

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GABRIEL REZENDE MARQUES

**Manutenção Centrada em Confiabilidade: Estudo de Caso da Eficácia dos
Equipamentos Industriais**

Uberlândia

2017

Gabriel Rezende Marques

Manutenção Centrada em Confiabilidade: Estudo de Caso da Eficácia dos Equipamentos Industriais

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de habilitação: Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Wisley Falco Sales

Uberlândia

2017

Gabriel Rezende Marques

Manutenção Centrada em Confiabilidade: Estudo de Caso da Eficácia dos Equipamentos Industriais

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Arthur Alves Fiocchi (UFU-FEMEC)

MSc Leonardo Rosa Ribeiro da Silva (UFU-FEMEC)

Prof. Dr. Wisley Falco Sales (UFU-FEMEC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por todas as bênçãos recebidas e por me conceder o dom da vida para que eu possa, sobre sua proteção, buscar realizar meus ideais.

Também agradeço a toda minha família que tanto empenharam em minha formação acadêmica me dando apoio e condições de continuar esta jornada de lutas e aprendizagem.

Agradeço também a todos os meus amigos pela força e apoio que dedicaram para que eu pudesse seguir em frente neste caminho de conhecimentos.

Muito grato também sou aos meus professores e especialmente ao meu orientador Dr. Wisley Falco Sales, que com tanto conhecimento e empenho, muito tem me ensinado no decorrer deste trabalho, da mesma forma que com grande atenção dedicou seus ensinamentos aos alunos deste curso.

Agradeço a todos aqueles que contribuíram para que este curso fosse realizado e que chegasse ao fim mais uma etapa desta busca pelo saber e conhecimento.

Uma chave importante
para o SUCESSO é a
AUTO-CONFIANÇA.
Uma chave importante para a
AUTO-CONFIANÇA é a
PREPARAÇÃO.

Arthur Ashe

RESUMO

A maioria das máquinas industriais opera a partir de motores, que estão susceptíveis a defeitos e falhas durante a utilização. Esses problemas podem ocasionar parada da máquina e perda de eficiência no processo produtivo. Portanto, é muito importante que o serviço de manutenção conheça os equipamentos de sua responsabilidade e saiba as condições de eficácia de cada um, para que possa realizar de forma eficiente a intervenção necessária e em momento oportuno para que a produção não seja interrompida de forma brusca e inadvertidamente. O conceito de manutenção preditiva baseada na confiabilidade vem ganhando destaque nos dias atuais, consistindo na manutenção programada baseada no diagnóstico das condições do equipamento, evitando paradas inesperadas. Na realização do trabalho foi utilizada uma metodologia de pesquisa qualitativa com estudo bibliográfico enriquecido com estudo de caso empregando técnicas da manutenção centrada em confiabilidade. Para reduzir ou eliminar os problemas gerados no funcionamento de equipamentos, foi necessário utilizar técnicas de manutenção para prever falhas antes que as mesmas aconteçam. Sendo, portanto avaliado o comportamento destes equipamentos durante seu ciclo de vida, por meio de uma técnica de manutenção preditiva associada ao conhecimento da máquina e a confiabilidade do serviço de manutenção. Foi elaborada uma tabela para classificar a criticidade dos equipamentos e favorecer a priorização da manutenção em componentes críticos para a empresa. Os equipamentos considerados críticos foram submetidos à análise de vibração para prever falhas e evitar a parada da máquina. Por meio deste trabalho realizado, foi possível demonstrar que a manutenção centrada na confiabilidade objetiva a eficácia dos equipamentos e o bom funcionamento de toda organização. Além disso, pôde-se concluir que a análise de vibração é uma ferramenta eficiente e importante para a manutenção preditiva.

Palavras Chave: Manutenção; Confiabilidade; Criticidade.

ABSTRACT

Most industrial machines operate from motors, which are susceptible to defects and failures during use. These problems can cause machine shutdown and loss of efficiency in the production process. Therefore, it is very important that the maintenance service knows the equipment of their responsibility and know the conditions of effectiveness of each one, So that it can effectively carry out the necessary and timely intervention so that production is not abruptly and inadvertently interrupted. The concept of predictive maintenance based on reliability is gaining prominence in the present day, consisting of the scheduled maintenance based on the diagnosis of the conditions of the equipment, avoiding unexpected stops. In the work carried out, a qualitative research methodology was used, with a bibliographical study enriched with a case study employing maintenance techniques centered on reliability. To reduce or eliminate problems generated in the operation of equipment, it was necessary to use maintenance techniques to predict failures before they occur. Therefore, the behavior of these equipment during their life cycle is evaluated, through a predictive maintenance technique associated to the knowledge of the machine and the reliability of the maintenance service. A table was drawn up to classify the criticality of the equipment and favor the prioritization of maintenance in critical components for the company. The equipment considered critical was subjected to vibration analysis to predict failures and to prevent machine shutdown. Through this work, it was possible to demonstrate that the maintenance centered on reliability aims at the efficiency of the equipment and the proper functioning of any organization. In addition, it has been concluded that vibration analysis is an efficient and important tool for predictive maintenance.

Keywords: Maintenance; Reliability; Criticality.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	08
1.1 OBJETIVOS.....	09
1.1.1 Objetivo geral.....	09
1.1.2 Objetivos específicos.....	09
1.2 JUSTIFICATIVA.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 MANUTENÇÃO.....	13
2.1.1 Necessidades da manutenção.....	15
2.1.2 Qualidades da manutenção.....	15
2.1.3 Análise de problemas.....	16
2.2 TIPOS DE MANUTENÇÕES.....	17
2.2.1 Manutenção corretiva.....	17
2.2.2 Manutenção preventiva.....	18
2.2.3 Manutenção preditiva.....	19
2.2.4 Manutenção produtiva total (MPT).....	20
2.3 VIBRAÇÃO NA MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	21
2.4 MECANISMOS DE FALHAS EM ROLAMENTOS.....	23
2.5 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE.....	26
2.5.1 Estudo do MTBF e do MTTR.....	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
4 ESTUDO DE CASO.....	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
6 CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

As máquinas industriais possuem aplicações amplamente difundidas na atualidade. Esses recursos são utilizados para realizar os mais diversos tipos de trabalho, uma vez que as empresas são compostas por inúmeros equipamentos que possuem um grande número de componentes e elementos com superfícies em movimento constante ou intermitente em velocidades com diversos níveis. Frequentemente apresentam desgastes que mesmo sem serem vistos acabam por danificar o equipamento, comprometendo seu funcionamento e necessitando de uma manutenção eficaz e com confiabilidade.

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM – Reliability Centred Maintenance) é uma forma eficaz de manter equipamentos em perfeito estado de funcionamento com aplicação de um método estruturado para estabelecer a melhor estratégia de manutenção. Sendo realizado inicialmente com a identificação da funcionalidade ou desempenho requerido pelo equipamento no seu contexto operacional, analisando seus modos de falha e as causas prováveis deste acontecimento detalhando os efeitos e consequências deste possível episódio. Com esta análise detalhada é possível avaliar a criticidade das falhas, onde podem ser identificadas e suas consequências significativas que podem afetar a segurança, a disponibilidade ou custo.

O RCM permite selecionar as tarefas adequadas de manutenção direcionadas para os modos de falha identificados com estratégias, que ao invés de aplicadas independentemente, são analisadas em estudo de fatos existentes e ocorrências do equipamento. Sendo assim, baseia-se no conhecimento visando tirar vantagens de seus pontos fortes de modo a otimizar a operacionalidade e eficiência da instalação, equipamentos e seus componentes.

O processo de manutenção centrado na confiabilidade visa estender a vida útil do equipamento por meio da substituição de peças e reparos adequados garantindo a funcionalidade e eficácia do equipamento de forma confiável e produtiva antes da ocorrência de falhas. Para que esse tipo de manutenção ocorra de fato é necessário haver um registro de dados e conhecer cada equipamento e as manutenções realizadas neste, principalmente atentando ao fato da importância de seguir rigorosamente as indicações de manutenção do manual do fabricante.

Para que aconteça o processo de manutenção baseada na condição de forma eficaz é necessário um planejamento seguindo alguns passos para sua realização envolvendo as máquinas e equipamentos que irão ser aderidos a este processo de manutenção, observando a

criticidade, as datas e os intervalos para total eficácia deste processo. É necessário criar estratégias e rotinas diferenciadas para cada equipamento e processo de produção da organização com caracterização das atividades programadas que serão realizadas nas máquinas a partir do diagnóstico das condições de operação do equipamento.

A manutenção centrada na confiabilidade utiliza diversas técnicas para prever quando a peça ou componente de uma máquina estarão próximos do seu limite de vida útil. É um tipo de manutenção onde não há mais interesse em simplesmente reparar um equipamento defeituoso, é necessário avaliar os equipamentos e prever quando as falhas irão acontecer. Com isso aplica-se a manutenção preditiva, onde não se espera a falha acontecer, mas realiza o trabalho de manutenção baseado em dados e ocorrências com estudo analítico destes fatos utilizando o conhecimento do equipamento e seus componentes para se prevenir de uma possível quebra.

As falhas acontecem, mas podem ser evitadas, sendo que esta imperícia afeta além do trabalho funcional, a segurança, o meio ambiente, disponibilidade e confiabilidade da instalação e capacidade do maquinário, provocando instabilidade na produção, elevação dos custos no produto final e perdas excessivas. Buscando evitar estes males que a manutenção baseada na confiabilidade atua por meio do estudo e análise de máquinas e equipamentos para então, por meio do conhecimento de cada componente, se possam prevenir falhas. Para a realização de uma manutenção confiável visando maior eficiência pode-se utilizar como recurso a análise de vibração dos equipamentos e seus componentes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral:

O objetivo geral deste projeto é apresentar o estudo de métodos de manutenção e a importância da manutenção baseada na confiabilidade. Mostrar também a eficácia da utilização da manutenção preditiva com o auxílio da análise de vibração e do conhecimento de cada equipamento e seus componentes para realizar uma intervenção de forma eficaz e confiável.

1.1.2 Objetivos específicos:

1. Entender os conceitos dos principais tipos de manutenções utilizadas para a realização da manutenção baseada na confiabilidade, dando ênfase especial à manutenção preditiva;

2. Compreender a necessidade do conhecimento histórico do componente a ser realizada a manutenção;
3. Buscar conceitos inovadores que possam agregar valor ao plano de manutenção centrada na confiabilidade;
4. Abordar levantamento da atual situação das máquinas que passaram por manutenção na empresa e incluir os dados no novo plano de manutenção;
5. Estabelecer um conjunto de atividades de manutenção de rotina e prevenção nas máquinas que são acompanhadas com serviço da manutenção atual;
6. Mostrar a eficácia da utilização da análise de vibração na detecção de falhas antes da quebra do equipamento;
7. Especificar as condições do plano de manutenção centrado na confiabilidade para os equipamentos da organização e as vantagens e necessidades desta ferramenta de gestão.

1.2 JUSTIFICATIVA

O mercado globalizado tem sido o grande causador da enorme procura pela eficiência na prestação de serviços. No setor industrial, não tem sido diferente, este setor tem se dedicado a potencializar sua competitividade no mercado. Nesta procura pela eficácia e visando garantir-se competitivo, os gestores de manutenção tem adotado o conceito de manutenção preditiva para garantir a confiabilidade em virtude dos resultados positivos que vem sendo alcançados e relatados em estudos e pesquisas de diversos autores e nos resultados apresentados.

Por meio da manutenção preditiva com auxílio do recurso da análise de vibração é possível coletar e interpretar dados obtendo diagnósticos precisos na avaliação da vida útil de máquinas, equipamentos e especialmente de mancais de rolamentos. O presente tema é relevante pela oportunidade de estudar os conceitos inerentes ao setor de manutenção, importante elemento da engenharia e da manutenção industrial, pois a produção de toda uma organização depende do funcionamento adequado dos equipamentos necessários ao seu trabalho. E estes, por sua vez, só desenvolvem suas funções de forma adequada se puderem contar com um serviço de manutenção eficaz e confiável.

O serviço de manutenção de uma empresa deve buscar eficiência de modo a proporcionar todas as condições para a produção e ainda não atrapalhar seu desenvolvimento

ou produção diária, mas acontecer de forma competente, eficaz e preventivamente criando assim uma credibilidade nos serviços de manutenção executados com confiabilidade.

Este trabalho pode oferecer elementos significativos na tomada de decisão para adoção de uma manutenção eficiente, competente e de qualidade. O mesmo pode trazer benefícios para pesquisas desenvolvidas nesta área, assim como da observação de fatores importantes no processo de desenvolvimento das manutenções atuais realizadas em todo âmbito industrial por meio da análise de ocorrências de cada equipamento e de seus componentes.

O presente trabalho se justifica pela necessidade de implantar na indústria um sistema de manutenção organizado e eficiente. Enfatizar e valorizar as manutenções preventivas e preditivas com a intenção de prever ou evitar falhas dos equipamentos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A criação do processo de manutenção se iniciou na década de trinta, surgindo a primeira geração de manutenções. Desde então ocorrendo várias mudanças. “Até a década de trinta, as manutenções não eram sistematizadas e na sua maioria realizadas pelas próprias equipes de produção. Consistiam basicamente em serviços de limpeza, lubrificação e alguns reparos após a quebra” (KARDEC; NASCIF, 2006).

Ainda segundo os autores Kardec e Nascif (2006) a primeira na história da manutenção abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era pouco mecanizada, os equipamentos eram simples e, na sua grande maioria, enormes. A economia e a difícil situação quanto a recursos e mão de obra capacitada, a questão da produtividade não era prioridade. Não sendo momento de exigências com manutenção sistematizada, mas sim serviços de limpeza, lubrificação e reparo após a quebra, tendo em vista que a manutenção era basicamente corretiva, até mesmo pela pouca quantidade de equipamentos existentes.

A segunda Guerra Mundial trouxe consigo várias modificações na área industrial, aumentando muito seu fluxo, fazendo surgir também a segunda etapa da história da manutenção em meados dos anos sessenta. As pressões do período aumentaram a demanda por todo tipo de produto, ao mesmo tempo em que o contingente de mão-de-obra industrial diminuiu sensivelmente. Conforme afirma Lafraia (2001), como consequência, neste período de crescimento industrial houve forte aumento da mecanização, bem como da complexidade das instalações industriais.

Com a nova realidade dos serviços mecânicos as indústrias buscam cobrir a necessidade de um número maior de profissionais que soubessem realmente realizar manutenções nas máquinas que ficavam mais eficazes e também complexas.

Com o aumento da produtividade, a indústria estava bastante dependente do funcionamento capacitado em mecânica de máquinas, a alta necessidade de produção, as falhas nas máquinas e equipamentos passaram a ser mais prejudiciais, devendo ser evitadas a todo custo. Isto levou ao acontecimento da manutenção preventiva que eram realizadas em intervalos fixos.

De acordo com Siqueira (2009), o alto custo da manutenção provoca a procura pela manutenção preventiva que acaba sendo mais barata e evita a parada inesperada da máquina.

Com isso, evita as baixas na produção, dando início a um sistema de planejamento e controle de manutenção que, atualmente, é uma parte importante da manutenção moderna.

A terceira etapa denominada manutenção da terceira geração, busca novas maneiras de maximizar a vida útil dos equipamentos produtivos, preocupando com alta disponibilidade e confiabilidade, sem proporcionar nenhum dano ao ambiente. Além disso, deve-se ter maior segurança, maior qualidade do produto e custos sob controle destes equipamentos e de sua produção. Ficou evidenciada a necessidade de uma manutenção ainda mais eficaz, pois o crescimento da automação e da mecanização exige agora mão de obra especializada e distinta dedicando a garantia de bom funcionamento dos equipamentos ou máquinas industriais, pois mais do que nunca a indústria precisa produzir para repor perdas de uma época de conflitos.

De acordo com Lafraia (2001), esta etapa de crescimento da manutenção afirma o conceito de uma manutenção preditiva, fazendo com que apareçam projetos com maior ênfase em manter os equipamentos em boas condições de funcionamento. Espera-se que a manutenção seja constante de forma preventiva e preditiva, tornando assim os equipamentos com mais disponibilidade e confiabilidade deixando mais evidente seus benefícios.

2.1 MANUTENÇÃO

Atualmente a atividade de manutenção tem sofrido muitas alterações, tendo em vista que a globalização trouxe oportunidades para muitas indústrias ocasionando o aumento da competitividade entre as empresas, exigindo assim maior eficácia nos serviços prestados e mais qualidade nos produtos oferecidos. Conforme Viana (2002), com a corrida pelo processo de competitividade, surge o aceleração na produção e conseqüentemente aumenta os danos nos equipamentos que necessitam de manutenções mais periódicas. Estes processos de manutenções são ocasionados pela diversidade de equipamentos que visam melhorar o trabalho na indústria. A complexidade dos equipamentos, novas técnicas de trabalho, dentre outros, levam os colaboradores a mudanças rápidas buscando novas habilidades e atitudes que enalteça a eficácia de seu trabalho.

A manutenção vem traçando novos caminhos e se tornando cada vez mais importante para as empresas. Nos últimos anos a manutenção apresentou mudanças profundas no mercado. Os mercados atuais estão utilizando a gestão de manutenção como estratégia para cumprir seus objetivos voltados para globalização, redução de custos e melhoria da qualidade de serviços.

De acordo com Xenos (2004), quando se trata de manutenção, muitas vezes não é entendido o termo inteiramente de maneira adequada, pois a atividade atual adquiriu grande importância no setor industrial. No cenário atual, a manutenção passou a ser uma atividade estratégica que proporciona confiabilidade no funcionamento dos equipamentos do processo industrial de determinadas empresas. Para tal feito, algumas implementações significativas tiveram que ser incorporadas ao processo de manutenção.

Ainda segundo Xenos (2004), a manutenção deixou de ser apenas corretiva e passou a utilizar procedimentos que são capazes de evitar que falhas catastróficas possam acontecer. Nesse sentido, a mentalidade voltada para a manutenção preventiva, utilizando técnicas de manutenção preditiva, vem ganhando espaço nos sistemas modernos de manutenção no Brasil. Nos dias de hoje é notório o aumento do interesse de empresas e profissionais ligados à manutenção pela utilização de técnicas preditivas capazes de prever falhas, tais como termografia, análise de vibração, ultrassom, dentre outras que existem. As empresas buscam desenvolver estratégias de manutenção que visam reduzir os tempos de intervenção nos equipamentos, e conseqüentemente, os tempos improdutivos dos mesmos.

De acordo com Melo (2008), a manutenção caracteriza como um apoio fundamental à atividade de operação, pois ela potencializa o estado de conservação das máquinas e otimiza a produção. Isso faz com que novos investimentos sejam incorporados ao setor, proporcionando a implementação de novas tecnologias e garantindo a formação de profissionais cada vez mais qualificados responsáveis pelas áreas em questão.

Corroborando com a ideia Siqueira (2009), afirma que a manutenção é uma atividade estratégica para gerenciar os custos da indústria. Por meio da sua implementação é possível prever falhas, tornando-as menores possíveis. Porém, para isso, é necessário avaliar minuciosamente qual tipo de manutenção atende de maneira adequada cada setor de produção da empresa.

Manutenção é o conjunto de técnicas que visam manter: equipamentos, instalações ou edificações, com maior tempo de utilização e melhor rendimento, funcionando com segurança e diminuindo custos. Manutenção significa todo conjunto de ações necessárias para conservação de um equipamento, pelo tempo possível de seu funcionamento, mesmo considerando seus desgastes naturais e previstos, possibilitando que atinjam o máximo de sua vida útil funcionando corretamente. Cabem ao serviço de manutenção, todas as ações para manter um equipamento funcionando, ou ainda tirá-lo de seu estado de falha ou inoperante para o estado disponível para operação (LAFRAIA, 2001).

Conforme Patton Jr. (1983), existem muitos tipos de abordagem de manutenção, que se definem pelo modo que se aplicam no sistema produtivo, quando no momento de ocorrência ou previsão da falha. Podendo ainda ser definido com os diferentes procedimentos praticados diante de um problema suposto ou enfrentado que ocasiona o mau funcionamento ou parada do equipamento que ocasiona em perdas, seja pela ocorrência da manutenção ou parada de funcionamento.

2.1.1 Necessidade da Manutenção

O desgaste das máquinas é inevitável, pois suas peças e componentes se deterioram, dando origem às falhas que devido ao mau funcionamento destas peças estragadas ou corrompidas ocasionam a parada da máquina causando assim prejuízo a toda indústria. Devido a esta ocorrência foi aumentando o surgimento de soluções para prevenção destes males, sendo assim instalados processos que buscassem evitar tais ocorrências, fazendo com que acontecessem vistorias periódicas.

De acordo com Womack (1992), estes acontecimentos deram origem aos processos de manutenções, que buscam cada vez mais evitar ocorrências de quebras e paradas de equipamentos ou máquinas, fazendo surgir os diversos tipos de manutenções.

2.1.2 Qualidades da manutenção

Ao projetar um equipamento é de extrema importância elevar dados para pós-funcionamento, realizando levantamento das necessidades, levando em conta fabricação, instalação, funcionalidade, operação, manutenção e durabilidade, que podem atuar na sua produtividade e eficácia. Como desempenho, podemos citar as questões ligadas a confiabilidade, produtividade, qualidade do produto final, segurança e preservação ambiental e as econômicas se referem ao nível de custo-eficiência obtido (WOMACK, 1992).

Então na aquisição de uma máquina ou equipamento, alguns fatores devem ser levados em consideração como a sua adequação ao projeto, analisando se seu dimensionamento é adequado ao trabalho que se presta. Deve-se verificar se sua capacidade é a desejada, sendo verificada através de dados técnicos com análise do tempo médio entre falhas (MTBF), se a qualidade é como a descrita e esperada, a existência da possibilidade de manutenção e seu

custo-eficiência. Todos estes itens devem ser observados na aquisição do equipamento, de forma a completar os fatores da eficácia, confiabilidade e qualidade do produto adquirido.

É importante observar que o equipamento adquirido deve ser padronizado às necessidades de sua aplicação, evitando o mau uso e conseqüentemente a manutenção por danos causados por esta inobservância. O equipamento deve acompanhar o desenvolvimento industrial ao seu destino, apresentar os requisitos de modernidade e o aumento de confiabilidade, e da possibilidade de sua manutenção. Segundo Viana (2002), os tipos de manutenção são as formas de encaminhar as intervenções nos instrumentos de produção.

Assim sendo ao produzir um equipamento, seu fabricante disponibiliza condições de mantê-lo funcionando de acordo com sua utilização, valorizando o produto e influenciando em compras futuras de peças de reposição para a manutenção. Esse tipo de manutenção possibilita o planejamento dos recursos necessários para a intervenção de manutenção, uma vez que a falha é esperada até mesmo pelo desgaste das peças (MUASSAB, 2002).

Durante a instalação do equipamento alguns dados também precisam ser observados, pois podem influenciar no seu funcionamento, durabilidade e eficácia, às vezes até inviabilizando a manutenção do mesmo. Caso isso aconteça, perde-se a ferramenta que busca garantir a função e eficácia do equipamento no decorrer de sua produção, buscando possíveis falhas, defeitos ou danos a serem corrigidos.

2.1.3 Análises de problemas

A vistoria de um equipamento para detectar alguma falha deve partir de dois critérios: verificar o que ocasionou a falha utilizando ferramentas como: relatório de análise de falha, *brainstorming*, *5-Why*, diagrama de Ishikawa; instruir o usuário do modo correto de operar este equipamento evitando danos ou falhas (lições ponto-a-ponto, instruções de trabalho).

Qualquer equipamento que realiza uma determinada função estará sujeito a uma variedade de esforços. Estes esforços gerarão fadiga e isto causará sua deterioração reduzindo sua resistência à fadiga, até um ponto no qual o equipamento pode não ter mais o desempenho desejado, apresentando falhas (MOUBRAY, 1997).

Corroborando com a ideia, Xenos (2004) ressalta a necessidade de investigar exaustivamente as causas fundamentais das falhas para sua exterminação, tendo em vista que isto ocorre a partir de análise e conhecimento do equipamento e da ação a ser realizada. Com posse da informação da origem do problema, poderá então proceder ao diagnóstico da causa e

da localização do mesmo. A máquina é sinal de perda dos ganhos, sendo que com base neste dado, a desmontagem só deve acontecer em caso de extrema necessidade, pois seu custo é muito maior e sua produção fica comprometida com a impossibilidade de execução do trabalho. Todo equipamento deverá passar por manutenção, uma vez que é inevitável seu desgaste ocasionado pelo uso e esta necessidade será muito menos traumática se ocorrer de forma preventiva ou preditiva.

Um serviço de manutenção eficaz deve seguir uma programação determinada com previsão de tempo médio entre falhas e o tempo médio para reparos antes que estas ocorram desta forma é muito importante conhecer e realizar estas previsões dentro do serviço de manutenção.

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÕES

Todas as manutenções realizadas visam estabelecer o funcionamento do equipamento, podendo ser diferenciada em seu tempo e meios de ação, mas buscam os mesmos objetivos de colocar o equipamento o mais rápido possível para produzir. De acordo com Castella (2001), as ações e decisões tomadas para realizar as manutenções elas podem ser classificadas como:

2.2.1 Manutenção corretiva

Busca corrigir uma falha já instalada ou baixo desempenho do equipamento. Não há tempo para a preparação de componentes e nem de planejar o serviço; isto é, manutenção corretiva não planejada é a correção da falha de modo aleatório a fim de evitar outras consequências com danos e perdas maiores (CASTELLA, 2001).

É o tipo de manutenção mais antiga e mais utilizada, sendo empregada em qualquer empresa que possua itens físicos, em qualquer nível de planejamento da manutenção. Segundo a Norma NBR 5462 (1994), é o serviço executado em caso de quebra do equipamento ou pane, com o destino de recolocar o mesmo em condições de executar sua função.

Este tipo de manutenção acontece em busca de corrigir falhas em equipamentos, componentes, módulos ou sistemas, visando a volta ao funcionamento. É normalmente de alto custo, uma vez que, a falha ou parada inesperada acarreta perdas de produção e queda de

qualidade do produto. As paralisações são normalmente mais demoradas, dispendiosa e exigem estoques elevados de peças de reposição, com acréscimos nos custos de manutenção.

A manutenção corretiva pode ainda ser do tipo:

- a) Não Planejada: quando o equipamento está comprometido, sendo uma necessidade para corrigir a falha ou mau desempenho. Acontece de maneira aleatória e é realizado apenas depois da ocorrência do fato. É a manutenção recursiva, mais cara por ocasionar perdas de produção com a parada do equipamento de maneira imprevista e ainda a extensão dos danos a outros equipamentos é ainda mais agravante, que acabam sendo afetados. Na existência somente deste tipo de manutenção, são os equipamentos que ditam a necessidade deste serviço, sem data prevista.
- b) Planejada: É reconhecida por alguns como a preditiva, pois ocorre em função de um acompanhamento preditivo, detectivo, ou até pela decisão gerencial de se operar até a falha ou quebra de algum componente do equipamento. Sendo esse tipo de manutenção planejada e esperada a falha do equipamento com previsão. Desta forma, tudo que é planejado é sempre mais barato, mais seguro e mais rápido. Em algumas indústrias esses dois tipos de manutenção corretiva são conhecidos como Manutenção Corretiva Previsível e Manutenção Corretiva Não Previsível.

2.2.2 Manutenção preventiva

Conforme Castella (2001), esta é a manutenção realizada em busca de reduzir ou evitar paradas, falhas ou queda no desempenho do equipamento, obedecendo a um planejamento baseado em intervalos estabelecidos com tempo determinado, sendo este fundamental para o acontecimento deste tipo de manutenção. Os intervalos acabam por ser menores que os necessários já como meio de prevenir e segurar o bom funcionamento do equipamento, sua característica básica que é previsão de reparos baseada em intervalos de tempo, é conhecida como Time Based Maintenance (TBM) ou Manutenção Baseada no Tempo.

A manutenção preventiva é considerada como o ponto de apoio das atividades de manutenção, envolvendo tarefas sistemáticas tais como: as inspeções, substituição de peças e reformas (PATTON JR., 1983). Esta Manutenção visa a substituição de peças ou componentes antes que atinjam a idade em que passam a ter risco de quebra ocasionando a parada, ou mau funcionamento do equipamento.

A definição de Manutenção Preventiva é segundo a NBR 5462(1994) é: “Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritivos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item” (BRASIL, 1994).

A base científica desta manutenção é o conhecimento do período de tempo útil de cada peça, equipamento ou sistema se baseando em intervalos pré-fixados. Com base nestes conhecimentos, busca-se manter o funcionamento adequado do equipamento.

2.2.3 Manutenção preditiva

Este tipo de manutenção realiza o acompanhamento do equipamento, visando definir a necessidade ou não de intervenção. Sendo que de forma organizada realiza atividades de acompanhamento das possibilidades de modificações ou parâmetros que indicam o desempenho do equipamento. A manutenção preditiva é a execução da manutenção no momento adequado, antes que o equipamento apresente falha, e tem a finalidade de evitar a falha funcional ou evitar as consequências desta (MOUBRAY, 1997).

Esse tipo de manutenção é conhecido com Condition Based Maintenance (CBM) ou Manutenção Baseada na Condição. Permite que os equipamentos operem por mais tempo e a intervenção ocorra com base em dados e não em suposições.

Na ocorrência da intervenção, resultado do acompanhamento preditivo realizado acontece então a Manutenção Corretiva Planejada, esta ocorre devido às necessidades do equipamento, oferecendo condições deste equipamento operar por mais tempo e a intervenção ocorrer com base em dados coletados de vistoria neste equipamento antes até mesmo da falha, mas com a detecção da possibilidade breve desta. De acordo com Patton Jr. (1983), a Preditiva seria um ramo da Preventiva, mas que acontece de maneira distinta por possuírem características distintas. A Manutenção Preditiva acaba por ser uma forma modificada pela evolução da Manutenção Preventiva. Atualmente é possível estabelecer previsão de diagnósticos de falhas futuras, através da análise dos sistemas produtivos com o acompanhamento sistemático das variáveis que indicam o desempenho dos equipamentos, define-se a necessidade da intervenção e o tempo de duração das peças e o desgaste do equipamento.

É um tipo de manutenção que privilegia a disponibilidade, por acontecer as verificações e análises com o equipamento em funcionamento, sendo de extrema importância

a qualificação e o treinamento da mão de obra devido a necessidade de precisão na análise e diagnóstico do equipamento. São realizadas com ações de intervenção equivalente aos dados registrados, não havendo possibilidade de aplicação de forma generalizada uma vez que cada equipamento apresenta condições diferenciadas com ajustes e desgastes únicos, exigindo análise criteriosa de cada equipamento separado.

De acordo com Nepomuceno (2005), a manutenção preditiva baseia-se em medições, como vibrações, análise dos lubrificantes e termografia, que permitem definir as condições reais dos equipamentos. As medições podem ser executadas de maneira contínua ou levantadas em intervalos periódicos, dependendo da criticidade do equipamento e da probabilidade de impacto do problema. Quando um problema é detectado, a manutenção é executada, preferivelmente antes que a falha ou ruptura ocorra.

Conforme afirma Lima e Sales (2008), por meio da manutenção preditiva é possível elaborar um histórico do equipamento de acordo com a criticidade do mesmo, de modo que, a partir dos dados gerados torna-se possível fazer o planejamento preventivo, evitando-se a ação corretiva.

Em acordo Siqueira (2009), compartilha desta ideia destacando que a ação preditiva permite à gestão de manutenção planejar melhor as intervenções nos equipamentos, pois a preocupação com o desempenho da máquina e a monitoração de suas condições mecânicas, bem como instalações e rendimentos operativos, tornam-se constantes.

2.2.4 Manutenção produtiva total (MPT)

É uma filosofia de manutenção que agrega todos os tipos de manutenção. Surgiu nos programas de qualidade após a segunda guerra mundial, advindo da necessidade de produção em grande escala, buscando atender a demanda estimulando a participação dos operadores num esforço de manutenção preventiva e corretiva, criando assim uma mentalidade de autogerenciamento do seu local de trabalho. O objetivo principal dessas ações é o aumento da eficiência dos equipamentos, com redução dos custos operacionais resultando no aumento da produção.

A atuação não se dá apenas no reparo, mas também junto ao operador e na gestão do equipamento, visando eliminar todas as perdas, falhas ou imprevistos, funcionando da forma detectiva e eficaz. “É um tipo de manutenção efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis às equipes de operação e manutenção e resolvê-las

sem a parada da produção ou com uma parada planejada” (CASTELLA, 2001). Sem alterar o rendimento da produção da indústria que é o foco principal neste tipo de manutenção estabelecida.

2.3 VIBRAÇÃO NA MANUTENÇÃO PREDITIVA

A análise de falhas através da manutenção preditiva baseada na monitoração da vibração tem sido utilizada com sucesso em máquinas e equipamentos industriais desde o início dos anos 70. As bases de refinaria e petroquímicas adotaram o uso desta técnica obtendo economia notável e aumentando a disponibilidade do equipamento produtivo resultando no aumento também da produtividade. Conforme Garza (2002), em busca de maior ganho produtivo e durabilidade dos equipamentos é realizada a monitoração de máquinas rotativas em geral e em seus componentes visando proporcionar maior produtividade nas indústrias.

Por meio da monitoração dos equipamentos com análise de vibração é obtida a redução de intervenções de manutenção em até 70%, depois de reduzido período de monitoração e pela possibilidade de planejamento de intervenções com conhecimento prévio da época e causa das falhas. Situações reais demonstram economia de até 75% nos custos de manutenção nas empresas que adotaram esse procedimento, sendo então um retorno garantido e satisfatório para qualquer indústria.

De acordo com Ponci e Cunha (2005), o investimento com a instrumentação para a monitoração de vibração é alto, porém é amortizado em pouco tempo, já que este investimento será responsável por reduzir os custos de manutenção e trazer maior lucratividade para a organização. Pode-se inicialmente trabalhar apenas com medidores e analisadores de vibração analógicos de baixo custo e funcionamento simplificado, que pode atender a um elevado número de equipamentos de diversos tipos. Sendo, portanto, necessário que os equipamentos de coleta de dados sejam confiáveis e robustos, capazes de suportar os rigores do trabalho diário, em ambientes agressivos, apresentando resultados confiáveis e que sejam gerenciados por profissionais capazes de entender suas informações e intervir na manutenção adequada a cada diagnóstico.

De acordo com Souza e Lima (2003), por meio da análise de vibração são passadas inúmeras informações das condições do equipamento analisado, uma vez que todas as máquinas em funcionamento produzem vibrações. Estas provocam desgastes dando origem a

processos de deterioração resultante da modificação da distribuição de energia vibratória e fricção existente no conjunto dos elementos que constituem a máquina. A informação deste processo e do estado funcional da máquina é observada por meio dos espectros apresentados durante a análise de vibração realizada no software de monitoramento.

A vibração é um movimento oscilante ou de trepidação de uma máquina ou de algum elemento de máquina, saindo de sua posição de estabilidade, denotando alguma alteração em seus componentes. Por meio de uma manutenção preditiva em máquinas e equipamentos é significativo a redução de interrupções de produção devido as paradas para manutenção e reparos. A análise de vibração é um importante elemento de diagnóstico destas falhas de forma preditiva, sendo uma técnica muito utilizada.

Um equipamento durante todo seu funcionamento apresenta vibrações em diversas frequências, devido à própria rotação do equipamento, de seus elementos, ou até mesmo de fontes externas.

Segundo Ponci e Cunha, modulação de amplitude é a variação com o tempo da amplitude de uma vibração. Sendo que os defeitos em rolamentos geram impactos repetitivos que excitam vibrações livres de curta duração (com alto amortecimento) em frequências naturais elevadas, acima de 500 Hz, que se propagam pela caixa dos mancais e a estrutura da máquina na forma de ondas de tensão. As vibrações livres geradas pelos defeitos em rolamentos são moduladas em amplitudes pela sequência de impactos repetitivos e pelo efeito do amortecimento, sendo as portadoras as frequências naturais dos componentes do rolamento (pistas e elementos rolantes), da caixa e da estrutura do equipamento e as modulantes são as frequências básicas de falha.

Na ocorrência de algum defeito nas pistas girantes, tendo maior ocorrência nas pistas internas, com a intensidade da vibração aumentada com a região de defeito passando pela zona de carregamento, provocando uma modulação de amplitude do componente pela frequência de rotação da pista, mostrando a falha do rolamento na análise de vibração.

Quando o defeito localiza-se somente em alguns elementos rolantes, a intensidade da vibração aumenta quando os elementos defeituosos passam pela zona de carregamento, provocando uma modulação em amplitude e na frequência de rotação da gaiola. Além disso, quando o defeito se propaga e se espalha pelas pistas e elementos rolantes, os efeitos de modulação e a intensidade das bandas laterais correspondentes são reduzidos.

Segundo REIS et al., a ocorrência de um defeito na pista externa, na prática, tendem a gerar sinais de vibração com amplitudes e direções com níveis constantes, onde detecta o aceleração do defeito.

De acordo com Reis et al. (2011), normalmente a evolução de um defeito em um rolamento segue os seguintes passos:

1. A primeira indicação de falha em rolamentos aparece em frequências ultrassônicas, portanto fora do range de frequência dos coletores e analisadores de dados. O espectro é dominado pela frequência de rotação do eixo e harmônicos. Nessa fase não é necessário sugerir uma intervenção da manutenção.
2. O segundo estágio de falha apresenta pequeno defeito no rolamento, que começa excitando as frequências naturais dos componentes. Frequências de bandas laterais aparecem acima e abaixo do pico de frequência natural.
3. O terceiro estágio é caracterizado pelo aparecimento das frequências de defeitos do rolamento e seus harmônicos. Quando o desgaste progride, aparecem mais harmônicos das frequências de defeitos e o número de bandas laterais também aumenta, tanto ao redor destas frequências quanto das frequências naturais do rolamento. O desgaste nesse estágio é visível e pode-se estender pela periferia do rolamento. Nesse estágio já é aconselhável a intervenção para a troca do componente.
4. O quarto estágio representa a fase próxima ao final de vida do rolamento. A piora do defeito normalmente causa o aumento dos harmônicos da frequência de rotação. As frequências de defeito do rolamento e as frequências naturais desaparecem. No lugar delas fica um ruído de banda larga em alta frequência, conhecida como tapete de ruído. Os níveis de vibração tendem a diminuir um pouco antes da falha.

2.4 MECANISMOS DE FALHAS EM ROLAMENTOS

Mancais de rolamentos possuem aplicações amplamente difundidas na atualidade. Esses componentes são utilizados para suportar cargas proporcionadas por um eixo que está submetido à rotação e vinculado à estrutura de uma máquina rotativa. Mancais de rolamentos são considerados componentes mecânicos críticos, já que a ocorrência de falhas nesses dispositivos podem provocar danos severos e até mesmo irreparáveis em máquinas rotativas.

Defeitos em mancais de rolamentos geralmente são encontrados em máquinas rotativas, as quais geralmente apresentam grande quantidade desses equipamentos. Esses defeitos podem ser provenientes de falhas de projeto, defeitos de fabricação, sobrecarga, montagem inadequada, lubrificação excessiva ou insuficiente, montagem incorreta, contaminação e perda de propriedades causadas por altas temperaturas anormais. Além dos defeitos encontrados em mancais de rolamento de esferas, os mesmos sofrem com processos de desgaste devido à sua utilização. Esses rolamentos podem apresentar processos de desgastes na pista interna ou externa, nos componentes rolantes ou na gaiola.

De acordo com o catálogo NSK *Bearing Doctor* (2001), os rolamentos corretamente cuidados podem ser usados por longos períodos de tempo, porém há casos de ocorrências inesperadas que não permitem a utilização continuada. Essas ocorrências prematuras em relação à vida útil são falhas que proporcionam quebras dos equipamentos, que na grande maioria têm como causas: instalação ou utilização inadequada, lubrificação excessiva ou ineficiente, penetração de partículas estranhas e superaquecimento.

Ainda conforme o catálogo NSK *Bearing Doctor* (2001), os componentes do rolamento podem apresentar diversos tipos de falhas causadas por inúmeros fatores diferentes. As ocorrências mais comuns em rolamentos são: descamamento, fraturas, trincas, desgaste, corrosão por contato, superaquecimento, oxidação e corrosão.

Segue abaixo uma breve explicação dos tipos de ocorrências de acordo com a NSK.

1. Descamamento: pequenos pontos surgem na superfície das pistas e elementos rolantes, começa a ter o desprendimento de material. Essa ocorrência pode ser causada por lubrificação inadequada ou contaminação por partículas.
2. Trincas: as trincas podem ser encontradas na pista e nos elementos rolantes, podendo resultar em fraturas caso continue o uso sob estas condições. Essas ocorrências podem ser causadas por interferência excessiva, cargas excessivas, deficiência na circularidade do eixo e no ângulo do eixo cônico, geração de calor e cargas de choques.
3. Fraturas: as fraturas podem ser relacionadas ao anel interno ou externo partido, corpos rolantes partidos e gaiola avariada. As fraturas são consequências da fadiga por contato, que é responsável pela deformação localizada, surgimento de trincas e desprendimento de lascas da superfície. Essas ocorrências podem ser causadas por cargas excessivas,

interferência excessiva, deficiência na forma do eixo, desenvolvimento de trinca de fricção e lubrificação inadequada.

4. Desgaste: o desgaste é a deterioração da superfície dos componentes do rolamento por atrito. Esse defeito pode ser causado pela entrada de impurezas, lubrificação deficiente e pelo escorregamento feito pelo movimento irregular dos elementos.
5. Corrosão por contato: a corrosão por contato ocorre na superfície de contato entre as pistas e os elementos rolantes, ocasionado pelo deslizamento entre as superfícies. Essa falha pode ser causada pela lubrificação deficiente, vibração de pequena amplitude e ajuste inadequado.
6. Superaquecimento: o superaquecimento ocorre durante o trabalho do componente, ocasionando alteração na coloração do mesmo e perda de propriedades físicas. Essas ocorrências podem ser causadas pela lubrificação ineficiente, entrada de água e contaminantes, excesso de carga e alta rotação.
7. Oxidação e corrosão: são pontos encontrados na superfície dos anéis e elementos rolantes que sofreram deterioração devido reações químicas ou eletroquímicas. Esses defeitos podem ser causados pela entrada de gás corrosivo ou água, lubrificante inadequado, alta temperatura e alta umidade quando a peça está parada, formação de partículas de água por condensação de umidade e estocagem inadequada.

Existem diversos métodos para investigar e quantificar as falhas apresentadas pelos rolamentos. Além da análise de vibração podem-se utilizar outras técnicas adotadas pela manutenção preditiva, que são responsáveis por prever ou evitar defeitos. De acordo com o *NSK Bearing Doctor* (2001), é extremamente importante fazer o monitoramento da temperatura dos componentes do rolamento, verificação dos ruídos exagerados, controle da qualidade dos lubrificantes e verificação de possíveis contaminantes encontrados nos mesmos. A monitoração de temperatura é feita por meio da análise termográfica utilizando uma câmera especial, onde é detectado pontos de superaquecimento nos componentes do rolamento. Para detecção de ruídos é importante utilizar equipamentos como estetoscópio para detectar as características dos mesmos. Para controlar a qualidade dos lubrificantes é fundamental submetê-los às análises químicas para verificar a viscosidade, contaminação por água, contaminação por partículas e elevação do teor de componentes químicos presentes nos lubrificantes. Por meio dessas análises de óleos e graxas é possível prever desgastes, oxidação, corrosão e trincas nos rolamentos.

2.5 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

De acordo com Siqueira (2009), a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), do inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM), foi criada no final da década de 60, inicialmente utilizada pela indústria aeronáutica, com o objetivo de direcionar os esforços da manutenção, para os componentes e sistemas onde a confiabilidade é fundamental para a eficácia do equipamento, garantindo seu desempenho, segurança e preservação do ambiente a um melhor custo-benefício. Corroborando com a ideia Souza e Lima (2003), afirmam que a MCC, identifica e mensura a confiabilidade de um sistema (equipamentos, máquinas e processos) e, de maneira científica, propõe meios para aumentar essa confiabilidade.

O mundo globalizado, fez com que fossem grandes as chances de crescimento industrial, mas ocasionou também a busca pela melhor oferta, fazendo com que os produtos se tornassem diferenciados pela qualidade, preço e inovação para se estabelecer no mercado competitivo.

Em busca desta competitividade é preciso não só oferecer o melhor produto com preço acessível, mas também lucrar nesta competição e é em busca desta lucratividade que o serviço de manutenção realiza seu importante papel de manter a organização em produção sem prejuízos devido às paradas não programadas. Os fundamentos da MCC, conforme afirma Garza (2002), além da introdução de novos conceitos, apresenta um novo foco para a manutenção em relação ao modelo tradicional, embasando as suas ações em novos objetivos.

De acordo com Siqueira (2009, p. 17), as principais expectativas deste serviço de manutenção são baseadas na preservação da eficácia do funcionamento do sistema, dando ênfase nos dados com documentação obrigatória e sistemática, combatendo as consequências das falhas, seguindo normatizações e priorizando as funções.

A Manutenção Centrada na Confiabilidade possui um serviço de manutenção que é realizado de forma eficiente gerando uma confiabilidade em seus realizadores. A MCC é caracterizada por uma metodologia estruturada, que traça as melhores estratégias de manutenção nos sistemas ou equipamentos, garantindo a confiabilidade, segurança e redução de custos em um serviço.

De acordo com Backlund (2003), a MCC delimita a estratégia eficaz de manutenção com objetivo de evitar ou reduzir as consequências e efeitos significantes de uma falha. Priorizam-se as necessidades do processo de produção e não do componente ou equipamento de maneira isolada de forma a garantir a confiabilidade na eficácia de um sistema por meio de

sua manutenção. Sendo estruturado como um método para realizar a melhor estratégia de manutenção, com o objetivo de definir um processo sistemático de análise. O mesmo deve garantir a confiabilidade e segurança da operação do equipamento com o menor custo possível, garantindo o funcionamento do equipamento dentro do menor tempo e de forma eficaz, podendo reunir em sua atuação as manutenções necessárias para garantir sua confiabilidade e eficácia.

Esta confiabilidade só existe com a os resultados aparentes, mas isto não acontece da noite para o dia, é preciso desenvolver um trabalho longo para se chegar a resultados eficazes de satisfação nos serviços e de forma a ser confiável de fato com quebras ou paradas sem programação quase inexistente. Conforme Dhillon (2006), a confiabilidade como a probabilidade de um sistema ou item executar sua função de forma eficaz durante o período previsto, operando de acordo com as condições especificadas devem ser atribuídas ao serviço de manutenção executada nestes sistemas. Em acordo Kardec e Nasfic (2009), afirmam que a missão da manutenção é garantir a confiabilidade e disponibilidade de um sistema ou instalação e se constrói a confiabilidade ao longo do tempo.

A prestação deste serviço busca aperfeiçoar o programa de manutenção garantindo a confiabilidade de suas informações e a eficácia do sistema. Sendo também um grande recurso na redução de gastos, pois de acordo com Moubrey (1997), quando implantado de forma correta, a MCC reduzirá de 40% a 70% a rotina de tarefas de manutenção, com uma série de vantagens e benefícios na segurança, logística, operação e administração das organizações. Em acordo Backlund (2003), afirma que a MCC acrescenta também além das vantagens da confiabilidade de seu funcionamento de forma eficaz apresentam um impacto financeiro significativo.

A MCC apresenta como resultados a redução das atividades de manutenção com otimização do planejamento, aumento da produtividade, aumento da segurança humana e ambiental, redução dos custos com manutenção, materiais e operação e redução dos riscos (MOUBRAY, 1997). Tendo como importante observação que em busca do alcance máximo dos objetivos desta manutenção é necessário a participação de todos envolvidos na execução do serviço de manutenção, com rigorosa observação nos dados coletados sobre o sistema dedicado à manutenção. Deve-se entender a importância da utilização máxima dos recursos disponíveis, visando garantir mais confiabilidade à operação, proporcionando melhorar seu desempenho operacional e a tomada de decisão a respeito das manutenções, aumentando assim, a vida útil dos equipamentos.

Este trabalho de manutenção foca suas maiores preocupações operacionais em analisar falhas, probabilidades de recorrências, definição de procedimentos, critérios de priorização baseados em fatores econômicos e práticas eficientes e seguras envolvendo o custo-benefício. Todas essas ações visam o combate às falhas antes que elas ocorram, sendo realizado de forma preditiva ou preventivamente de forma confiável desempenhando sua função em tempo hábil e condições definidas, visando aumentar a disponibilidade dos equipamentos e otimizando a produtividade.

2.5.1 Estudo do MTBF e do MTTR

O “Mean Time Between Failures” ou MTBF em português: Tempo Médio Entre as Falhas e o “Mean Time To Repair” ou MTTR que é: Tempo Médio Para Reparos são dois indicadores muito importantes quando o assunto é disponibilidade de aplicação da manutenção. Mesmo apresentando grande relevância no desempenho dos processos mecânicos e podendo ser uma importante análise a favor da manutenção baseada na confiabilidade são indicadores de desempenho pouco utilizados nas indústrias, mas que podem ser utilizados e apresentar grandes melhoras na eficiência dos serviços de manutenções industriais.

O MTBF, que é a utilização da medida de tempo decorrido entre uma falha e a próxima vez de ocorrência novamente desta, podendo ser calculado estas ocorrências entre estes tempos ou intervalos por meio de fórmula do tempo total de funcionamento correto em um período dividido pelo número de falhas. Suponha-se que um equipamento deveria operar corretamente durante 900 horas. Durante esse período, verificam-se 4 falhas totalizando 120 minutos para se detectar e corrigir a falha (2 horas). Calculando o MTBF, obtêm-se (Eq. 1):

$$\text{MTBF} = (900 - 2)/4 = 224,5 \text{ horas} \quad (1)$$

Esse índice revela que a cada 224,5 horas esta falha ocorrida deixará o equipamento indisponível e gerando prejuízos à empresa. Esta estimativa de eficácia do equipamento permite traçar estratégias para programar momento adequado de manutenção antes que o equipamento seja indisponibilizado por falhas, podendo realizar um serviço de manutenção eficaz no melhor momento de forma a não atrapalhar ou impossibilitar o rendimento normal deste equipamento.

O MTTR, que é o tempo médio para reparo, representa a média de tempo que se leva para executar um reparo após a ocorrência da falha no equipamento, representada pelo tempo gasto durante a manutenção do equipamento. Sendo estes dados considerando um equipamento que pode ser reparado, pois no caso de algo irreparável, o correto a dizer é o “Mean Time To Failure” ou MTTF, ou tempo médio para falhas, ocorrências que podem acarretar grandes prejuízos para a indústria.

O MTTR que é o total de horas de sistema parado ocasionado por falhas dividido pelo número de falhas, chega-se à equação (2):

$$\text{MTTR} = 120 \text{ min} / 4 \text{ falhas} = 30 \text{ minutos} \quad (2)$$

Considerando o tempo médio de cada parada de meia hora, a empresa sabe que, a cada 224,5 horas, o equipamento ficará indisponível por meia hora para manutenção. Considera-se este tempo sem nenhuma outra intercorrência, como a falta de peças ou quebra de outras peças do sistema, de forma que a manutenção consciente de suas limitações tem assim o primeiro passo para poder eliminar os defeitos.

Com a disponibilidade destes dois dados o MTTR e MTBF, pode-se chegar ao tempo de disponibilidade de um sistema, utilizando esses 2 KPIs que é “*Key Performance Indicator*” ou Chave do Indicador de desempenho (Eq.3).

$$\text{Disponibilidade} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \quad (3)$$

Para ficar mais claro, nada melhor do que um exemplo prático. Considerando:

- A. Tempo em que o sistema deveria trabalhar: 8 horas;
- B. Tempo total em que o sistema não está funcionando: 2 horas;
- C. Tempo no qual o sistema esteve disponível: 6 horas;
- D. Ao total ocorreram 4 falhas no sistema de 30 minutos cada.

Então, matematicamente se tem o apresentado na Eq. (4):

$$\begin{aligned} \text{Disponibilidade: } (A-B/D) / [(A-B/D) + (B/D)] &= & (4) \\ (8-2/4) / [(8-2/4) + (2/4)] &= \\ 1,5/ 2 &= 75\% \end{aligned}$$

Os índices de MTTR e MTBF são dois indicadores utilizados em larga escala há mais de 60 anos como pontos de referência para a tomada de decisões. O MTBF é uma medida básica da confiabilidade de um sistema, enquanto o MTTR indica a eficiência na ação corretiva de um processo.

Com a utilização do MTBF a manutenção consegue aumentar o período de trabalho do equipamento após realização do processo de manutenção preventiva, é um indicador da qualidade de seus processos oferecendo mais credibilidade nos serviços prestados, mostrando confiabilidade em seus serviços.

Mas no caso do MTTR, deve buscar redução, obtendo maiores esforços na busca de diminuir as perdas de produtividade por indisponibilidade dos equipamentos da indústria. Um tempo menor de manutenção indica que a empresa tem respostas rápidas para problemas ocorridos nos equipamentos, demonstrando eficiência dos serviços de manutenção.

Sendo, portanto, o MTTR e MTBF dois importantes indicadores de desempenho e que devem ser utilizados para ampliar o conhecimento da indústria e a eficiência em sua produção e aumentando o ciclo de vida de seus equipamentos com a realização da manutenção adequada e de forma eficaz. Sendo estimado que metade dos custos do ciclo de vida de um equipamento é atribuída à operação de manutenção.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente optou-se por uma metodologia de pesquisa qualitativa sendo que dentre os métodos qualitativos optou-se pelo estudo bibliográfico por compreender que se trata de um tema complexo que requer um tratamento metodológico. Era necessário que o mesmo permitisse entender com mais propriedade o que é análise de vibração em mancais e rolamentos e como ela pode ser empregada na manutenção preditiva. Foi também baseada no conhecimento dos equipamentos para se obter a credibilidade necessária à execução da manutenção com confiabilidade.

A pesquisa bibliográfica permite melhor visão do objeto de estudo possibilitando ao pesquisador construir hipóteses, estudá-las ou refutá-las. Desta forma, realizou-se uma investigação com base em publicações de livros, artigos e redes eletrônicas dos conceitos inerentes à gestão de manutenção.

Posteriormente foi realizado um estudo de caso com uma análise na indústria para verificação das condições de realização da manutenção nos equipamentos e as condições de eficácia na operação destes equipamentos dentro da organização. Decidiu-se implantar um plano de manutenção centrado na confiabilidade visando transformar o ambiente de manutenção em um ambiente planejado e eficaz em suas atuações.

A Manutenção, que era considerada como um mal necessário em várias empresas, atualmente é vista como uma função estratégica. Esta mudança é parte imprescindível dentro de todos os processos da organização industrial para manter a eficácia dos equipamentos durante todas as etapas de produção.

A implantação da RCM foi destinada a todas as máquinas e equipamentos da organização com a intenção de obter uma manutenção mais eficaz e atuante. Foi elaborado um plano de criticidade para priorização dos equipamentos utilizando planilhas de pontuações que foram construídas baseadas em históricos de manutenção da empresa. Todos os ativos da empresa foram classificados em alguma categoria de criticidade que era representada pelas letras “A”, “B”, “C” e “D”. Todos os equipamentos das categorias “A” e “B” foram monitorados periodicamente utilizando uma técnica da manutenção preditiva denominada análise de vibrações.

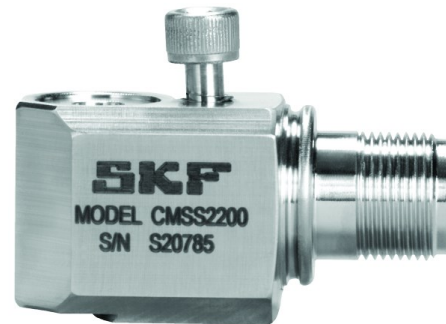
Para a realização das coletas de dados de vibração dos equipamentos foram utilizados o coletor de vibrações VB-5 da marca Commtest Instruments (Figura 1) e o acelerômetro CMSS 2200 da marca SKF (Figura 2),

Figura 1: Coletor de vibrações



ⁱFonte: Catálogo Commtest Instruments

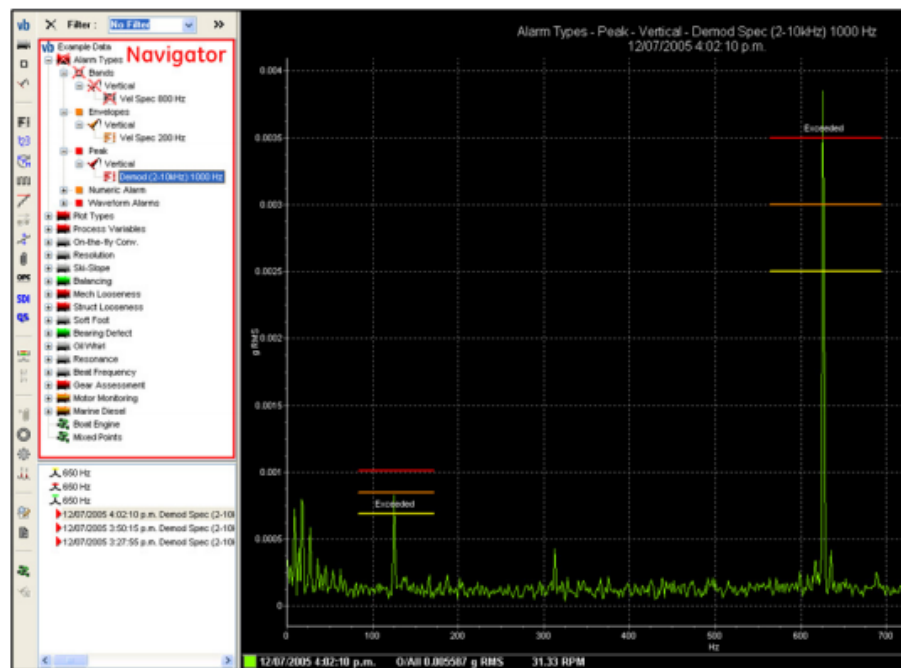
Figura 2: Acelerômetro



ⁱⁱFonte: Catálogo SKF

Para realizar o gerenciamento e a análise de vibração dos dados coletados foi utilizado o software de gerenciamento Ascent (Figura 3).

Figura 3: Software de gerenciamento de dados

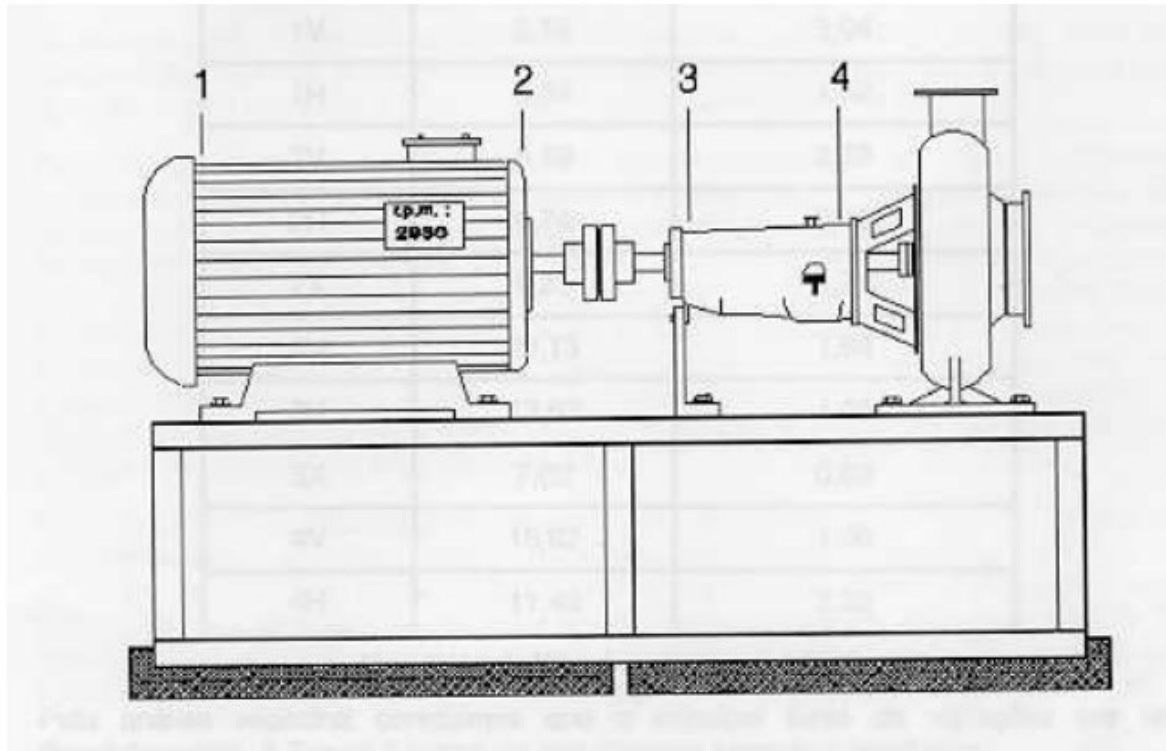


ⁱⁱⁱFonte: Guia de referência Ascent

Para coletar os dados de vibração das máquinas foram definidos os pontos de coleta. Durante as monitorações periódicas os dados eram coletados sempre no mesmo ponto, garantindo que sinal possa ser sempre referenciado aos detalhes de vibração daquele ponto. Esses pontos foram definidos porque se deve sempre procurar regiões mais próximas aos

rolamentos para que as respostas encontradas sejam mais precisas. A Figura 4 representada abaixo mostra os pontos adequados para coletar dados de vibração em motores e bombas. Não necessariamente esses dois equipamentos precisam estar acoplados como mostrado na figura, pois mesmo trabalhando separadamente os pontos de coleta em cada equipamento continuam os mesmos.

Figura 4: Software de gerenciamento de dados



^{iv}Fonte: Rede acadêmica Ebah

Analisando a figura acima verifica-se que os pontos 1 e 2 são os locais de coleta de dados do motor, sendo que nos pontos 1 e 2 são coletados sinais nas direções radiais (horizontal e vertical) e apenas no ponto 2 são coletados sinais na direção axial. A coleta de sinais na direção axial é feita apenas no rolamento que fica próximo ao lado acoplado. Os pontos 3 e 4 são as regiões de coleta de dados da bomba, sendo que nos pontos 3 e 4 são coletados sinais nas direções radiais (horizontal e vertical) e apenas no ponto 3 são coletados sinais na direção axial. Todos os dados coletados são mostrados no software de análise separadamente, divididos pelo nome dos rolamentos.

4 ESTUDO DE CASO

Inicialmente foi analisada a estratégia de manutenção da empresa, com maior utilização dos dados dispostos no software de gerenciamento de manutenção. Foi feito o acompanhamento das máquinas e seus equipamentos, gerenciando cada serviço realizado e analisando os indicadores MTBF e MTTR. A implantação da manutenção centrada em confiabilidade teve início com um trabalho de levantamento de efeitos e ocorrências das falhas, utilizando inspeções de rotas sensitivas, *check lists* realizados por técnicos de manutenção mecânica e elétrica, *check lists* realizados por operadores (manutenção autônoma) e principalmente a observação do tempo médio de cada equipamento apresentar falhas.

Foi seguido o roteiro estabelecido pela gestão de manutenção da empresa, objetivando estabelecer a sistemática para o controle e planejamento de manutenção dos equipamentos industriais, fornecedores de serviços contratados, bem como as diretrizes aplicáveis à atividade de manutenção. Isto foi feito visando definir a organização dos procedimentos, fluxo organizacional, organograma, atribuição dos cargos, definição dos tempos de manutenção e suas utilizações. Buscando também estabelecer, manter e atualizar as instalações e equipamentos fabris, de modo a assegurar as condições de preservação, continuidade, capacidade e qualidade do processo.

Após todos os critérios serem analisados, foi elaborado uma planilha de pontuações (Tabela 1), onde são mencionados os pontos avaliativos de segurança, meio ambiente, manutenção, operações/produção e clientes/qualidade. Também são determinados a definição do critério, peso do critério a ser avaliado e definição do peso e os pontos da avaliação. As pontuações apresentadas na tabela foram definidas seguindo as normas da empresa, onde os maiores valores alcançados pelas categorias deveriam seguir uma ordem decrescente começando com segurança e terminando com clientes/qualidade, conforme sequência citada acima. As definições dos critérios e suas respectivas pontuações foram definidas pela gestão de manutenção juntamente com as equipes responsáveis por cada setor, baseadas em acontecimentos anteriores, históricos de manutenção e sugestões da bibliografia.

A análise para definir a criticidade de cada item foi feita por meio de uma sequência de questões de múltipla escolha relacionadas às categorias mencionadas (Tabela 1). Cada resposta apresentava um valor específico de acordo com tabela e a soma dos valores de todas as respostas representava o valor da criticidade do equipamento.

Tabela 1: Pontuações de criticidade

CRITICIDADE DESCRITIVA				
Critério de Segurança	Definição do Critério	Peso do Critério	Definição do Peso	Pontos
Potencial de ferimento - Equipamento em operação	Qual a possibilidade de uma pessoa se ferir se um determinado equipamento falhar ou não funcionar corretamente durante a operação?	Baixo	Chance mínima causar ferimento	100
		Médio	Chance razoável de causar ferimento	200
		Alto	Grande chance de causar ferimento	500
Gravidade do ferimento	Se um ferimento ocorrer devido a falha ou mau funcionamento do equipamento durante a operação, qual é a gravidade do ferimento que tem maior probabilidade de ocorrer?	Baixo	Primeiros socorros/atendimento na planta	50
		Moderado	Atendimento médico externo	100
		Médio	Afastamento	500
		Alto	Perda de um membro/vida	2000
Potencial de ferimento - Em conserto	Qual a possibilidade de uma pessoa se ferir durante execução de atividades de manutenção no equipamento?	Nenhum	Nenhuma	0
		Baixo	Chance mínima causar ferimento	75
		Médio	Chance razoável de causar ferimento	150
		Alto	Grande chance de causar ferimento	375
Exigências para evitar ferimentos - Em conserto	Existe alguma exigência para ajudar a prevenir ferimentos quando uma pessoa está realizando as atividades de manutenção no equipamento?	Nenhum	Nenhuma	0
		Médio	Equipamento Normal de Proteção Pessoal	150
		Alto	Exigência de Equipamento Especial de Segurança	375
Potencial de incêndio / Explosão / outros	Qual o potencial de incêndio, explosão, etc. no caso de falha ou mal funcionamento de um equipamento, ou durante as atividades de manutenção desse equipamento?	Nenhum	Não existe nenhum potencial	0
		Pequeno	Controlado, com danos mínimos	100
		Moderado	Controlado, com danos moderados	500
		Grande	Sem controle e com danos graves	2000
Dispositivo Crítico de Segurança	O equipamento em si ou qualquer um de seus componentes é parte de um dispositivo crítico de segurança?	Não		0
		Sim		250
Total de Segurança				5500

Crêterios Ambientais	Defini�o do Critério	Peso do Critério	Defini�o do Peso	Pontos
Potencial de vazamento/Descarga/etc.	Qual o potencial de um vazamento, descarga, etc. em caso de falha ou mau funcionamento do equipamento em opera�o ou durante as atividades de manuten�o no equipamento?	Nenhum	Não existe nenhum potencial	0
		Não regulamentado	Pequeno/controlado/não relat�vel	100
		Regulamentado	Relat�vel/irregular	200
		Notifica�o de Viola�o	Grande/excede os limites regulatórios	500
Dispositivo de Controle de Polui�o	O equipamento em si, ou qualquer um de seus componentes, � parte de um dispositivo de controle de polui�o?	Não		0
		Sim		250
Impacto Ambiental	Se ocorrer um vazamento, descarga, etc. devido a uma falha ou mau funcionamento do equipamento em opera�o ou durante as atividades de manuten�o, qual � o impacto ambiental mais provável?	Nenhum	Nenhum impacto ambiental	0
		Controlado	Excede o permitido (Controlado)	125
		Grave	Excede o permitido (Não controlado)	1000
Danos Colaterais � Propriedade	Se ocorrer um problema no equipamento, existe potencial de dano colateral � propriedade?	Não		0
		Sim		250
Impacto na Comunidade	Existe potencial de impacto nos bairros vizinhos ou na comunidade?	Nenhum		0
		Moderado		500
		Alto		2000

Total Meio Ambiente 4000

Crêterios de Manuten�o	Defini�o do Critério	Peso Critério	Defini�o do Peso	Pontos
Frequência de reparos	Em média, com que frequência o equipamento necessita de reparos?	Anualmente ou acima disso		0
		Semestralmente		25
		Trimestralmente		50
		Mensalmente		100
		Semanalmente		200
		Diariamente		500
Custo do Reparo (Peças de Reposi�o e Mão de Obra)	Em média, qual � o custo do reparo de um determinado equipamento?	Nenhum		0
		< \$5 000,00		100
		\$5 000,00 a \$10 000,00		200
		> \$10 000,00		500
Mão de obra	Em média, que recursos de manuten�o são necessários para consertar um determinado equipamento?	Nenhum		0
		1 pessoa		50
		2 - 5 pessoas		100
		6 ou mais		250
Equipamento de reserva (na linha)	Existe um equipamento de reserva ou um sobressalente?	Sim		0
		Não		100
Disponibilidade de Recursos (considerar fora do turno)	Qual a probabilidade dos recursos necessários para realizar o reparo estarem disponíveis quando for descoberto um problema no equipamento?	Imediata	Disponível no local de trabalho.	0
		No local, na área	<1 hora para chegar ao local	50
		No local, fora da área	<4 horas para chegar ao local	100
		Fora do local	<24 horas para chegar ao local	200
Disponibilidade de Peças Sobressalentes	Qual a probabilidade das peças necessárias para realizar o reparo estarem disponíveis quando for descoberto um problema no equipamento?	Disponível no local	>24 horas para chegar ao local	400
		Estoque fora do local	Peça no local	0
		Peças de reposi�o indisponíveis	< 4 horas para entrega	50
		Peças de reposi�o indisponíveis	<24 horas para entrega	100
	Peças de reposi�o indisponíveis	1-7 dias para entrega	500	
	Peças de reposi�o indisponíveis	>7 dias para entrega	1000	
Tempo de reparo	Em média, qual o tempo necessário para realizar o reparo?	Mínimo	<1 hora	0
		Curto	<4 horas	100
		Médio	<8 horas	200
		Longo	>8 horas	500
			Total Manuten�o	3250

Crêterios de Opera�o/Produ�o	Defini�o do Critério	Peso do Critério	Defini�o do Peso	Pontos
Parada da Produ�o	Em média, quanto de parada � gerado por uma falha ou mau funcionamento de um equipamento?	Nenhuma	Sem perdas no tempo de produ�o	0
		Minutos	< 1 hora	100
		Horas	< 8 horas	200
		Vários turnos	8-24 horas	400
		Vários dias	> 24 horas	600
�rea Afetada pela Parada	Quanto da planta � afetado por uma falha ou mau funcionamento de um equipamento?	Apenas o equipamento		0
		Vários equipamentos		75
		Várias linhas de produ�o		150
		Departamento		300
		Toda a Planta		600
Opera�o Lenta	Quanto da eficiência da produ�o � diretamente afetada pelo mau funcionamento ou falha do equipamento?	Nada	Não existe perda na capacidade de produ�o	0
		Pouco	80 % ou mais da produ�o	100
		Médio	51% a 79% da eficiência operacional	250
		Muito	50% ou menos da produ�o	400
Gera�o de Resíduos	Existe gera�o de resíduo como resultado direto de falha ou mau funcionamento do equipamento?	Não		0
		Sim		300
			Opera�o / Produ�o	1900

Clientes / Qualidade	Definição do Critério	Peso do Critério	Definição do Peso	Pontos
Aspectos de Qualidade	Existe potencial para um problema de qualidade em caso de falha ou mau funcionamento de um equipamento?	Não		0
		Sim		200
Tempo de Entrega	Existe potencial de atraso na entrega para os clientes em caso de falha ou mau funcionamento de um equipamento?	Não		0
		Sim		200
Segurança Alimentar / Ração	Se esse equipamento é um equipamento de segurança alimentar, qual o potencial de contaminação do produto?	Nenhum	Nenhuma relação com segurança alimentar/ração	0
		Médio	Detectado antes do embarque	250
		Alto	Não detectado	1000
Aspectos da Quantidade	Existe potencial de não despachar, ou de despachar quantidade menor devido a falha ou mau funcionamento do equipamento?	Não		0
		Sim		200
Clientes / Qualidade				1600

Fonte: Arquivo interno da empresa (2016).

A criticidade de cada equipamento é baseada levando-se em consideração os aspectos de segurança dos colaboradores e do patrimônio da empresa, aspectos ambientais, viabilidade e lucratividade da manutenção e da operação. Após a elaboração da planilha de pontuações verificou-se o total máximo de pontos de cada categoria e o impacto de cada uma no valor da criticidade (Tabela 2).

Tabela 2: Avaliação por categorias de criticidade.

	Total Máximo Possível de Pontos	16250
Categorias	Total Máximo de Pontos	Porcentagem Ponderada
Segurança	5500	33,8%
Meio Ambiente	4000	24,6%
Manutenção	3250	20,0%
Operações / Produção	1900	11,7%
Clientes / Qualidade	1600	9,8%

Fonte: Mirshawka e Olmedo (1993), adaptado pela empresa.

Após a elaboração da Tabela 1 foi definida a pontuação de criticidade de cada equipamento. Baseado em estudos, ficou estabelecido quais máquinas que seriam submetidas à manutenção preditiva (PdM), considerando a divisão das classes dos equipamentos relacionada à porcentagem da quantidade dos mesmos. Com a divisão da quantidade de itens foram encontrados os valores que representariam a separação dos níveis dos ativos. A estratégia de manutenção de cada classe ficou determinada conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Criticidade dos Pontos de Quebra.

Categoria do Ponto de Quebra	Valor da Criticidade do Ponto de Quebra	Regra do PdM
Crítico (Aproximadamente os primeiros 10%)	>3675	Todas as atividades de PdM recomendadas, com base no tipo de equipamento, serão realizadas.
Essencial (Aproximadamente 35%)	2725 a 3675	As atividades de PdM serão realizadas, a menos que seja considerada pouco eficaz em termos de custo.
Não Essencial (Aproximadamente 50%)	1175 a 2725	As atividades de PdM não serão realizadas, a menos que exista um estudo de caso justificando sua aplicação.
Rodar até falhar (Aproximadamente menos de 5%)	<1175	As atividades de PdM não serão realizadas.

Fonte: Tavares (2007), adaptado pela empresa.

Após a definição das classes e da criticidade de cada equipamento foram definidos os tipos de manutenção e os métodos que seriam realizados em cada ativo. Cada equipamento recebeu o símbolo de sua criticidade seguindo a sequência de “A” a “D”, sendo “A” o mais crítico e “D” o menos crítico. Com isso, foi estabelecida uma estratégia para a priorização dos equipamentos (Tabela 4):

Tabela 4: Métodos de manutenção adotados

Prioridade do Equipamento	Tipos de Manutenção	Métodos de Manutenção a serem adotados
A > 3675 (Alta Criticidade)	Manutenção Baseada no Tempo e na Condição	<ul style="list-style-type: none"> • Lubrificação (se for o caso) • Inspeção • Manutenção Preventiva • Manutenção Preditiva
B 2725 até 3675 (Média Criticidade)	Manutenção Baseada no Tempo e na Condição	<ul style="list-style-type: none"> • Lubrificação (se for o caso) • Inspeção • Manutenção Preditiva
C 1175 até 2725 (Baixa Criticidade)	Manutenção Baseada no Tempo	<ul style="list-style-type: none"> • Lubrificação (se for o caso) • Inspeção
D < 1175 (Podem produzir até a falha)	Manutenção Baseada no Tempo	<ul style="list-style-type: none"> • Lubrificação (se for o caso)

Fonte: Tavares (2007), adaptado pela empresa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a implantação da estratégia de manutenção e a priorização dos equipamentos definida, iniciou-se a coleta de dados para análise de vibração dos equipamentos de criticidade “A” e “B”. Com isso, a equipe de manutenção começou a planejar as intervenções que seriam feitas nos equipamentos da fábrica.

Seguem abaixo os relatórios pós-intervenção realizados pela equipe de planejamento

1. Equipamento: Motor do DT-3010 - Criticidade: A (7050 pontos)

O equipamento DT-3010 é um dessolventizador e tostador de farelo de soja. O mesmo opera no meio industrial em duas etapas e é responsável pela remoção do solvente hexano que foi misturado no início do processo produtivo para extração do óleo da soja. Na primeira etapa ocorre a dessolventização, onde o vapor superaquecido entra em contato direto com a pasta de soja visando à separação da maior parte de hexano que ficou retida durante a operação de extração. Na segunda etapa ocorre a tostagem, onde o vapor saturado entra em contato indireto com o farelo de soja, permitindo a evaporação do restante de hexano e promovendo um tratamento para destruir algumas enzimas prejudiciais à digestibilidade. O equipamento DT-3010 é apresentado na Figura 5.

Figura 5: Dessolventizador e tostador DT-3010



Fonte: Arquivo interno da empresa (2016).

O equipamento apresentado na Figura 5 é responsável por grandes linhas de produção e tem como componente um motor elétrico com 250 CV de potência. Por se tratar de uma máquina de grande complexidade e importância para a empresa, a mesma se encaixou na classe de criticidade “A”.

O primeiro gráfico apresentado na Tabela 5 foi construído utilizando a técnica do envelope de aceleração de alta frequência. Foi utilizado esse método porque devido à rotação do motor, as falhas de rolamentos são apresentadas dentro da faixa de frequência utilizada. O eixo Y do gráfico representa a amplitude da vibração dada em g RMS. O eixo X do gráfico representa a frequência e o intervalo utilizado é de 0-1000 Hz. O segundo gráfico representa a tendência de evolução da falha onde o eixo Y representa a amplitude da vibração e o eixo X o intervalo de tempo.

Tabela 5: Relatório de intervenção DT-3010

Relatório de Intervenção - Manutenção Preditiva						
Empresa:						
Data de Emissão:	24/10/2016	Data da Medição:	24/10/2016			
Área/Setor	Equipamento		Número / OS	RI-MP 17		
EXTRAÇÃO	DT3010		0200PD			
Descrição da Falha encontrada						
Elemento	Falha Encontrada			Especificação	Posição	
MOTOR	FALHA DE PISTA EXTERNA (BPFO)			ROLAMENTO	LA	
CURVA DE TENDÊNCIA						
HISTÓRICO DE CONDIÇÃO						Prioridade de Conserto
Mês / data	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Analista:						Admissível

Fonte: Arquivo pessoal da empresa (2016).

Realizando o acompanhamento da evolução da condição do motor do DT-3010, foi diagnosticada uma brusca evolução nos níveis de vibração, com picos característicos de falha de pista externa (BPFO) no rolamento 6322C3, mancal do lado acionado do motor.

Devido falta de disponibilidade de parada, foi iniciada a monitoração do motor duas vezes ao dia e sempre que havia evolução, era realizada uma nova lubrificação nos rolamentos para que fosse possível aguardar uma parada programada.

Apesar do equipamento não apresentar o alarme mais crítico da falha, que é representada pela cor vermelha, a intervenção foi necessária devido à importância, à elevada criticidade e possibilidade de evolução brusca do defeito. Foi programada uma parada para realizar a intervenção e após a análise do equipamento, a equipe técnica de manutenção realizou a substituição dos rolamentos do motor. Foi verificando também as possíveis folgas ou desgastes excessivos nas tampas do motor e realizado o alinhamento à laser do conjunto.

Após a intervenção, em estudo do caso, a equipe realizou o corte do rolamento para verificação do estado do componente, sendo constatado que havia marcas de desgaste na pista externa do rolamento 6322C3, como pode ser visto nas Figuras 6 e 7:

Figura 6: Pista externa do rolamento



Fonte: Arquivo interno da empresa (2016).

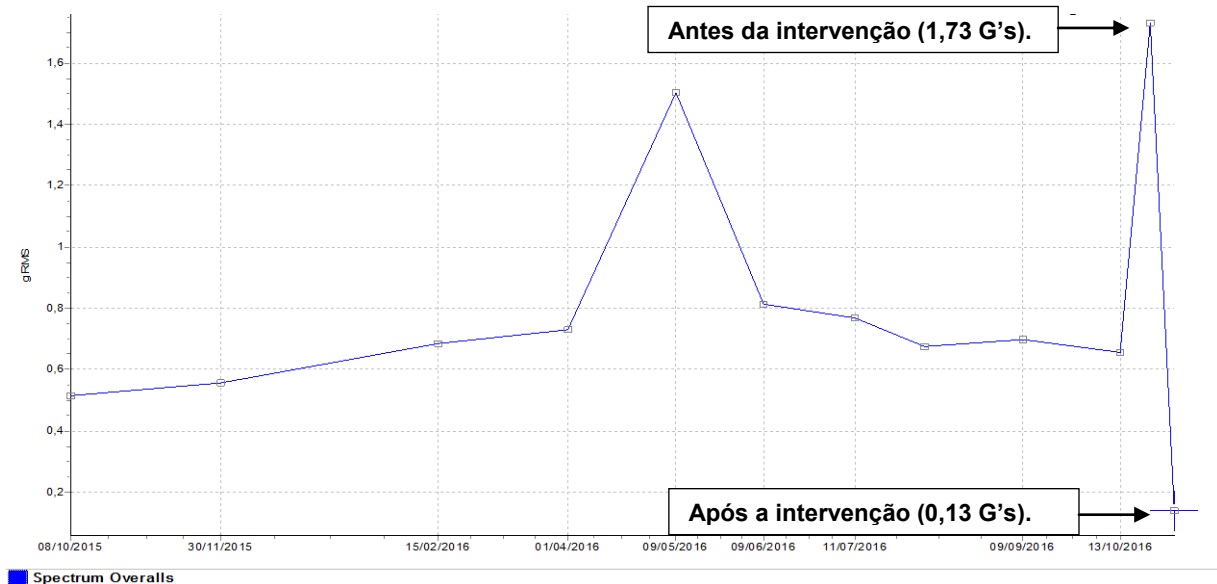
Figura 7: Detalhes da pista externa do rolamento



Fonte: Arquivo interno da empresa (2016).

Após a intervenção foi realizado um novo monitoramento a critério de comparação e foi possível observar que os níveis de amplitude de vibração reduziram 13 vezes, como pode ser observado no gráfico de tendência à evolução de falhas demonstrado na Figura 8.

Figura 8: Tendência da evolução do equipamento DT 3010 Motor – Mancal (LA-horizontal. Acl Espec 10000 Hz 3200L – Spectrum Overalls).



Fonte: Arquivo interno da empresa (2016).

O gráfico da Figura 8 mostra a evolução da tendência de falhas por meio da amplitude da aceleração dos sinais de vibração. Essa evolução é analisada em relação ao tempo de operação do equipamento. Antes da intervenção da manutenção os níveis de aceleração para o rolamento em questão estavam altos, alcançando o valor de 1,73 G's. Após a intervenção os níveis de aceleração reduziram consideravelmente, chegando ao valor de 0,13 G's, que é um valor adequado para o funcionamento do rolamento. Analisando o gráfico é possível perceber que a evolução da tendência de falhas também sofreu uma elevação na amplitude em um intervalo de tempo anterior, por isso a nova intervenção foi necessária.

2. Equipamento: Bomba BO-4272 - Criticidade: B (2800 pontos)

Essa bomba é um equipamento importante para a fábrica, pois é responsável pelo transporte de miscela, que é uma mistura de óleo de soja e hexano. A bomba citada trabalha para abastecer o dessolventizador e tostador, porém não tem a mesma criticidade do mesmo.

Essa bomba é um equipamento que, apesar de sua importância, não é tão crítico para a empresa, pois existem diversas delas e a parada de um equipamento ocasiona apenas a redução da produção. Portanto, é um equipamento considerado como criticidade "B" e, segundo a Tabela 4, também foi monitorado periodicamente.

Os gráficos elaborados no relatório de intervenção da Tabela 6 foram construídos da mesma maneira daqueles apresentados na Tabela 5. Isso pode ser feito porque também são investigadas falhas em rolamentos e os passos para detecção desses defeitos são os mesmos.

Analisando os espectros de frequência da bomba BO-4272 foi diagnosticado que o equipamento apresentou uma brusca evolução nos níveis de aceleração (12,5 g RMS), com evidência característica de falha nos elementos rolantes (BSF). Isso pode ser observado analisando a Tabela 6.

Tabela 6: Relatório de intervenção BO-4272

Relatório de Intervenção Manutenção Preditiva						
Empresa:						
Data de Emissão:	24/08/2016	Data da Medição:	23/08/2016			
Área/Setor	Equipamento		Número	OS	RI-MP 40	
SPC/ BOMBAS	BO 4272			0213 PD		
Descrição da Falha encontrada						
Elemento	Falha Encontrada			Especificação	Posição	
BOMBA	ELEMENTOS ROLANTES (BSF)			ROLAMENTOS	LA/LOA	
CURVA DE TENDÊNCIA						
<p>BO 4272 BOMBA - MANCAL LA - Horizontal [X] - Demod Spec (1-10kHz) 1000 Hz 23/08/2016 16:03:24 O/Tds 3,037 g RMS</p> <p>BO 4272 BOMBA - MANCAL LA - Horizontal [X] - Demod Spec (1-10kHz) 1000 Hz 23/08/2016 16:03:24 O/Tds 3,037 g RMS 1760 RPM</p> <p>Demod Spectrum Overallts</p>						
HISTORICO DE CONDIÇÃO						Prioridade de Conserto
Mês / data	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Analista:						Insatisfatório

Fonte: Arquivo interno da empresa (2016).

O equipamento apresentou o alarme mais crítico da falha, que é representada pela cor vermelha. Foi possível esperar essa condição por se tratar de uma máquina que não é tão crítica para a empresa. Foi solicitado pela gestão de manutenção apenas a parada da bomba, resultando em uma redução de produção para realizar a intervenção.

A equipe técnica recomendou a substituição dos rolamentos da bomba, assim como a realização do alinhamento à laser do conjunto. Ao abrir a bomba verificou-se que o rolamento

citado estava com desgastes nos elementos rolantes e na pista externa, como é mostrado nas Figuras 9 e 10:

Figura 9: Elementos rolantes



Fonte: Arquivo interno da empresa (2016).

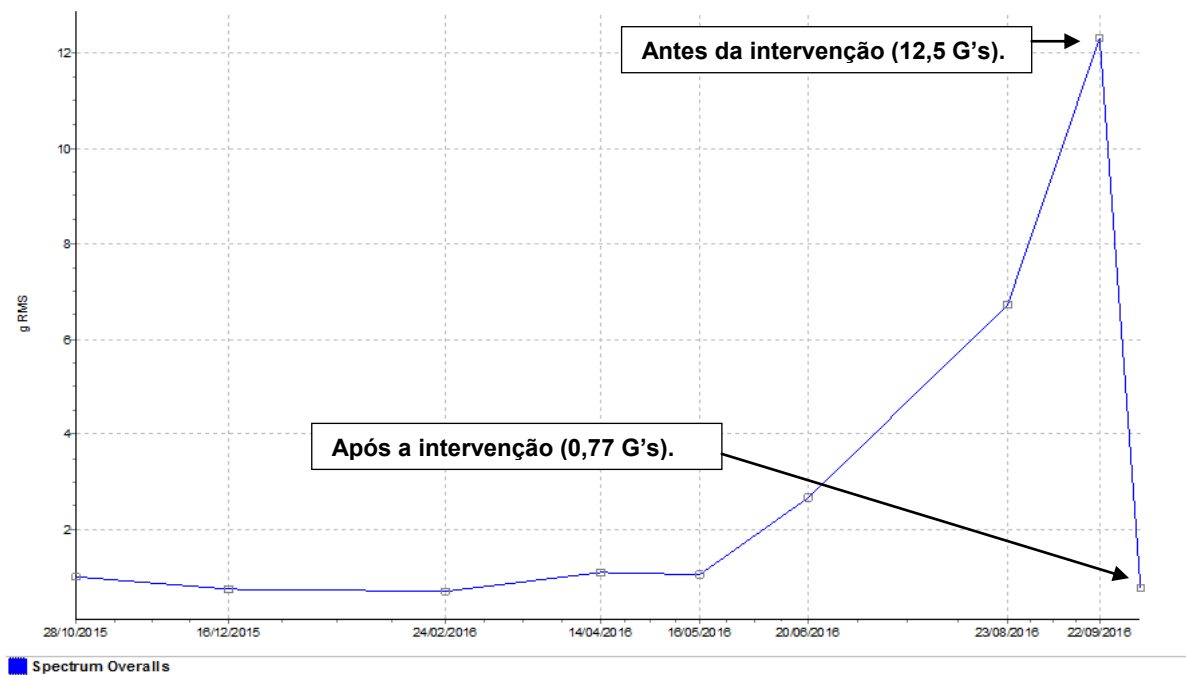
Figura 10: Pista externa do rolamento



Fonte: Arquivo interno da empresa (2016).

Após a intervenção, analisando o gráfico de tendência à evolução da falha, verificou-se que os níveis da amplitude de vibração reduziram 16 vezes, tornando assim o equipamento pronto para um funcionamento adequado (Figura 11).

Figura 11: Tendência da evolução do equipamento BO 4272 Bomba – Mancal (LA-horizontal. Acl Espec 10000 Hz 3200L – Spectrum Overalls).



Fonte: Arquivo interno da empresa (2016).

O gráfico da Figura 11 também mostra a evolução da tendência de falhas por meio da amplitude da aceleração dos sinais de vibração. Essa evolução é analisada em relação ao tempo de operação do equipamento. Antes da intervenção os níveis de aceleração da vibração estavam bastante elevados, atingindo o valor de 12,5 G's. Após a intervenção os níveis reduziram consideravelmente, chegando ao valor de 0,77 G's. Os novos rolamentos trocados estavam trabalhando com níveis de aceleração adequados para o bom funcionamento.

6 CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho conduziu às seguintes conclusões:

1. Melhor compreensão dos conceitos dos principais tipos de manutenções aplicados na indústria.
2. O conhecimento do histórico de manutenção do componente é fundamental para o planejamento de futuras intervenções.
3. A busca por conceitos inovadores dentro da manutenção proporciona o aumento da produção industrial.
4. O cadastro de ativos da empresa baseados na criticidade dos equipamentos contribui para a priorização da manutenção.
5. O planejamento adequado dos tipos de manutenção que serão aplicados a cada equipamento previne falhas e evita o desperdício de mão de obra.
6. A análise de vibração é uma técnica essencial para a manutenção preditiva, proporcionando a detecção de falhas antes da quebra do equipamento.
7. Seguir rigorosamente os planos de manutenção baseados em confiabilidade é fundamental para se obter maior controle dos equipamentos presentes na fábrica.

Por meio deste trabalho realizado, foi possível demonstrar que a manutenção centrada na confiabilidade objetiva a eficácia dos equipamentos e o bom funcionamento de toda organização voltada à produção. Para se chegar a um diagnóstico com maior precisão e em tempo hábil para realizar uma manutenção preditiva ou preventiva de forma a realizar uma manutenção de confiabilidade é necessário manter um histórico dos equipamentos ou componentes. É preciso organização para que todos os dados estejam disponíveis e sejam seguidos regularmente um cronograma de trabalho das manutenções preditivas a serem realizadas. No processo de confiabilidade da manutenção, a análise de vibração, é um recurso utilizado na manutenção de forma preditiva, aliada a análise documental de cada equipamento e no histórico de suas manutenções para que se possam obter informações mais confiáveis para a análise e para alcançar diagnósticos mais precisos, realizando manutenções mais eficazes e confiáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - NBR-5462. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BACKLUND, Fredrik. **Gerenciando a Introdução de Manutenção Centrada na Confiabilidade**: como um método de trabalho dentro das organizações. Lulea, 2003.

CASTELLA, Marco César. **Análise Crítica da Área de Manutenção em uma Empresa Brasileira de Geração de Energia Elétrica**. Florianópolis: UFSC, 2001.

DHILLON, B. S.. **Manutenção e confiabilidade para Engenheiros**. 1^a. ed. New York: CRC Press, 2006.

GARZA, Luiz. **Estudo de Caso da Aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) na Aquisição do Veículo Avançado de Assalto Anfíbio (AAAV)**. Naval Postgraduate School, United States Navy. California, 2002.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. Editora Atlas: São Paulo, 1996.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 2^a Edição, Rio de Janeiro, Editora Qualitymark Ltda, 2009.

_____. **Gestão Estratégica e Indicadores de Desempenho**. Coleção Manutenção. Qualitymark Editora, Rio de Janeiro: 2006.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Qualitymark: Petrobras. Rio de Janeiro, 2001.

LIMA, W. C., SALLES, J. A. A. **Manutenção Preditiva: Caminho para a Excelência e Vantagem Competitiva**. 2008 Disponível em:

< www.unimep.br/phpg/mostracademica/anais/4mostra/pdfs/616.pdf.> . Acessado em 10 de março de 2017.

MELO, A. M. Identificação de falhas em sistemas rotativos empregando técnicas não lineares. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <www.ebah.com.br/.../identificacao-falhas-empregando-analise-vibracao>. Acessado em 17 de abril de 2017.

MIRSHAWKA, Victor e OLMEDO, Napoleão Lopes. **Manutenção: Combate aos custos da não eficácia, a vez do Brasil.** São Paulo: Editora MAKRON Books Mac Graw Hill, 1993.

MOUBRAY, J. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade.** São Paulo: Aladon, 1997.

NEPOMUCENO, L. X. Técnicas de Manutenção Preditiva. Vol. 1, São Paulo: Blucher, 1989.

NSK *Bearing Doctor*. **Diagnóstico Rápido de Ocorrências em Rolamentos.** NSK BRASIL LTDA. São Paulo, 2001. Disponível em: <www.nsk.com.br/upload/file/B08.pdf>. Acessado em 10 de maio de 2017.

PATTON Jr., J. D. **Manutenção e Gestão de Manutenção Instrumento da Sociedade da América.** 1983.

PONCI, L. P.; CUNHA, P. M. R.. **Previsão de Falha de Rolamentos por Análise Espectral e de Envelope.** Teknikão, 2005.

REIS R. , ASMAR P. , ARRUDA E. , LAMIM P. , BRITO J.. **Detecção de Falhas em Mancais de Rolamento Através da Técnica de Envelope e Transformada Wavelet.** Porto Alegre, 2011.

SIQUEIRA, I. P. de. Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: 1^aed. Qualitymark Ltda., 2009. Disponível em: <www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/27522/000765303.pdf?...1>. Acesso em 25 de março de 2017.

SOUZA, S. S.; LIMA, C. R. C.. Manutenção Centrada em Confiabilidade como ferramenta estratégica. **XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção**. Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003.

TAVARES, Lourival. **Administração Moderna de Manutenção**. Editora Konekta Edições. 2007.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM – Planejamento e Controle de Manutenção**. 1^a Edição, Rio de Janeiro, Editora Qualitymark, 2002.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. A. **A Máquina que mudou o mundo**. São Paulo: Campus, 1992.

XENOS, Harilaus G. P.. **Gerenciando a manutenção: Controle de Qualidade**. 1^a. ed. São Paulo: INDG Tec S, 2004.

ⁱ Disponível em: <https://www.atecorp.com/products/commtest/vb5>

ⁱⁱ Disponível em: <http://www.skf.com/binary/49-267858/CM-P1-11604-14-EN-Vibration-Sensor-Catalog.pdf>

ⁱⁱⁱ Disponível em: <http://www.nvms.com.au/wp-content/uploads/2014/10/Ascent-Reference-Guide.pdf>

^{iv} Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABRSUAD/iniciacao-estudo-vibracoes-mecanicas>