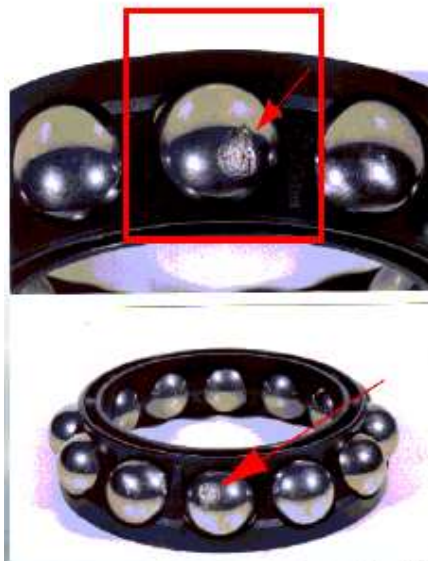


Figura 5: Defeito na esfera do rolamento

Fonte: GATEC (s.d.)



Figura 6: Anel interno do rolamento danificado

Fonte: NSK (s.d.)



Figura 7: Anel interno do rolamento com corrosão

Fonte: NSK (s.d.)



Figura 8: Anel externo danificada

Fonte NSK (s.d.)



Figura 9: Anel externo do rolamento com trinca

Fonte NSK (s.d.)



Figura 10: Rolos do mancal de rolamento com ranhuras

Fonte: NSK (s.d)



Figura 11: Gaiola do rolamento com rupturas

Fonte: NSK (s.d)



Figura 12 :Gaiola totalmente rompida

Fonte: NSK (s.d)

2.3 Manutenção

“O conceito predominante de que a Missão da Manutenção é de restabelecer as condições originais dos equipamentos/ sistemas é passado para algumas empresas mas , ainda, realidade para outras” (KARDEC; NASCIF, 2010, p.22).

Na visão atual, a Manutenção existe para que não haja manutenção; estamos falando da manutenção corretiva não planejada. Isto parece paradoxal à primeira vista mas, numa visão mais aprofundada, vemos que o trabalho da manutenção está sendo enobrecido onde, cada vez mais, o pessoal da área precisa estar qualificado e equipado para evitar falhas e não para corrigi-las (KARDEC;NASCIF, 2010, p.9).

2.3.1 Tipos de Manutenção

A. Manutenção Corretiva Não Planejada:

“Manutenção Corretiva Não Planejada é a correção da FALHA de maneira ALEATÓRIA” (KARDEC; NASCIF, 2010, p. 38).

B. Manutenção Corretiva Planeja:

“Manutenção Corretiva Planejada é a correção do desempenho menor do que o esperado ou correção da falha por decisão gerencial” (KARDEC; NASCIF, 2010, p. 41).

C. Manutenção Preventiva

“Manutenção Preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em INTERVALOS definidos DE TEMPO” (KARDEC; NASCIF, 2010, p. 42).

D. Manutenção Preditiva

“É a atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática” (KARDEC; NASCIF, 2010, p. 44).

“Segundo a Organização Forbes, *um em cada três dólares* gastos em Manutenção Preventiva é desperdiçado” (KARDEC; NASCIF, 2010, p. 56).

E. Manutenção Detectiva

“Manutenção Detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção” (KARDEC; NASCIF, 2010, p. 47).

F. Engenharia de Manutenção:

“Engenharia de Manutenção significa perseguir benchmarks, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do Primeiro Mundo” (KARDEC; NASCIF, 2010, p. 50).

Segundo KARDEC e NASCIF (2010, p. 125), fazer benchmarking significa:

- Trabalhar segundo as melhores práticas;
- Acompanhar os resultados através de (poucos) indicadores representativos.

Segundo KARDEC e NASCIF (2010, p. 52), no momento em que uma estrutura de manutenção estiver utilizando para análises, estudos e proposição de melhorias, todos os dados que o sistema de preditiva colhe e armazena, estará sendo praticada a Engenharia de Manutenção, pois esta utiliza dados adquiridos pela manutenção para melhorar sempre.

2.3.2 Vantagens da Manutenção Preditiva

Segundo KARDEC e NASCIF (2010, p. 56), a manutenção preditiva permite que através da realização do acompanhamento de variáveis, o equipamento fique em operação pelo maior tempo possível. Além disso, através desta análise sistemática de dados objetivos, garantindo o planejamento prévio da intervenção, evitando-se os prejuízos oriundos de:

- Atos inseguros na manutenção pela pressa em promover o retorno do equipamento que falhou inesperadamente;
- Extensão de defeitos quando o equipamento roda até falhar;
- Falta de planejamento do serviço.

2.4 Técnicas Preditivas

As técnicas de manutenção preditiva são aquelas utilizadas para realizar a avaliação do estado da máquina através de medição, acompanhamento ou monitoração de determinados parâmetros.

O acompanhamento dos equipamentos na manutenção preditiva pode ser feitos das seguintes maneiras:

- Acompanhamento ou monitoração objetiva;
- Acompanhamento ou monitoração subjetiva;
- Monitoração contínua.

2.4.1 Acompanhamento ou Monitoração Subjetiva

É o tipo de monitoração praticada largamente a bordo como, por exemplo, para variáveis como temperatura ou vibrações. Pelo ou menos um dos exemplos a seguir já é de conhecimento comum aos profissionais de manutenção de bordo:

- Monitoração de temperatura do mancal: O profissional coloca a mão sobre uma caixa de mancal e diagnostica aquecimento anormal ou não;
- Monitoração da viscosidade do óleo lubrificante: O profissional através do tato sente se o óleo lubrificante está grosso ou fino;
- Monitoração de contaminação de óleo combustível: O profissional consegue notar a diferença de coloração do óleo limpo e o óleo contaminado.

- Monitoração de peças frouxas: através do tato e da audição o profissional consegue notar que há peças frouxas no equipamento.

2.4.2 Acompanhamento ou Monitoração Objetiva

É o tipo de monitoração onde as medições são feitas utilizando equipamentos ou instrumentos especiais. Este tipo de monitoração é considerado objetivo por fornecer um valor de medição do parâmetro que está sendo acompanhado e por ser o valor medido independente do profissional de manutenção que está operando o equipamento ou instrumento de medição, desde que os procedimentos sejam padronizados, ou seja, sejam os mesmos.

Contudo há necessidade que o profissional que esteja operando o instrumento ou equipamentos esteja treinado e habilitado para realizar a medição adequadamente, que os instrumentos sejam aferidos e calibrados regularmente, e que haja também um profissional treinado e capaz de interpretar os dados coletados e emitir diagnósticos. É importante salientar que a gerência da empresa confie no diagnóstico gerado pelos profissionais que estarão realizando a medição e a análise com monitoração objetiva.

2.4.3 Monitoração Contínua

Monitoração contínua é considerada um acompanhamento objetivo que deve ser associada a dispositivos de segurança como alarme e parada ou desligamento da máquina normalmente aplicada a equipamentos de alta responsabilidade como os Motores de Combustão Principal e Auxiliares a bordo.

Segundo a declaração do gerente de comunicações da empresa SKF, Phil Burge, em um artigo publicado em 2010 pela "The Motorship", o monitoramento das condições dos equipamentos aumenta consideravelmente a segurança de equipamentos críticos ou essenciais.

De acordo com este artigo, a falha de um equipamento crítico naval além de provocar tempo de indisponibilidade e aumento nos custos operacionais, significa uma grave ameaça à segurança e em piores casos pode ocorrer alguma catástrofe.

De acordo com MAIB (Marine Accident Investigation Branch), aproximadamente 23% dos acidentes que envolveram navios mercantes com arqueação bruta superior a 100 GT tiveram origem em algum tipo de insuficiência de máquinas, enquanto nos navios passageiros e demais embarcações de comércio com arqueação bruta abaixo de 100 GT este número está em torno de 35%.

De acordo com o Ministério Japonês da Terra, dos transportes e do Turismo cerca de 60% das falhas das máquinas marítimas podem ser atribuídas a fatores como: falta de inspeção, manutenção ou manuseio do equipamento.

O artigo também defende que a vibração está em uma das principais causas da degradação e falhas em sistemas de propulsão e equipamentos auxiliares marítimos. E declaram que muitos problemas poderiam ser resolvidos com ações, como por exemplo, a adoção de técnicas para controlar os níveis de vibração em máquinas consideradas críticas ou essenciais ao longo de sua vida útil auxiliando os operadores e os engenheiros a identificar as falhas ou fontes de danos antes de ocorrer algum problema no equipamento.

A importância do monitoramento contínuo também é destacada neste artigo. Nele consta que o processo contínuo de monitoramento resulta em uma melhoria da confiabilidade do equipamento através de uma base de dados ou históricos de leituras coletados ao longo da vida útil do equipamento.

Assim, percebe-se que o monitoramento contínuo dos equipamentos críticos irá possibilitar condições de gerar uma melhora na segurança, com a redução de acidentes, na produtividade, com a redução de tempo de indisponibilidade ou inatividade, e na rentabilidade, com a diminuição dos custos operacionais por manutenções corretivas não planejadas.

2.5 Terceirização

“Terceirização é a transferência para terceiros de atividades que agregam competitividade empresarial, baseada numa relação de parceria” (KARDEC; NASCIF, 2010, p. 208).

2.5.1 Vantagens da Terceirização

Segundo KARDEC e NASCIF (2010, p. 212), as principais obtidas através da terceirização são:

- Aumento da especialização;
- Aumento de qualidade;
- Diminuição do desperdício;
- Flexibilidade organizacional;
- Melhor administração do tempo para a gestão do negócio;
- Melhor atendimento;
- Redução de áreas ocupadas;
- Redução de custos;
- Redução de estoques, quando se contrata com fornecimento de material;
- Transferência de processos suplementares a quem os tenham como atividade-fim.

2.5.2 Desvantagens da Terceirização

Segundo KARDEC e NASCIF (2010, p. 213), as principais desvantagens da terceirização quando realizada da maneira inadequada:

- Aumento da dependência de terceiros;

- Aumento de custos quando, simplesmente, se empreiteiriza;
- Aumento do risco de acidentes pessoais;
- Aumento do risco de passivo trabalhista, dependendo da qualidade da contratação;
- Aumento do risco empresarial pela possibilidade de queda na qualidade;
- Redução da especialização própria.

2.5.3 Formas de Contratação

Segundo KARDEC e NASCIF (2010, p. 215), há três tipos de contratações de serviço de manutenção:

- Contratação de Mão de Obra: remunera a contratada pelos homens-hora disponibilizados para a contratante;
- Contratação de Serviços: remunera a contratada por sérios prestados para a contratante por médio prazo ou por uma contratação pontual (parada de manutenção);
- Contratação por Resultados: privilegia a disponibilidade dos equipamentos e instalações, sendo a remuneração realizada para a contratada proporcional aos homens-hora empregados.

Dentre as formas de contratação divulgadas pelo Documento Nacional de Abraman em 2007, a contratação por serviço possui o maior percentual entre as contratações de manutenção, em torno de 41%.

KARDEC e NASCIF (2010, p. 219) defendem que esta forma de contratar tem objetivos antagônicos e impede a relação de parceria entre a contratante e a contratada. Antagônicos porque enquanto a contratante está à procura de maior disponibilidade o que resultaria em uma redução de demanda de serviços, a contratada objetiva seu faturamento o que implicaria um aumento de demanda de serviço para a contratante. Faz-se necessário que ocorra uma busca pela parceria

que tanto a contratante como a contratada possuam objetivos comuns e ambos ganhem.

Segundo KARDEC e NASCIF (2010, p. 220), esta parceria onde contratante e contratada garantem seus objetivos ocorre através da contratação por resultados. Nesta contratação tanto a contratante como a contratada irão buscar maior disponibilidade. O lucro da contratada não dependerá mais da demanda de serviços e sim da diminuição da demanda onde os recursos não despendidos serão divididos entre ambas as partes.

2.6 Capacitação do Pessoal de Bordo

Segundo CHIAVENATO (2010, p. 8), as pessoas são o principal patrimônio das empresas e o principal diferencial competitivo das organizações de sucesso.

O treinamento e desenvolvimento (T&D) constituem processos de aprendizagem, isto é, de alteração comportamental das pessoas por meio de quatro tipos de mudanças: transmissão de informações, desenvolvimento de habilidades, de atitudes e de conceitos (CHIAVENATO, 2010, p.389).

O aprendizado contínuo é fundamental em um mundo de transformações rápidas. As pessoas são a alma e o caráter de uma organização e é preciso que elas sejam capazes de se autodirigir e de se autocontrolar na maioria das situações (KARDEC; NASCIF, 2010, p.172).

“O conhecer técnico é entregue através de cursos específicos na empresa ou fora dela e treinamento no trabalho. Isto é conhecido como Qualificação” (KARDEC; NASCIF, 2010, p.172).

Atualmente muitos fabricantes e empresas prestadoras de serviço de manutenção de elementos e máquinas do setor naval disponibilizam treinamento aos seus clientes, como é o caso da empresa SKF que possui um centro de instrução denominado *SKF Reliability Maintenance Institute*® (*RMI*) com o objetivo de auxiliar seus clientes a eliminar os problemas com os equipamentos e obter a

máxima confiabilidade e maior produtividade e outros como a empresa NSK disponibilizam treinamento denominados *in Company* oferecidos na própria empresa (cliente), sem deslocamento do funcionário, possibilitando que o funcionário aprenda no seu próprio local de trabalho como devem ser realizados o manuseio e a manutenção dos elementos ou equipamentos.

2.7. Análise de Vibração

Basicamente a vibração pode ser conceituada como qualquer movimento que se repete de forma regular ou irregular, depois de um intervalo de tempo. O movimento vibratório pode ser definido pelas seguintes variáveis:

- Deslocamento (μm);
- Velocidade (m/s ou mm/s);
- Aceleração (m/s^2 ou mm/s^2);
- Amplitude (μm);
- Freqüência (RPM, CPM ou Hz).

“Vibração está presente em qualquer sistema à medida que este responde a uma excitação” (KARDEC; NASCIF, 2010, p.244).

Partindo do princípio que a vibração de um corpo irá produzir deslocamentos oscilatórios de partículas em um meio circundante compressível a este corpo, é possível perceber o som que se caracteriza pelas flutuações de pressão neste meio que se propagam em faixas de freqüência.

Freqüência de um corpo em vibração pode ser compreendida como a quantidade de vezes, por unidade de tempo, que o ciclo do fenômeno se repete. A freqüência natural é considerada a freqüência em que o corpo vibra com seu próprio conjunto de freqüências particulares, que juntas formam seu determinado som. Ao modificar a massa ou a rigidez do corpo alterará sua freqüência natural

A ressonância é um fenômeno que ocorre sempre que a freqüência natural de um elemento ou equipamento coincide ou se aproxima extremamente da

freqüência de uma força externa que está atuando sobre este elemento ou equipamento. A forma de onda no tempo durante a ressonância exibirá uma amplitude bem maior do que a forma de onda em condições normais. Este fenômeno pode gerar danos graves afetando a segurança do equipamento, da instalação ou sistema que ele pertence, e seus operadores.

Porém a ressonância é um problema facilmente identificável, porque os níveis de vibração diminuem com a variação de velocidade. Assim quando aumentarmos ou diminuirmos a velocidade, ou até, gerando um afastamento da freqüência natural do elemento ou equipamento excitado, haverá uma redução no nível de vibração visivelmente nos mapas espectrais. A alteração do posicionamento ou até o distanciamento da fonte excitadora e do elemento ou equipamento excitado também afastará a freqüência natural do excitado da freqüência do excitador.

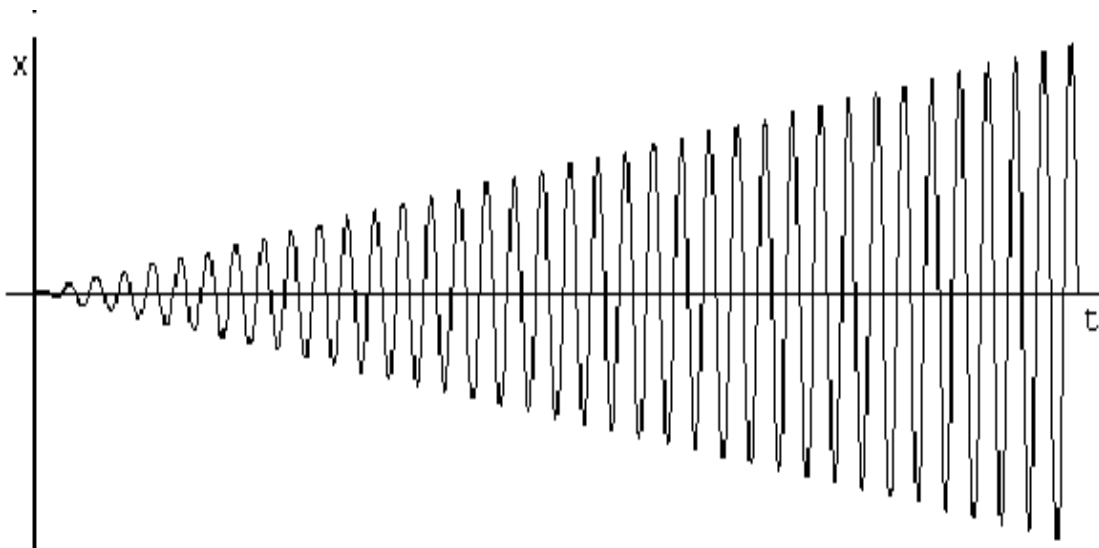


Figura 13: Gráfico de ressonância com a amplitude em relação ao tempo

Fonte: BATISTA, 2003.

Segundo SAMPAIO (2009, p. 67), as freqüências de ressonância de uma máquina são as freqüências às quais esta máquina vibra com a máxima amplitude quando exposta a uma força de excitação. E que uma mesma máquina pode ter diversas freqüências de ressonância as quais variam de acordo com a direção.

Segundo KARDEC e NASCIF (2010, p. 244), a análise de vibração é um dos principais métodos de técnica preditiva utilizados em diversos tipos de indústrias. O acompanhamento da vibração encontra-se predominante em equipamentos rotativos, para os quais tanto a metodologia quanto a instrumentação encontra-se em grande avanço tecnológico.

O registro das vibrações que são captadas nas estruturas é efetuado através de sensores colocados em pontos estratégicos no equipamento. Os sensores irão transformar a energia mecânica da vibração em sinais elétricos que serão encaminhados a aparelhos registradores ou aparelhos analisadores de vibrações que permitirão que seja realizada a interpretação dos espectros ou freqüências geradas pelo profissional durante análise de vibração.

2.7.1 Sensores

Os sensores podem ser divididos em três grupos básicos:

- Sensores eletrodinâmicos: são sensores que detectam vibrações absolutas de freqüências acima de 3 Hertz;

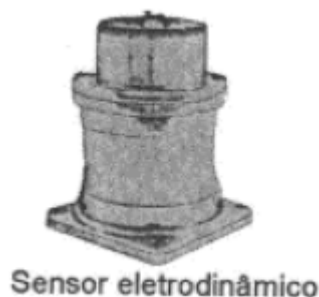


Figura 14: Sensor eletrodinâmico

Fonte: E.T.E.R. – Mecânica 2004

- Sensores piezoelétricos: são sensores que detectam vibrações absolutas de freqüências acima de 1 Hertz;



Figura 15: Acelerômetro piezoelétrico

Fonte: Alibaba s.d

- Sensores indutivos: são sensores que detectam vibrações relativas desde 0 Hertz;



Figura 16: Sensores indutivos de proximidade

Fonte: Priel Metal Detecto s.d

2.7.2 Registradores de Vibração

São os equipamentos que coletam, medem e registram a amplitude das vibrações, que permite avaliar a magnitude, e a frequência das vibrações, que possibilita identificar a fonte das vibrações.



Figura 17: Medidor de Vibração

Fonte: HUATEC, s.d.



Figura 18: Caneta de Medição de vibração

Fonte: ROLIMEC, s.d.

2.7.3 Analisadores de Vibração

São os equipamentos que permitem realizar a análise das vibrações permitindo selecionar determinada frequência para medição, facilitando a descoberta da origem da vibração, e através da utilização de filtros, é possível limitar um sinal de vibração, viabilizando que até mesmo uma única frequência seja analisada. Alguns fabricantes possuem analisadores que podem receber sinal do transdutor e painel de monitoração.

Analisador de Vibrações
Modelo: VIB - 42

Figura 19: Analisador de Vibrações

Fonte: VIBTRON®, s.d

2.7.4 Coletores e Analisadores de Vibrações

São equipamentos que permitem a coleta de dados e engloba funções de medição e análise de vibrações permitindo o diagnóstico de alguma anormalidade detectada. Atualmente a grande maioria destes aparelhos permite que os dados coletados sejam descarregados em um software de manutenção em um computador para a realização de acompanhamento da evolução de níveis de vibração.



Figura 20: Coletor e analisador de vibração

Fonte: AREVA, s.d.

2.7.5 Profissional Realizador da Análise de Vibrações

Para a realização da análise de vibrações é altamente recomendável que a pessoa que esteja executando a coleta e a análise nos equipamentos seja um profissional capacitado e treinado neste tipo de técnica de manutenção preditiva. O nível de capacitação do profissional está diretamente relacionado à confiabilidade do resultado da análise. As evoluções tecnológicas tendem fazer que os equipamentos sejam mais sensíveis e necessitem de maior cuidado no momento de sua utilização.



Figura 21: Profissional realizando análise de vibração

Fonte: MOTORSHIP, s.d

2.7.6 Medição de Vibração

KARDEC e NASCIF (2010, p. 250) afirmam que cada equipamento tem suas particularidades e que estas devem ser consideradas no momento da realização da medição para que os resultados alcançados sejam considerados confiáveis.

KARDEC e NASCIF (2010, p. 250) acreditam que há três aspectos que devem ser levados em consideração para a realização da medição de vibração:

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

3 Estudo de Caso

3.1 Introdução do Caso

Este estudo de caso foi realizado pela empresa SKF em uma usina siderúrgica mostrando como a monitoração de vibração ajudou a determinar o estado de deterioração dos rolamentos. Esta análise foi realizada em rolamentos de baixa velocidade da caldeira. Apesar de não ser realizado em uma instalação marítima, foco deste trabalho, as similaridades entre instalações marítimas e as instalações industriais permitem verificar como é essencial a análise de vibração em equipamentos rotativos críticos de altos custos, baixa disponibilidade de peças ou substitutos e com alta interferência na produção.

3.2 Histórico

Um grande fabricante de aço solicitou a empresa SKF uma avaliação independente de um rolamento da caldeira que se encontrava sob suspeita. Um fornecedor externo tinha realizada a retirada de dados de vibração e suspeitado que

o rolamento recém instalado estivesse em condição de degradação. O proprietário da siderúrgica estava preocupado com a possibilidade de que em serviço o rolamento pudesse causar um dano adicional, inatividade extensa e perda de produção. Esta preocupação está baseada na necessidade de que são necessárias em torno de 32 a 36 horas para a substituição do rolamento com custo de \$780,000 americanos cada, e tempo de inatividade em consequência com custo na faixa de \$125,000. O rolamento, o qual equivale a um SKF 240/750, suporta uma caldeira de aço fundido, que pesa cerca de 2,500,000 de libras. Durante a operação, o rolamento não gira totalmente, o ângulo é apenas o suficiente para espalhar o aço derretido. Para efeito de análise, a caldeira era permitida rodar a um total de 360 graus a uma velocidade de 0,5 rotações por minuto.

3.3 Teste

Os dados adicionais da análise mostraram que na graxa continha ferro e cobre. As partículas maiores de ferro foram de 400 microns em tamanho. A gaiola e o rolamento eram as fontes suspeitas destas partículas. Utilizando um analisador de dados de monitoramento de condições e incorporando o processamento de sinais envolvidos com aceleração, dados de vibração foram coletados em ambos os domínios de frequência e do tempo. Foi possível obter dados de uma unidade semelhante de caldeira, também de giro de 360 graus. Os dados desta segunda caldeira foram utilizados para a comparação.

3.4 Resultados

A avaliação dos dados confirmou o dano e identificou que as amplitudes suspeitas de pico total do rolamento foram nove vezes a amplitude do segundo rolamento. Embora as frequências individuais do rolamento não fossem encontradas no espectro de frequência, os picos de energia associada a um defeito na pista externa foram notados no domínio do tempo. Isso demonstra a força da análise de domínio para aplicações em rolamentos de baixa velocidade.

Além disso, os dados coletados por mais de uma revolução mostrou um distinto impacto uma vez por revolução no rolamento que estava sob suspeita, que não estava presente no segundo rolamento. Observadas amplitudes muito baixas, o que é características de rolamento de velocidade extremamente baixa.

As figuras a seguir são referentes aos resultados dos testes da SKF:

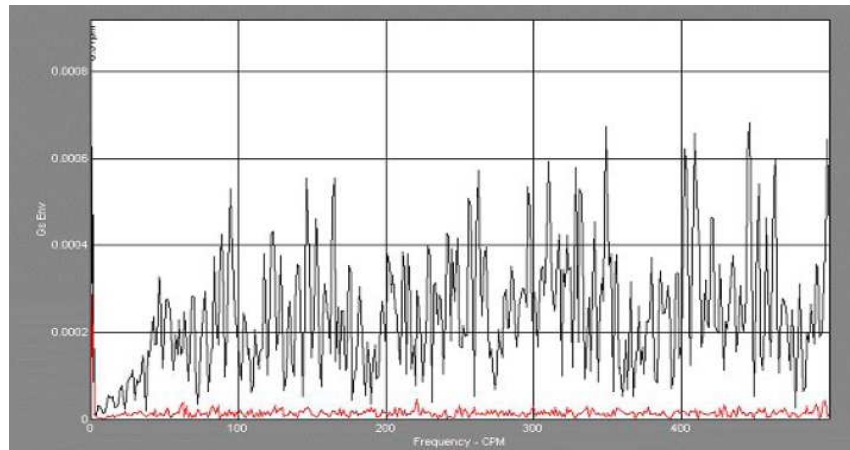


Figura 22: Frequência de sobreposição dos rolamentos bom e suspeito (o menor nível indicado em vermelho e/ou nível inferior de frequência). Em um piso de ruídos elevados, como indicado pelo rolamento suspeito, é uma característica das leituras de aceleração de dano, extremamente em mancais de baixa velocidade.

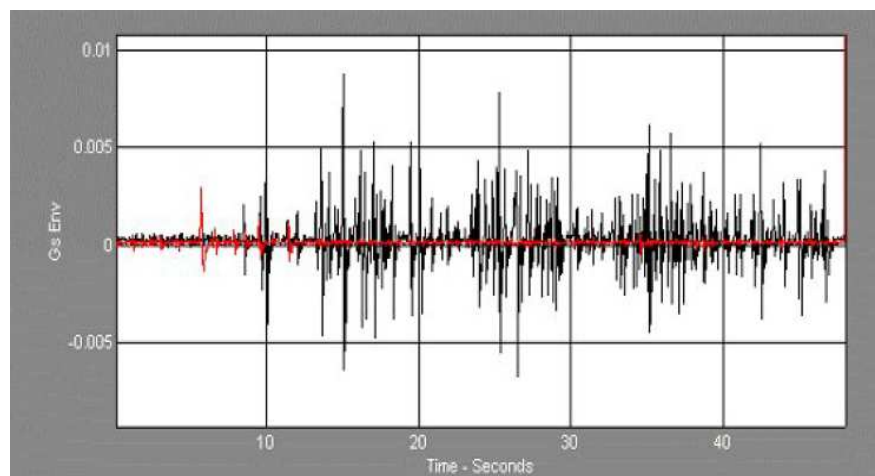


Figura 23: Sobreposição de espectros no domínio do tempo. O domínio da sobreposição do rolamento bom (baixo nível de vibração indicada em vermelho) e rolamento suspeito (alto nível de vibração indicado em preto) no sinal de domínio do tempo indicam possíveis picos podendo estar relacionados a componentes do rolamento em dano.

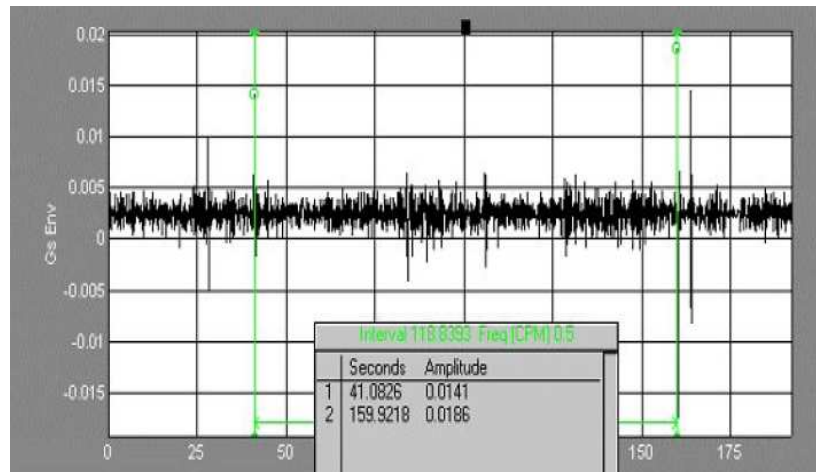


Figura 24: Análise do sinal no domínio do tempo. O rolamento suspeito causou picos no domínio de tempo, uma vez por revolução, que correspondem a 0,5 RPM. Frequência = $1/\text{tempo}$. Espaçamento de tempo lido a partir dos marcadores é 118, 8 segundos (2 minutos, sendo o tempo para a revolução).

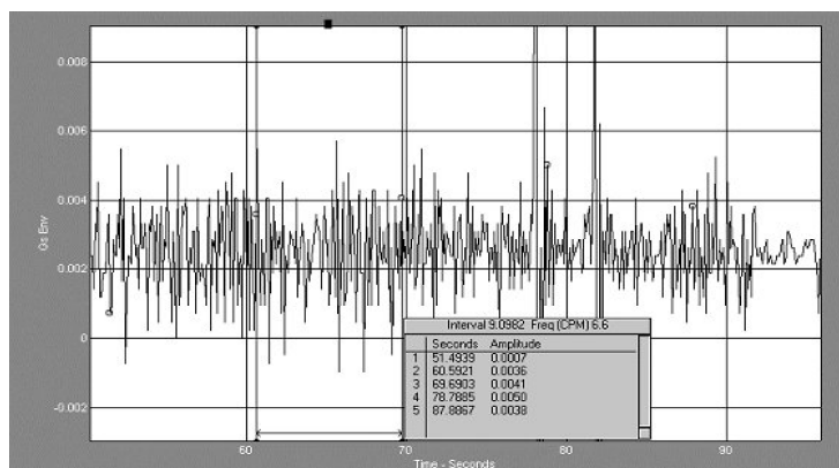


Figura 25: Domínio do tempo com a frequência de falha na pista externa, 6,6 CPM, observada pela análise de sinal no domínio do tempo. O defeito da pista externa está causando picos no domínio do tempo, uma vez por revolução, que corresponde a 6,6 CPM. Frequência = $1/\text{tempo}$. Tempo de espaçamento lido a partir dos marcadores são 9,0962 segundos.

3.5 Conclusão

Com base nos dados adquiridos através da análise, o fabricante de aço foi informado que estava tendo prejuízo. Os dados do contratante externo foram de

comum acordo, e também mostrou uma ascensão e queda das amplitudes. O fabricante concordou que a máquina deve ser monitorada diariamente até que o rolamento possa ser substituído. Em sua condição atual, e sem quaisquer dados comparáveis de histórico, foi difícil determinar um período de tempo aproximado de falha para o rolamento.

4 Método e Procedimentos de Pesquisa

4.1 Delineamento da Pesquisa

O método utilizado foi o dedutivo partindo do conhecimento da frequência das falhas em rolamentos e suas conseqüências na segurança da instalação e operadores além de altos custos operacionais chegando até as vantagens conhecidas pela aplicação das técnicas preditivas na manutenção, particularmente a análise de vibração e monitoramento contínua tanto nas instalações industriais como navais. Também foi utilizado o método monográfico através do estudo de caso elaborado pela empresa SKF reafirmando a importância da análise de vibração em equipamentos críticos.

O método dedutivo, de acordo com Lopes (2006, p.173), transforma enunciados universais em particulares sendo o ponto de partida a premissa antecedente, que tem um valor universal, e o ponto de chegada é a premissa particular.

Segundo Lopes (2006, p.174), o método monográfico ou de estudo de caso, permite mediante um caso isolado ou de pequenos grupos, entender determinados fatos, partindo do princípio de que qualquer caso que se estude em profundidade pode ser considerado representativo de muitos outros ou até de todos os casos semelhantes.

O tipo de pesquisa realizada foi à exploratória proporcionando uma ampla visão sobre o problema da falha de rolamentos considerando a predominância de equipamentos rotativos existentes nas instalações e o efeito da análise de vibrações em minimizar danos em equipamentos críticos.

Segundo Oliveira (2002, p. 135), a pesquisa exploratória possibilita localizar pessoas informadas, semi-informadas ou desinformadas a respeito do assunto que esta sendo objeto de pesquisa.

4.2 Técnicas de Pesquisa

A técnica de pesquisa utilizada foi bibliográfica abrangendo o material publicado sobre o tema aqui estudado, desde sites de internet, livros, revistas e outros meios.

Outra técnica utilizada foi a de estudo de caso, onde através do estudo de caso realizado pela empresa SKF e seus dados foi possível verificar a influencia da analise de vibração com acompanhamento contínuo aos custos operacionais e inatividade de produção.

4.3 Análise de Dados

A analise de dados foi realizada de forma qualitativa, fornecendo uma visão mais detalhada e profunda da complexidade do problema neste trabalho abordado.

Segundo Reis (2008, p.57), a pesquisa qualitativa tem como objetivo interpretar e fornecer significados aos fenômenos que estão sendo analisados, onde os resultados não são traduzidos em números, unidades de medidas ou categorias homogêneas de um problema [...].

5 CONCLUSÃO

Conforme foi observado neste trabalho, as falhas nos rolamentos podem acarretar além de altos custos operacionais e conseqüentemente diminuição de lucro da empresa, provocar a indisponibilidade do equipamento e muitas vezes afetar a segurança do operador ou da instalação. Como por exemplo, o dano de um rolamento em uma bomba de incêndio ou uma bomba de lastro em um momento de extrema necessidade.

A análise de vibração apresentou-se aliada com o monitoramento contínuo uma alternativa extremamente eficaz para evitar situações emergenciais de manutenção. Contudo como toda técnica de manutenção preditiva, depende de certa disponibilidade de recursos iniciais que comparada ao custo inicial da manutenção corretiva é alto, mas em longo prazo demonstra-se uma ótima técnica para redução de custos operacionais.

A maneira a qual são realizadas as terceirizações no Brasil, por serviços e não por resultados, nos leva a considerar que a capacitação e o treinamento de mão de obra como uma melhor opção que a terceirização de serviços.

Vale salientar a fim de complementar esta conclusão que dados nada são se não forem processados e transformados em informação. Além disso, a informação está intimamente ligada com a comunicação, pois sem esta a informação pode não atingir todo o potencial pretendido. Ou seja, em mãos das informações oriundas das análises de vibração e dos parâmetros de monitoramento, o Oficial Superior de Máquinas deverá manter uma comunicação eficiente com a gerência de manutenção, mitigando ruídos e barreiras, informando quais são as opções, resultados e emergências para que as melhores práticas de manutenção sejam sempre aplicadas proporcionando diminuição de custos para área de manutenção, diminuição de demanda de serviços de mão de obra própria ou terceirizada, aumento da disponibilidade dos equipamentos e aumento da segurança do operador e da instalação.

6 REFERÊNCIAS

BUDYNAS, Richard; NISBETT, J. KEITH. **Elementos de Máquinas de Shigley**: projeto de engenharia mecânica. 8.ed. Porto Alegre:AMGH, 2011.

CHIAVENATO, Idalberto. **Gestão de Pessoas**: o novo papel dos recursos humanos nas organizações.3.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

JONES, Bob. **Vibration Monitoring Case Study**: evaluation and testing of kettle bearings in a steel mill application.San Diego: SKF @ptitude Exchange, 1998.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção**: função estratégica. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2010.

LOPES, Jorge. **O Fazer do Trabalho Científico em Ciências Sociais Aplicadas**. Recife: Universitária da UFPE, 2006.

NSK. **In Company**. Disponível em: < http://www.nsk.com.br/2_3_inCompany.asp>. Acesso em: 20 maio 2011.

NSK. **NSK Brasil Inaugura Centro Tecnológico**. Disponível em: <http://www.nsk.com.br/1_28_noticias.asp>. Acesso em: 23 maio 2011.

NSK. **Treinamento**. Disponível em: < http://www.nsk.com.br/2_treinamento.asp>. Acesso em: 20 maio 2011.

OLIVEIRA, Silvio. **Tratado de Metodologia Científica**: projetos de pesquisa, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses. 2.e.São Paulo: Pioneira, 2002.

REIS, Linda. **Produção de Monografia**: da teoria a pratica. 2.e. Brasília: SENAC – DF, 2008.

SAMPAIO, Chedas. **Vibração Mecânica na Identificação de Dano em Máquinas**. [S.l.]: [s.n.], 2009

SKF. **Ciclo de Vida dos Rolamentos da SKF.** Disponível em: <<http://www.skf.com/portal/skf/home/products?contentId=877777&lang=pt>>. Acesso em: 23 maio 2011.

SKF. **Levantamento dos custos do Ciclo de Vida.** Disponível em: <<http://www.skf.com/portal/skf/home/aptitudexchange?contentId=0.296683.296797.296798.338923.341463>>. Acesso em: 23 maio 2011.

SKF. **Reliability Maintenance Institute.** Disponível em: <<http://www.skf.com/portal/skf/home/services?contentId=293307&lang=pt>>. Acesso em: 22 maio 2011.

SKF. **Tabela de Possíveis Falhas de Rolamentos.** Disponível em: <<http://www.skf.com/files/514291.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2011.

SKF. **Treinamento em Monitoramento de Condições.** Disponível em: <<http://www.skf.com/portal/skf/home/products?contentId=292743&lang=pt>>. Acesso em: 23 maio 2011.

THE MOTOR SHIP. **Condition Monitoring is Vital for Safety.** Disponível em: <<http://www.motorship.com/features101/engines-and-propulsion/condition-monitoring-is-vital-for-safety>>. Acesso em: 22 maio 2011.