

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE ESPECIALIZAÇÃO EM GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO

RONALDO JOSÉ COUTINHO

**OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS COM A APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE
MANUTENÇÃO PREDITIVA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

RONALDO JOSÉ COUTINHO

**OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS COM A APLICAÇÃO DE TÉCNICAS
DE MANUTENÇÃO PREDITIVA**

Monografia de conclusão de curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade, da Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gerência de Manutenção.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

CURITIBA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS COM A APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO PREDITIVA

por

RONALDO JOSÉ COUTINHO

Esta Monografia foi submetida em vinte e oito de março de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Gerência de Manutenção. O candidato foi avaliado pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.
Coordenador de Curso

ORIENTAÇÃO

Ubirajara Zoccoli, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Marcelo Rodrigues, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Emerson Rigoni, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, minha esposa e familiares, meus agradecimentos pelo incondicional incentivo e apoio. A Deus, pela sabedoria, saúde e inspiração.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Rodrigues, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala pela experiência profissional compartilhada

A Secretaria do Curso, pela cooperação e auxílio aos alunos.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste levantamento de informações da monografia.

“O êxito da vida não se mede pelo caminho que você conquistou, mas sim pelas dificuldades que superou no caminho”. (Abraham Lincoln, ...)

RESUMO

Coutinho, Ronaldo J. **Otimização de Cursos com a Aplicação de Técnicas de Manutenção Preditiva**. 2017. 36 Páginas, Monografia da Especialização em Gerência de Manutenção - Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR 2017.

A busca pela melhoria contínua na gestão industrial exige dos gestores uma postura pró ativa tanto para os processos internos como para os externos em que a empresa esteja envolvida. Para tanto se faz necessário estar sempre atualizado em relação as novas técnicas de manutenção e de gestão. As empresas sabem que o sucesso e a excelência empresarial são baseados na criação de valores que se efetiva a partir de iniciativas, decisões, ações de seus gestores. Este trabalho tem por finalidade demonstrar a aplicação de técnicas de manutenção preditivas em uma central de água gelada, visando à racionalização das estratégias e dos gastos com manutenções. Neste caso se fez a análise da aplicação de técnicas preditivas com a contratação de empresas terceiras para garantir a disponibilidade do sistema com base na confiabilidade das inspeções realizadas. Com o estudo foi possível quantificar os custos direcionados as ações preditivas comparadas com eventuais falhas do sistema de resfriamento de água que exige uma disponibilidade de no mínimo 90%.

Palavras-chave: Manutenção Preditiva. Análise Ferrográfica. Análise Termográfica. Análise de Vibração. Central de água gelada.

ABSTRACT

COUTINHO, Ronaldo J. **Optimization of Courses with the Application of Predictive Maintenance Techniques.** 2017. 36 Pages, Monografia da Especialização em Gerência de Manutenção - Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR 2017.

The search for continuous improvement in industrial management requires managers to be proactive in both the internal and external processes in which the company is involved. For this, it is necessary to be always up-to-date in relation to the new maintenance and management techniques. Companies know that success and business excellence are based on the creation of values that are effective from initiatives, decisions and actions of their managers. The objective of this work is to demonstrate the application of predictive maintenance techniques in a cold-water plant, aiming at the rationalization of strategies and maintenance costs. In this case, the analysis of the application of predictive techniques was performed with the contracting of outsourced companies to guarantee the availability of the system based on the reliability of the inspections carried out. With this study, it was possible to quantify the costs directed to the predictive actions compared to eventual failures of the water cooling system that requires an availability of at least 90%.

Keywords: Predictive Maintenance. Ferrography Analysis. Thermographic Analysis. Vibration Analysis. Cold-water center.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gestão estratégica	25
Figura 2 - Componentes de um programa de RCM	27
Figura 3 - Tipos de Manutenção.....	28
Figura 4 – Central de resfriamento de água.....	33
Figura 5 - Pontos de Medição de Vibração	37
Figura 6 - Pontos de Medição de Vibração	37
Figura 7 - Pontos de Medição de Vibração	38
Figura 8 - Imagem ferográfica	40
Figura 9 – Pontos de coleta de óleo.....	41
Figura 10 - Análise termográfica	42
Figura 11 - Imagem termográfica	44
Figura 12 - Imagem termográfica	45

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DO AQUECIMENTO.....	48
QUADRO 2 – INVESTIMENTO DE ANALISE DE PREDITIVAS.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Disponibilidade central de agua gelada	51
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA	15
1.1.1 Delimitação do Tema	16
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	16
1.3 OBJETIVOS	18
1.3.1 Objetivo Geral	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	18
1.4 JUSTIFICATIVA	18
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO E SEUS TIPOS	21
2.1.1 MANUTENÇÃO E A TERMOGRAFIA.....	26
2.1.2 Manutenção centrada na confiabilidade	26
2.1.3 Tipos de manutenção	28
2.1.4 Manutenção corretiva	29
2.1.5 Corretiva imprevista	29
2.1.6 Corretiva programada	29
2.1.7 Manutenção preventiva.....	30
2.1.8 Detectiva	30
2.1.9 Engenharia de Manutenção	30
2.1.10Manutenção Preditiva.....	31
3 AMBIENTE EXPLORADO	32
4.AS TÉCNICAS AVALIADAS NO ESTUDO	34
4.1ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	34
4.2 ANÁLISE FERROGRÁFICA	38
4.2.1 Análise termográfica.....	42
4.2.2 Radiação térmica.....	45
4.2.3 Emissividade	45
4.2.4 Critério Flexível de Classificação de Aquecimentos (CFCA).....	46
4.2.4.1Falha Iminente - Situação Crítica	46
4.2.4.2 Falha Potencial - Intervenção Imediata	47
4.2.4.3 Falha Provável - Intervenção Programada	47
4.2.4.4 Suspeita de Falha – Observação	47
4.2.4.5 Normal.....	47
4.2.5 Fator de Risco ao Sistema Produtivo (RSP).....	47
4.3 CÂMERAS TERMOGRÁFICAS	48
4.3.1 Tipos de câmeras	48
4.3.1.1 Temperatura Pontual.....	49
4.3.1.2 Isoterma	49
4.3.1.3 Perfil térmico.....	49

4.3.1.4 Seleção de amostra.....	49
4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	49
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS/CONCLUSÃO	53
5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A função manutenção, dentro dos processos industriais, desenvolve um papel muito importante para o suporte da produção industrial. Este impacto de verifica diretamente quando ao se observar as questões relacionadas à disponibilidade de máquinas e equipamentos, bem como, a própria garantia da confiabilidade no processo produtivo. Para se atingir a excelência desta função, se faz necessário que seus modelos de gestão estejam sempre se atualizando e buscando novas técnica e tecnologias que auxiliem a tomada de decisão dos gestores.

Na atual escalada de competitividade industrial não se tem margem para amadorismos gerenciais. Esta realidade tem levado as empresas a buscar cada a cada dia seus melhores resultados. Neste cenário em que é exigido uma constante evolução de todos os setores integrantes das organizações, a manutenção deve se posicionar de uma forma proativa sempre em sintonia com as novas tecnologias que se apresentam. Neste trabalho será discutido alguns dos avanços e os desafios associados que o setor de manutenção tem sentido nestes últimos anos com relação a maneira de se trabalhar algumas questões gerenciais envolvidas nas dinâmicas associadas a prática da manutenção preditiva. A competitividade atual está exigindo altas performances dos equipamentos e instalações ligados à produção, mas sempre associados aos menores custos possíveis de manutenção.

Na literatura é possível encontrar diferentes classificações sobre as políticas de manutenção, mas usuais no meio industrial (KARDEC, 2015; TAVARES, 2001; NASCIF e DORIGO, 2010; RODRIGUES, 2010). Estas formas de gestão e tecnologias operacionais disponibilizadas no decorres dos anos também são classificadas de forma a apresentar uma evolução dos sistemas.

Dentre os principais tipos de manutenção existentes, manutenção corretiva, preventiva e preditiva, encontram-se algumas das modernas técnicas e métodos de monitoramento e controle de intervenções para manutenção. Uma dessas técnicas que é abordada neste trabalho é a termográfica infravermelha, técnica que tem sido amplamente difundida e utilizada com perspectivas positivas para resultados mais eficientes para a manutenção dos processos produtivos críticos. A aplicação da técnica de termográfica infravermelha se utiliza da análise da radiação térmica

emitida por um corpo. A abordagem dentro deste trabalho tem o objetivo de estudar aplicações de manutenção preditiva, através do monitoramento de equipamentos e as respectivas anomalias decorrentes da operação ininterrupta dentro de um processo de produção (RODRIGUES , 2010).

Abordando mais especificamente uma das maneiras de realizar manutenção, a preditiva, existindo técnicas, dentre outras disponíveis, que permite a detecção de problemas em equipamentos em um estágio prematuro. Dentre as técnicas mais conhecidas relacionadas com a manutenção preditiva se destacam a termografia (análise térmica), análise de vibração e análise de óleo. A manutenção preditiva é a primeira grande quebra de paradigma na forma de atuação da manutenção. Com ela se intensifica a busca por mais conhecimento tecnológico e possibilidades de análise exigindo cada vez mais o desenvolvimento de novos equipamentos de forma a permitir uma avaliação confiável das instalações e sistemas operacionais em funcionamento. Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através do acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade é o de prever as condições dos equipamentos. Em outras, palavras podemos afirmar que a manutenção preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo (KARDEC e NASCIF, 2013).

Dentro do processo produtivo a técnica de termográfica pode ser utilizada para verificação e monitoramento de pontos quentes em painéis elétricos, transformadores, conexões, fios e cabos. Também para analisar as condições de sistemas mecânicos, tais como correias, devido ao aquecimento das polias, Ainda essas análises podem ser estendidas para os casos de tubulações que apresentam incrustações, que impedem a passagem de produtos, assim como válvulas e conexões danificadas, interligada nessas tubulações.

Este trabalho tem por finalidade demonstrar a aplicação de técnicas de manutenção preditivas, em uma central de água gelada, visando à racionalização de gastos com manutenções desnecessárias, bem como direcionando a área de manutenção nas ações subsequentes e garantindo a confiabilidade de painéis elétricos, bombas de circulação de água, torres de resfriamento e chiller.

1.1 TEMA

A importância de realizar a Gestão dos Indicadores de Manutenção, bem como a disponibilidade nas Utilidades Industriais é o grande alvo de todas as empresas que buscam a competitividade é a eficiência do processo, que este é diretamente proporcional a sua produtividade, ao contrário, surgem elevados custos de produção em consequência impactos no produto acabado. A Gestão de Indicadores contribui significativamente para que sejam traçadas estratégias a fim de racionalizar recursos, sejam eles diretamente ligados a mão de obra e/ou peças de reposição.

Nas organizações industriais a manutenção assume um papel relevante no aumento da produtividade e da qualidade dos produtos. Pelo fato da manutenção industrial aplicar parte dos recursos financeiros da empresa para consertar e manter a disponibilidade dos equipamentos, antigamente havia-se o paradigma de que a manutenção era apenas uma consumidora, muitas vezes até chamada no linguajar fabril de um “mal necessário”.

Conforme pesquisa da Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN), no ano de 2015, com empresas brasileiras, os custos com manutenção impactaram em cerca de 3,5% em média do faturamento anual das empresas. A princípio pode-se pensar que se trata de gastos aplicados que não trazem um retorno direto, porém esta visão já está ultrapassada. Se executada de maneira eficiente, tomando como cenário uma indústria de processos, o aumento na disponibilidade da produção é evidente, como se verifica em publicações e congresso nacionais e internacionais. De acordo com Pinto & Ribeiro (2002) esta nova visão da manutenção e sua contribuição estão ligadas diretamente ao core business da organização. O enfoque da gestão atual é se de atuar evitando a quebra do equipamento e a perda de produção, ao contrário do paradigma de que a execução de um bom reparo significava sucesso na manutenção (PINTO & RIBEIRO, 2002). O que de fato é uma visão um tanto quanto restrita.

Aplicação da metodologia RCM ou Manutenção Centrada em Confiabilidade, é um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que seus usuários querem que ele faça, no seu contexto operacional presente (MOUBRAY, 2000).

A manutenção preditiva, também denominada por monitorização da condição ou manutenção baseada na condição, avalia o estado real dos equipamentos com recurso a equipamentos específicos, tendo por finalidade ajustar o planeamento da manutenção preventiva, detectar precocemente possíveis falhas, evitar o surgimento de problemas complexos e proporcionar a tomada de decisões com base em dados reais.

Já a norma NP EN 13306:2007 define manutenção preditiva como “manutenção condicionada efetuada de acordo com as previsões extrapoladas da análise e da avaliação de parâmetros significativos de degradação do equipamento”. (MOBLEY, 2002) define manutenção preditiva como uma regular monitorização do atual estado das condições mecânicas, eficiência de operação, e outros indicadores, de forma a proporcionar dados que assegurem o máximo intervalo entre reparações e minimizem o número e custo das paragens não agendadas. Resumindo, pode-se definir manutenção preditiva ou monitorização condicionada como um conjunto de tarefas de manutenção efetuadas com recurso a equipamentos de medição, em que é possível medir os parâmetros físicos imanados por componentes, equipamentos e/ou sistemas. Os dados obtidos são usados para a avaliação da condição do equipamento em análise e como apoio na decisão de medidas corretivas a efetuar, caso necessário.

1.1.1 Delimitação do Tema

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Programar e fazer a gestão do plano de manutenção preditiva, tanto no que se refere à eficiência dos equipamentos, bem como nos custos, pois o formato que era trabalhado pela manutenção no passado era de acordo com as especificações encontradas no manual do fabricante ou de acordo com o conhecimento adquirido pela equipe de manutenção que era a responsável pela gestão destes equipamentos.

O sistema em análise envolve várias unidades operacionais, com características de equipamentos, gestão da manutenção, equipe de manutenção distinta e devem atuar de forma integrada para proporcionar o correto funcionamento do sistema da central de água gelada.

A maioria dos equipamentos tem mais de 10 anos de operação, os fornecedores de peças são exclusivos, geralmente os custos de manutenção são altos, e os tempos perdidos em função de logística de peças, equipamentos, podem ser consideravelmente grandes principalmente quando se trata de compressores de refrigeração.

Por isso foi implementado a plano de manutenção preditiva, pois o formato que era trabalhado pela manutenção no passado era de acordo com as especificações encontradas no manual do fabricante ou de acordo com o conhecimento adquirido pela equipe de manutenção que era a responsável pela gestão destes equipamentos.

O problema que foi verificado com este estudo, onde o manual do fabricante solicita a troca de alguma peça ou componente, por um período de uso ou tempo de funcionamento, não relatando as condições de funcionamentos, nem o formato de carregamento de compressores, onde o mesmo tem por funcionamento o carregamento do equipamento por etapas, sendo, o inicial de 25% depois carregando de modo distinto até completar o seu carregamento pleno de 100% de plena carga, onde foram inseridas as técnicas e realizado o acompanhamentos dos relatórios e realizados as tratativas referente à manutenção de acordo que os problemas são verificados e mencionados via relatório.

A melhoria da produtividade é o grande alvo de todas as empresas que buscam se tornar competitivas. Quanto melhor for o processo produtivo de uma empresa, maior será a sua produtividade, pois caso o contrário teremos elevados custos de produção, com conseqüente repasse desses custos para o preço final do produto, por isso a gestão dos custos de manutenção e a diminuição da parada de produção contribuem para este sucesso.

Segundo Kardec e Nascif (2013), as atividades de manutenção nas últimas décadas passaram e têm passado por mais mudanças signifivativas .

Estas alterações são conseqüências de:

- aumento do número e diversidades dos itens físicos (instalações, equipamentos e
- edificações);
- projetos muito mais complexos;
- novas técnicas de manutenção;

- novos enfoques sobre a organização da manutenção e suas responsabilidades.

De modo que o problema a ser resolvido pode ser sintetizado pelas seguintes perguntas:

- Como se controlar a contratação e implementação da manutenção preditiva tanto tecnicamente como em relação aos custos?

1.3 OBJETIVOS

Para realização deste trabalho foram construídos os seguintes objetivos:

1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar um estudo sobre quais os critérios que auxiliam na avaliação da viabilidade da aplicação de técnicas de manutenção preditiva em uma central de água gelada, tendo em vista o cenário de uma indústria do setor automotivo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Levantar quais são os requisitos básicos que foi projetado para o sistema avaliado;
- Apresentar as técnicas preditivas aplicadas ao sistema da central de água gelada;
- Comparar custos das técnicas preditivas;
- Verificar o custo da parada do sistema da central de água gelada;
- Comparar os custos da contratação de serviços externos com os custos de parada do sistema.

1.4 JUSTIFICATIVA

A escolha deste sistema foi devido a necessidade de manter a disponibilidade e a confiabilidade deste processo que no ano de 2014, foi de 82%, e teve uma meta para o ano de 2015 acima de 90%, respeitando parâmetros do processo, que hoje

estão previamente setados em setpoint de temperatura da água em 8°C, com uma pressão de 8 bar, uma vez que os equipamentos são de média capacidade.

A parada dos mesmos por uma falha implica diretamente na disponibilização de cabines para a área de pintura da empresa.

As aplicações técnicas de manutenção preditiva possuem no meio industrial um espaço que vem se difundindo tanto quanto as aplicações quanto aos próprios resultados. É importante trazer para o meio acadêmico a discussão das suas funções como ferramenta técnica, bem como suas contribuições dentro de todo o contexto da manutenção industrial.

Este trabalho aborda a importância de se disseminar as premissas e conceitos envolvidos na manutenção preditiva, principalmente com a visão dos principais modos de falhas ocorridos com estes equipamentos. Outro aspecto deste trabalho é também auxiliar nas tomadas de decisão dos profissionais e gestores da manutenção que trabalham com válvulas de controle. Realizar a gestão do plano de manutenção preditiva, realizar a tratativas dos relatórios, bem como garantir a integridades dos equipamentos e mantendo a central de água gelada em seu pleno funcionamento, garantindo a disponibilidade da mesma em 90% de disponibilidade.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Definido o problema norteador do presente trabalho, motivado pelo contexto anteriormente descrito, a pesquisa proposta será aplicada, pois objetiva primordialmente a solução de um problema real, um estudo de caso.

Segundo Marconi e Lakatos (2004), estudo de caso refere-se ao levantamento de um determinado caso sob todos os seus aspectos, porém, limitado ao caso que estuda, não podendo ser generalizado. Reúne o maior número de informações detalhadas com diferentes técnicas de pesquisa, visando apreender uma determinada situação e descrever a complexidade de um fato. Para Triviños (1987), pode ser definido como sendo uma categoria de pesquisa cujo objetivo é uma unidade que se analisa profundamente.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo inicial apresenta o tema do trabalho, sua delimitação, os objetivos e as justificativas para o seu desenvolvimento, bem como a definição dos métodos adotados e a sequência das atividades.

- No capítulo 2, será apresentado o referencial teórico de engenharia de confiabilidade que norteará a pesquisa, o qual no presente estudo, é o crescimento da confiabilidade.

- O capítulo 3, será descrito a planta onde foi realizado o estudo, os principais equipamentos e funções.

- O capítulo 4 consiste no desenvolvimento do trabalho, a coleta de dados de paradas por falhas da Máquina de Sinterização e o tratamento e o processamento desses dados.

- O capítulo 5 conterà a conclusão.

2 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO E SEUS TIPOS

Neste capítulo é explorada a evolução dos sistemas de manutenção no decorrer da história industrial mundial. Também se abordarão os conceitos e definições envolvidos nesta área específica de manutenção. Estes entendimentos e conceituação são fundamentais para uma melhor compreensão do trabalho exposto.

2.1 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

O segmento de manutenção apresentou evolução significativa ao longo dos últimos 70 anos. Desde os anos 30, a manutenção passou por três gerações, conforme citam os autores Kardec e Nascif (2013). São elas:

- Primeira Geração: abrange o período antes da 2ª guerra mundial, época em que a indústria era pouco mecanizada. Com equipamentos simples e superdimensionados. Na época, a questão de produtividade não era prioritária, não sendo necessária a manutenção sistematizada preventiva, ficando o foco voltado para a Manutenção Corretiva;
- Segunda Geração: período da 2ª guerra até os anos 60. Neste período, ocorreu uma pressão por produção, com pouca disponibilidade de mão-de-obra para a indústria. Houve forte mecanização e aumento da complexidade das instalações industriais. Começou a surgir uma maior necessidade de disponibilidade e confiabilidade de máquinas para a produção a fim de evitar falhas em máquinas. Surgiu o conceito de Manutenção Preventiva Sistemática, com intervenções programadas em intervalos pré-definidos. Com isto, os custos de manutenção e a necessidade de investimentos em itens físicos, peças de reposição, passaram a destacar-se, focando as empresas a melhor qualificar suas programações, fazendo surgir os Sistemas de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM);
- Terceira Geração: a partir da década de 70, as paradas de produção começaram a ter repercussões, diminuindo a produtividade e afetando o custo dos produtos. Falhas em linhas de produção dotadas de sistemas *Just in Time* por exemplo, ficavam cada vez mais críticas. A aplicação de preventivas sistemáticas, com paradas de máquina para revisão em períodos definidos,

nem sempre se adaptava ao processo industrial. Começava a surgir o conceito de manutenção sob condição, denominada Manutenção Preditiva. Iniciou-se a preocupação de interação entre as fases de implementação de um sistema de produção e seus equipamentos (projeto, fabricação, instalação e manutenção) e com a disponibilidade e confiabilidade exigida no processo industrial.

- Quarta Geração: surgida no final dos anos 90, com muitas das expectativas da terceira geração ainda presente tendo a busca por Disponibilidade, Confiabilidade e Manutenibilidade como os grandes pilares. O grande desafio enfrentado é a minimização das falhas prematuras também conhecidas como “mortalidade infantil” das máquinas/equipamentos. A ideia para se atingir estes objetivos é aumentando a manutenção preditiva e o monitoramento das condições dos equipamentos e sistemas. Os novos projetos precisam adotar os conceitos da terotecnologia, com uma visão ampla do Custo do Ciclo de Vida da instalação. Neste contexto é privilegiado a interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação como sendo básica para o atingimento dos objetivos.
- Quinta Geração: as boas práticas da quarta geração perduram, porém, o enfoque maior está nos resultados empresariais. Agora o tratamento realizado está envolvido com as políticas da Gestão de Ativos (*Asset Management*). Nesta configuração o olhar se volta para o Retorno sobre os Ativos (*ROA – Return on Assets*) e o Retorno Sobre os Investimentos (*ROI – Return on Investment*). Para manutenção cresce ainda mais a aplicação das técnicas preditivas e o monitoramento (tanto *on line* como *off line*).

2.2 GESTÃO ESTRATÉGICA DA MANUTENÇÃO

Para uma boa política de Gestão de Manutenção, segundo Kardec e Nascif (2013) e Rodrigues (2010), é preciso sempre descrever a importância de “pensar e agir estrategicamente”, para que a atividade de manutenção se integre de maneira eficaz ao processo produtivo contribuindo, efetivamente, para que a empresa caminhe rumo à Excelência Empresarial”.

Esta postura prepara a equipe para enfrentar os novos desafios que se apresentam para as empresas neste cenário de uma economia globalizada e

altamente competitiva, onde as mudanças se sucedem em alta velocidade e a manutenção, como uma das atividades fundamentais do processo produtivo, precisa ser uma gente proativo. Neste contexto não existem mais espaços para improvisos e arranjos: competência, criatividade, flexibilidade, velocidade, cultura de mudança e trabalho em equipe são as características básicas das empresas de sua sobrevivência. Para as pessoas estas características são essenciais para garantir a empregabilidade de cada um. A condição moderna dos negócios requer uma mudança profunda de mentalidade e de posturas. A gerência moderna deve estar sustentada por uma visão de futuro e regida por processos de gestão onde a satisfação plena de seus clientes seja resultante da qualidade intrínseca dos seus produtos e serviços e a qualidade total dos seus processos produtivos seja o balizador fundamental.

O foco é evitar a falha e não corrigir a falha. Estas premissas geram reflexo direto nos resultados empresariais, tais como:

- Aumento da disponibilidade das máquinas para a produção;
- Aumento do faturamento e do lucro;
- Aumento da segurança industrial e das instalações;
- Redução da demanda de serviços;
- Redução de custos;
- Redução de lucros cessantes;
- Preservação ambiental - melhor atendimento aos requisitos de saúde, segurança e meio ambiente.

Ao invés de se falar em “mudança de cultura”, que é um processo lento não condizente com as necessidades atuais, é preciso que a gestão implemente uma “cultura de mudanças”, onde o inconformismo com a perpetuação de paradigmas e de práticas seja uma constante.

Está presente uma grande necessidade de mudança, sendo que o papel mais importante e estratégico do Gerente é o de liderar este processo.

Uma grande variedade de instrumentos gerenciais tem sido colocada à disposição do homem de manutenção: CCQ, TPM, GCT, terceirização, Reengenharia, entre outros. É importante ter em mente que são, simplesmente, ferramentas e, como tal, a sua simples utilização não é sinônimo de bons resultados.

Muitos gerentes têm transformado estas ferramentas em objetivos da manutenção, e os resultados são desastrosos.

Por outro lado, o uso correto destas ferramentas tem levado a excelentes resultados. A manutenção é efetivamente estratégica, como afirma Kardec e Nascif (2003, p.15), quando é voltada para resultados, deixando de ser eficiente para tornar-se eficaz, mantendo a função dos equipamentos disponível para a operação, reduzindo a probabilidade de falhas e/ou paradas inesperadas na produção.

Quando se fala em resultados, também é muito bom falar em comparações com o que existe de melhor no setor. É uma boa forma de avaliar como nossos resultados posicionam-se frente aos resultados de empresas similares.

Neste momento, se pode adotar um processo de identificação denominado “*Benchmarking*” que de acordo com os mesmos autores, Kardec, Nascif e Baroni (2002, p.7), é um processo de análise e comparação de empresas do mesmo segmento de negócio, visando conhecer:

- As melhores marcas ou “*benchmarks*” das empresas vencedoras com a finalidade de possibilitar definir as metas de curto, médio e longo prazos;
- A situação atual da sua organização e, com isto, apontar as diferenças competitivas;
- Os caminhos estratégicos das empresas vencedoras ou as “melhores práticas”;
- Além de conhecer e chamar a atenção da organização para as necessidades competitivas.

A Figura 1 ilustra uma questão fundamental: a parte inferior retrata a Gestão estratégica para uma organização. Este mesmo modelo pode ser usado como referência para construção de uma gestão mais adequada ao processo da manutenção preditiva de uma empresa.

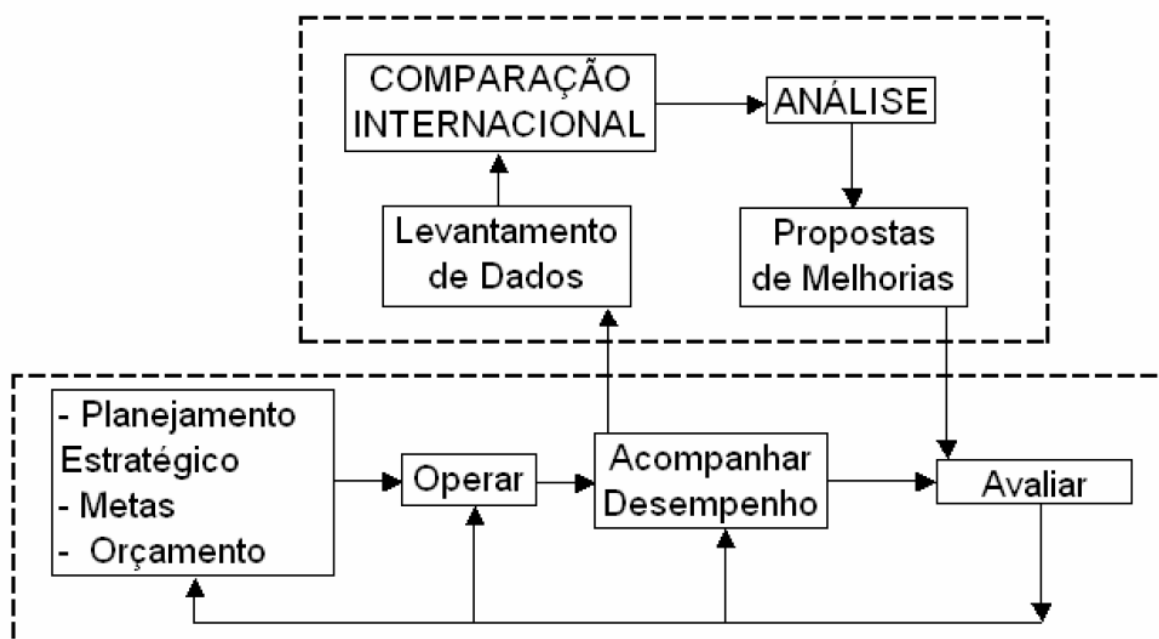


Figura 1. Gestão Estratégica

Fonte Kardec e Baroni (2002)

A Estratégica Estruturada de uma organização, porém sem uma visão ampla do seu segmento de negócio. Esta estratégia pode levar ao insucesso: não basta uma organização estar melhorando seus indicadores empresariais, ela precisa estar evoluindo mais rápido que os seus concorrentes, para poder passar a frente. Daí a necessidade de se incorporar à sua Gestão Estratégica a parte superior da figura, que nada mais é do que a comparação com os seus concorrentes, inclusive os internacionais.

O *Benchmark*, por sua vez, é a referência que será adotada como um padrão de excelência que todos devem procurar atingir. É comum encontrar-se, ainda, indicadores de manutenção que medem apenas sua eficiência, e isto é muito pouco para uma empresa moderna. O que precisa ser medido é:

- Disponibilidade e Confiabilidade;
- Redução da demanda de serviços;
- Faturamento;
- Otimização de custo;
- Segurança pessoal e das instalações;
- Preservação ambiental;
- Moral e motivação dos colaboradores.

2.1.1 MANUTENÇÃO E A TERMOGRAFIA

Nas empresas modernas, o setor de manutenção vai desde o planejamento até a execução dos serviços, com o objetivo de manter a funcionalidade dos equipamentos e atender as solicitações dos clientes internos. Segundo Nóbrega (2011) a manutenção envolve custos elevados e normalmente perdas de produção, pois geralmente é solicitada quando apresenta alguma divergência operacional de algum equipamento, assim deve ser bem planejada para que seja feito aquilo que realmente é necessário.

Atualmente, há uma crescente preocupação das empresas quanto à segurança dos funcionários e disponibilidade de seus equipamentos, a fim de evitar que tenham paradas inesperadas. Assim, os métodos de avaliação precisam ser cada vez mais eficazes para determinação do melhor momento de uma intervenção para manutenção. Então, destes procedimentos, que procuram reduzir gastos com substituição de peças que não apresentam defeitos, surgem novas ferramentas que podem auxiliar na determinação dessas tarefas (FERREIRA, 2010).

Na indústria em geral, a termográfica pode ser utilizada para verificação de pontos quentes em painéis elétricos, transformadores, conexões, fios e cabos. Também para analisar as condições de correias, devido ao aquecimento das polias, ainda em tubulações que apresentam incrustações, que podem dificultar a passagem de produtos assim como válvulas danificadas ou que não abrem totalmente. Todas essas avaliações podem ser feitas à distância, sem o contato físico através desta técnica termográfica.

2.1.2 Manutenção centrada na confiabilidade

Dentre as diversas metodologias desenvolvidas para aperfeiçoar o gerenciamento da manutenção destaca-se a Manutenção Centrada na Confiabilidade é uma metodologia para analisar as funções do sistema e o modo como estas funções podem falhar para, então, aplicar um critério de priorização explícito baseado em fatores ambientais, econômicos, operacionais e de segurança,

a fim de identificar as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas (MOUBRAY, 2001; SIQUEIRA, 2005; SMITH, 1993; SMITH e HINCHCLIFFE, 2003).

Segundo Moubray (2001), existem quatro atributos que definem e caracterizam a MCC, tendo relação direta com seus objetivos:

- a) Preservação da função do sistema;
- b) Identificação das falhas funcionais e aplicação da FMEA (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos);
- c) Priorização das funções significantes e classificação de suas falhas funcionais segundo suas consequências;
- d) Determinação das atividades de manutenção segundo sua viabilidade técnica e seu custo/benefício.

As estratégias de manutenção em vez de serem aplicadas independentemente, hoje as mesmas são integradas as manutenções preditivas, proativas, preventivas e reativas, com isso é possível obter vantagens, de modo a aperfeiçoar a operacionalidade e eficiência da instalação e dos equipamentos, enquanto minimizamos o custo do ciclo de vida.

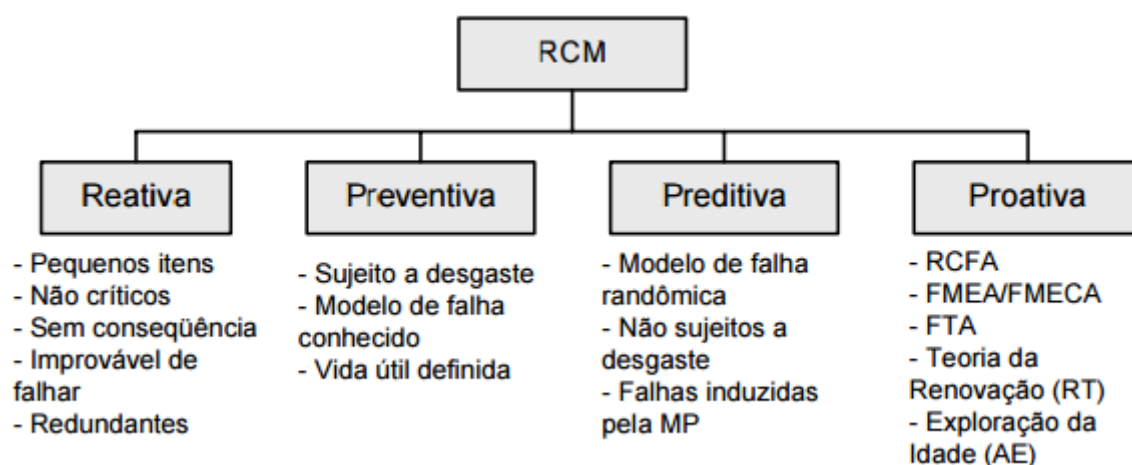


Figura 2 - Componentes de um programa de RCM

Fonte: IFES

Com a aplicação do RCM, ficou possível aplicar as melhores técnicas de manutenção preditivas nos equipamentos da central de água gelada, mantendo a

confiabilidade e a disponibilidade de nosso sistema de geração de água gelada para o processo de solda.

A escolha destas técnicas de manutenção preditivas foi devido a essas mesmas, demonstrar através de medição e relatórios, a ocorrência de uma falha ou degradação, determinando antecipadamente, a necessidade de correção em uma peça específica, eliminando as desmontagens desnecessárias para inspeção, aumentando o tempo de disponibilidade dos equipamentos, para equipe de operação e manutenção, reduziu os trabalhos emergenciais, pois as manutenções são somente realizadas intervenções se forem apontadas necessárias pelos relatórios, aproveitando melhor a vida útil de cada componente, com aplicação das técnicas preditivas está sendo possível, reduzir os custos de manutenção, aumento da produtividade e conseqüentemente da competitividade.

2.1.3 Tipos de manutenção

As definições com relação aos tipos de manutenção são apresentadas na figura 3, sendo cada uma listada de modo simplificado, contudo, suas metodologias e particularidades impactam diretamente na gestão de custos, sejam eles de manutenção e/ou operação e produção, tendo em vista que a aplicação errônea acarreta em tomadas de decisão precipitadas afetando a disponibilidade do equipamento.



Figura 3 – Tipos de Manutenção

Fonte Adaptado de Nascif e Dorigo (2010)

Lembrando que esta é uma classificação clássica, entendendo que cada empresa adota uma variedade de nomes e classificações específicas em virtude de seu histórico ou especificidade. Cabe salientar que tanto a manutenção preditiva como a detectiva atuam somente na inspeção para identificação das anomalias que

quando encontradas são atendidas por meio de uma manutenção corretiva planejada.

2.1.4 Manutenção corretiva

Efetuada após a ocorrência de uma pane ou de uma falha destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. (NBR 5462). Este tipo de manutenção ainda pode ser classificado em duas formas de atuação.

2.1.5 Corretiva imprevista

Conhecida como manutenção Emergencial, onde caracteriza-se pela atuação da Manutenção em fato já ocorrido. (KARDEC E NASCIF, 2012).

Esta forma de atuação da manutenção é puramente reativa, ou seja, se aguarda que a falha no equipamento seja evidente para se tomar alguma atitude. Basicamente é a estrutura para “apagar incêndios” agindo sempre na correria para recolocar os sistemas em funcionamento.

Por se tratar de uma ação reativa os custos envolvidos nesta forma de atuação normalmente são elevados, além de sua grande possibilidade de propagação dos estragos e de também comprometer questões de segurança

2.1.6 Corretiva programada

É ação de correção do desempenho menor do que o esperado baseado no acompanhamento dos parâmetros de condição e diagnósticos levados a efeito pela Preditiva, Detectiva ou Inspeção. (KARDEC E NASCIF, 2012).

Esta forma de atuação baseia-se na identificação do defeito no sistema/máquina antes de se transformar em falha propriamente dita. Ao identificar o defeito, gerencialmente é tomada a decisão de como agir, se programando para realização do reparo ou se programando para aguardar que o ativo funcione até o fim de sua vida útil. (RODRIGUES, 2010)

2.1.7 Manutenção preventiva

Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item. (NBR 5462).

Esta forma de atuação também é conhecida como manutenção baseada no tempo, onde este tempo pode ser em horas propriamente dita ou em quilômetros rodados, peças produzidas, toneladas transportadas... etc.. Em função deste tempo de medição é que se programam as atividades de manutenção, sem uma análise mais detalhada sobre os desgastes apresentados pelos equipamentos. (RODRIGUES, 2010)

2.1.8 Detectiva

É a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis de operação e manutenção. (KARDEC E NASCIF, 2012).

Estas falhas ocultas são as falhas que já estão presentes no sistema, porém não são visíveis ou percebidas pela operação. Conforme Rodrigues (2010), as falhas ocultas normalmente se apresentam em sistemas de alarmes como os de incêndio ou em redundâncias do sistema quando não corretamente monitoradas.

2.1.9 Engenharia de Manutenção

É o suporte técnico da manutenção que está dedicado a consolidar a rotina e implantar melhorias. (KARDEC E NASCIF, 2012).

Esta política é uma grande quebra de paradigma, exigindo mudança cultural na equipe. Constatadas as causas fundamentais das falhas, é hora de proporcionar as melhorias e correções e, se necessário, até fazer a reengenharia do equipamento. Também entram neste conceito a melhoria dos padrões adotados na execução da manutenção, interferir no projeto e interferir tecnicamente nas compras. Os *benchmarks* passam a ser perseguidos e técnicas modernas tem que ser aplicadas para nivelar resultados como os obtidos por outras empresas do mesmo ramo

A engenharia de manutenção é uma política de manutenção onde se enfatiza a busca da causa raiz das falhas. Também algumas decisões sobre planos de manutenção e decisão dos indicadores que serão seguidos passam pela engenharia de manutenção. Em algumas empresas a função engenharia de manutenção é desenvolvida pelo próprio PCM – Planejamento e Controle da Manutenção.

2.1.10 Manutenção Preditiva

A Manutenção Preditiva, também conhecida por Manutenção sob Condição ou Manutenção com Base no Estado do Equipamento. (KARDEC E NASCIF, 2012).

De acordo com Rodrigues (2010) a manutenção preditiva é aquela que indica a necessidade de intervenção com base no estado do equipamento. A avaliação do estado do equipamento se dá através da medição, acompanhamento ou monitoração de parâmetros. Esse acompanhamento pode ser feito por três formas, através de uma monitoração subjetiva, objetiva ou contínua.

A Monitoração Subjetiva: se vale de variáveis como temperatura, vibração, ruído e folgas já são acompanhadas há anos pelo pessoal da manutenção, independente do uso de instrumentos. A visão, audição, tato e olfato são instrumentos de uma manutenção subjetiva. Procedimentos que fazem parte da monitoração da condição do equipamento, e serão tanto mais confiáveis quanto mais experiente sejam os profissionais da manutenção, mas ela não pode ser adotada como base para decisão por ser muito subjetiva.

A Monitoração Objetiva: também conhecida como acompanhamento objetivo é feito com base em medições utilizando equipamentos ou instrumento especiais. É objetiva por fornecer um valor de medição do parâmetro que está sendo acompanhado e ser o valor medido independente do operador do instrumento.

A Monitoração contínua: é utilizada em situações onde o tempo de desenvolvimento do defeito é muito curto e em equipamentos de alta responsabilidade. Trata-se de uma excelente proteção desde que, a esta monitoração venha interligada a

dispositivos que alarmam e em seguida provocam a parada ou desligamento do equipamento.

Neste capítulo foram apresentados os conceitos básicos sobre os tipos de manutenção e como os mesmos podem se relacionar entre si.

3 AMBIENTE EXPLORADO

Neste capítulo será apresentado o local onde o trabalho foi efetivamente realizado, isto de forma similar e análoga ao processo real instalado. Devido as políticas internas da empresa não foi autorizado divulgação do nome da empresa e nem a apresentação de fotos dos equipamentos realmente estudados, porém devido a similiaridade deste s processos dentro de outras empresas do setor produtivo este te fato não irá comprometer o entendimento nem a validae deste estudo.

O sistema estudado é uma central de água gelada, que é constituído de cinco chiller de condensação a água, que são das seguintes capacidades sendo dois deles de 20 TR e três de 25 TR, três bombas secundarias e mais duas bombas busters, cinco bombas primárias, cinco bombas de resfriamento, quatro torres de resfriamento e dois trocadores de calor do tipo placa.

A central de água gelada funciona de acordo com a seguinte lógica:

- os chillers são resposáveis para fazer o resfriamento da água;
- a água é bombeado a uma pressão de 4 bar, pelas bombas primárias;
- com o bombeamento a água circular entre os chilers até os trocadores de calor;
- estes trocadores de calor de um lado recebe a água gelada a uma temperatur de 8°C, que circula no sistema de refrigeração e do outro lado da água circula no sistema de bombas secundaria, com temperatura que varia de 18°C á 23°C, em uma pressão de 8 bar;
- neste processo de circulação da água quente e da água fria, se faz a troca de calor com as pinças de solda;
- as bombas de condensação tem a função de circular água nos trocadores de calor do chiller, fazendo a retirada do calor gerado ali, fazendo a circulação da água até as comeias das torres de resfriamento, onde cada uma delas tem um ventilador instalado;

- Estes ventiladores tem por função, fazer o resfriamento desta água e retorna-lá novamente para o sistema, todo este processo é feito em um circuito fechado.

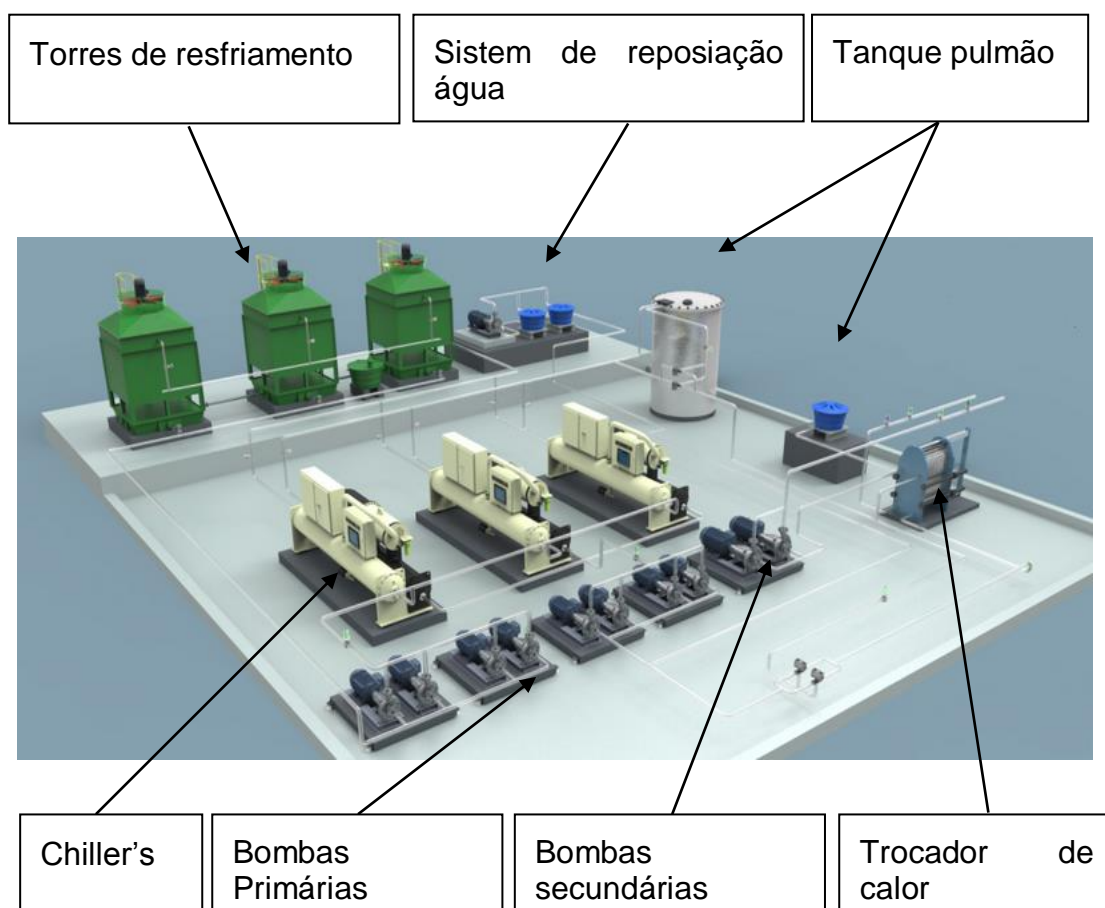


Figura 4 - Central de Resfriamento de água

Fonte:

https://www.google.com.br/?qws_rd=cr&ei=sqIQVYvRO4HeUfSSg7AD#q=central+de+agua+gelada

Na figura 4 é apresentado de uma forma esquemática todo o processo de resfriamento existente n empresa, lembrando quye este é um esquema genérico de um processo similar ao instalado.

A gestão da manutenção preditiva para este sistema apresentado é que será exposto e debatido nos próximos capítulos.

4. AS TÉCNICAS AVALIADAS NO ESTUDO

Neste capítulo serão detalhadas as técnicas de manutenção preditivas que foram usadas no desenvolvimento do trabalho. A ideia principal é compreender quais os princípios de cada técnica analisada.

4.1 ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

O acompanhamento da análise de vibração é um dos mais importantes métodos de técnica de preditiva aplicada na indústria, tendo a sua maior aplicação em equipamentos rotativos, no sistema de refrigeração esta medição é feita no alojamento do elemento compressor, também é feito nos motores elétricos e ventiladores, com intuito de monitorar possíveis folga de eixo, desgaste de rolamento e algum tipo de desalinhamento.

A aplicação da análise de vibração no diagnóstico de defeitos em máquinas rotativas é uma técnica já consagrada, há várias décadas, em todo o mundo e nos mais diversos ramos industriais. Na última década, o desenvolvimento tecnológico da informática e eletrônica permitiu o desenvolvimento de equipamentos portáteis para a coleta, análise e gerenciamento de um grande volume de dados de vibração de máquinas. O princípio fundamental para aplicação desta técnica é que todas as máquinas em funcionamento produzem vibrações. A deterioração do funcionamento traduz-se por uma modificação da “distribuição de energia vibratória”, tendo consequência o aumento do nível das vibrações.

Observando-se o nível é possível obter informações muito úteis sobre o estado da máquina. O melhor método de coleta de dados é o que minimize a probabilidade de falha do equipamento. As considerações práticas apelam para o bom senso ao se medir componentes físicos, e a compreensão da maneira como a máquina pode potencialmente falhar. A vibração está presente em qualquer sistema à medida que este responde uma excitação. Isso é válido para um eixo de compressor centrífugo, a asa de um avião em vôo, as molas de um vagão de trem, ou ainda uma estrutura sujeita a ação do vento.

O princípio de análise de vibrações está baseado que as estruturas das máquinas, excitadas por esforços dinâmicos, dão sinais vibratórios cuja a frequência é idêntica àquela dos esforços que os tenham provocado. Pode-se, pois, graças a captos colocados em pontos particulares, registrar as vibrações transmitidas pela estrutura da máquina, e graças, ainda, à sua análise, identificar a origem dos esforços aos quais ela é submetida.

Dessa forma, assim que se obtém, a “assinatura” vibratória da máquina quando ela era nova ou em bom estado de funcionamento. Pode-se, portanto, verificar a evolução de seu estado ou identificar esforços dinâmicos novos, consecutivos a uma degradação em processo de desenvolvimento.

Pode-se separar a medida de uma vibração transmitida por uma estrutura sob o efeito de esforços dinâmicos em três grupos:

1º Grupo – função de transferência, característica da estrutura:

- Massa, rigidez e coeficiente de amortecimento da estrutura que veicula as vibrações;
- Características de fixação da máquina sobre o solo que opõe reações a vibrações e modifica a intensidade;
- Posicionamento da tomada de medida.

2º Grupo – cadeia de medida, precisam tornar-se invariáveis de uma medida para outra:

- Posição e fixação do captor sobre a máquina;
- Característica do captor;
- Pré-amplificação e transmissão do sinal;
- Desempenho dos aparelhos analisados.

3º Grupo – ligados a intensidade dos esforços dinâmicos que fazem nascer a vibração:

- Velocidade de rotação e potência absorvida;
- Estado das ligações da cadeia cinemática (alinhamento, desbalanceamento, engrenagens, rolamentos, entre outros).

É necessário lembrar que as técnicas de análise de vibração não dão a intensidade

Intrínseca de uma força parasita, reveladora de um defeito, mas permitem seguir a sua evolução. Desta forma, é mais fácil efetuar o diagnóstico observando a evolução, ao longo do tempo, das medidas obtidas, do que se prender a um estudo de uma medida isolada que é muito difícil de ser interpretada.

4.1.1 Natureza das vibrações

Vibração é o movimento alternativo de um corpo ao redor de uma posição de equilíbrio, causado por uma força indesejável. Estes movimentos oscilantes, característicos de esforço que os geram podem ser:

- Periódicos;
- Transitórios ou aleatórios.

As vibrações periódicas podem corresponder a um movimento senoidal, podendo ser decomposto por uma somatória de movimentos senoidais elementares, tornando-se mais fáceis de se analisar.

A utilização da análise de vibração é para identificar algum nível de vibração que pode diferenciar o estado normal de funcionamento de uma situação com alguma irregularidade. Após a identificação das anormalidades do equipamento a análise de vibração permite relacionar o aspecto da vibração com a causa de algum problema.

As coletas de análise de vibração, são realizadas semestralmente, por uma empresa tercerizada, a quantidade de pontos coletas estão sempre indicados pelo manual do equipamento ou fornecedor.

Também são analisados estes pontos e periodicidade pelos técnicos responsáveis pela atividade, o tempo de execução das rotas fica atrelados a quantidades de pontos coletados, mas em média é gastos cerca de dois minutos por ponto, após a coletados dados os mesmos são analisados e nos são enviados via relatórios.

O técnico responsável pela coordenação da atividade tem o papel de verificar o relatório e tomar as medidas cabíveis para a correção das anomalias, que na sua maioria se resume em troca de rolamentos, mancais, desalinhamentos e balanceamento de hélices.

Na figura 5 segue foto ilustrativas demonstrando alguns equipamentos que são aplicados técnicas de manutenção preditiva análise de vibração.

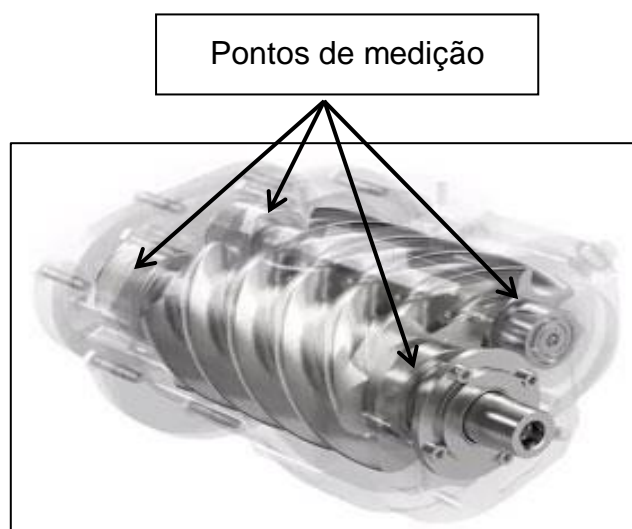


Figura 5: Pontos de Medição de Vibração – Fonte
<http://www.kaeser.com.br/>

O entendimento e marcação correta dos pontos que serão usados para retirada da assinatura de vibração do equipamento e conseqüentemente suas futuras medições faz toda a diferença para a assertividade dos laudos que serão realizados.



Figura 6: Pontos de Medição de Vibração – Fonte
http://assertivapreditiva.com.br/wp-content/uploads/2013/10/home_vibracao-816x320.jp

Na figura 6 é representada a realização de uma análise de vibração, onde o técnico posiciona os acelerômetros em posições pré-definidas e mascaradas para se facilitar a realização correta das medições.



Figura 7: Pontos de Medição de Vibração – Fonte
http://www.balaceajato.com.br/fotos_imagens/dscn2447260614184001.jpg

Na figura 7 consegue-se ver claramente o acelerômetro posicionado sobre o mancal do rolamento para sua medição. É importante que o local de medição esteja limpo.

4.2 ANÁLISE FERROGRÁFICA

Segundo Kardec 2002, ferrografia muitas vezes é confundida como uma técnica de análise de lubrificante, sendo que na verdade é uma técnica de análise de máquina, se tornando confusa por se iniciar os trabalhos tendo que coleta de lubrificantes (óleo ou graxa).

A ferrografia consiste na determinação da severidade, modo e tipos de desgastes em máquinas por meio da identificação da morfologia, acabamento superficial, coloração, natureza e tamanho das partículas encontradas em amostras

de óleos ou graxas lubrificantes de qualquer viscosidade, consistência e opacidade”. (Kardec, 2002)

A análise ferrográfica se classifica em dois níveis sendo, uma quantitativa que consiste numa técnica de avaliação das condições de desgaste dos componentes de uma máquina por meio da quantificação das partículas em suspensão no lubrificante, e uma analítica que utiliza a observação das partículas em suspensão no lubrificante.

A ferrografia quantitativa consiste em quantificação do tamanho e número de partículas em suspensão no óleo lubrificante. Através desta técnica podem-se obter informações sobre o grau de severidade do desgaste presente na máquina em análise. A quantificação é feita utilizando-se o contador de partículas, que permite quantificar as partículas grandes e pequenas de modo rápido e objetivo.

Esta técnica é utilizada em equipamentos de refrigeração para auxiliar a Engenharia nas tomadas de decisões, sejam na contratação da manutenção Overhall, ou simplesmente no monitoramento da vida útil das peças dos compressores parafusos.

As coletas de análise ferrográfica, são realizadas semestralmente, por uma empresa tercerizada. A quantidade de pontos coletados estão sempre indicados pelo manual do equipamento ou fornecedor, também são analisados estes pontos e periodicidade pelos técnicos responsáveis pela atividade.

O tempo de execução das rotas fica atrelados a quantidades de pontos coletados, mas em média é gastos cerca de 10 minutos por ponto, após a coletados dados os mesmos são analisados em laboratório. Os relatórios contendo os resultados das análises realizadas são enviados em meio impresso e de forma digital.

Cabe ao técnico responsável pela coordenação da atividade o papel de verificar o relatório e tomar as medidas cabíveis para a correção das anomalias apontadas, que na sua maioria se resume em troca de componente como por exemplo, troca de rolamentos, mancais, troca do óleo lubrificante.

Para a realização dos reparos apontados nos relatórios, são contratadas empresas terceiras que atendem a fábrica. Esta política de contratação se deve principalmente a necessidade de que os serviços sejam realizados por técnicos

especializados e também pelo fato da equipe própria da empresa ser em número reduzido, não conseguindo atender a mais esta demanda.

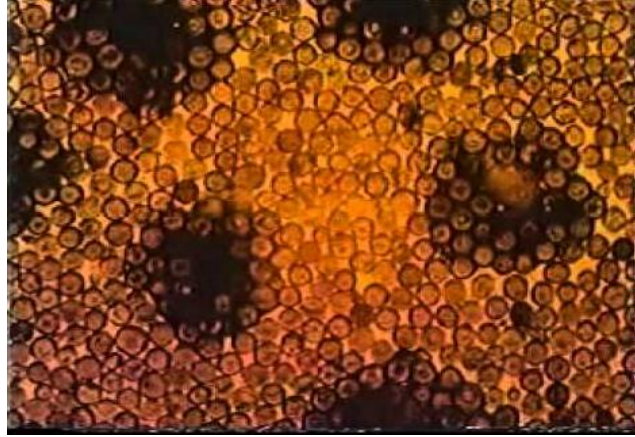


Figura 8: Imagem Ferrográfica – Fonte
<http://www.mcbladi.net>

Na figura 8 é apresentada uma figura microscópica de uma análise de ferrografia.

De acordo com a Tribolab, laboratório de ferrografia, a ferrografia pode ser definida como sendo uma técnica de manutenção preditiva para o monitoramento do desgaste de máquinas por meio de amostras de lubrificante, óleo ou graxa, colhidas com a máquina em operação, onde são analisadas as partículas de desgaste (limalhas) e são determinados os tipos de problemas existentes e quais as providências em que a equipe de manutenção deve tomar.

Dentre os principais problemas e aplicações pode-se destacar:

➤ Problemas típicos:

- _ Sobrecargas;
- _ Lubrificação incorreta ou contaminada;
- _ Desalinhamento;
- _ Corrosão por ataque químico;
- _ Oxidação (ferrugem);
- _ Arrastamento de material;

_ Erros de projeto, montagem ou operação.

➤ Aplicações:

_ Redutores;

_ Turbo-geradores;

_ Sistemas hidráulicos;

_ Mancais em geral;

_ Motores diesel;

_ Compressores de parafuso, centrífugos ou alternativos.

O ponto de coleta deve estar o mais próximo possível da fonte de geração de partículas. No caso de sistemas circulatórios, uma válvula na tubulação de retorno de óleo é o ponto ideal.

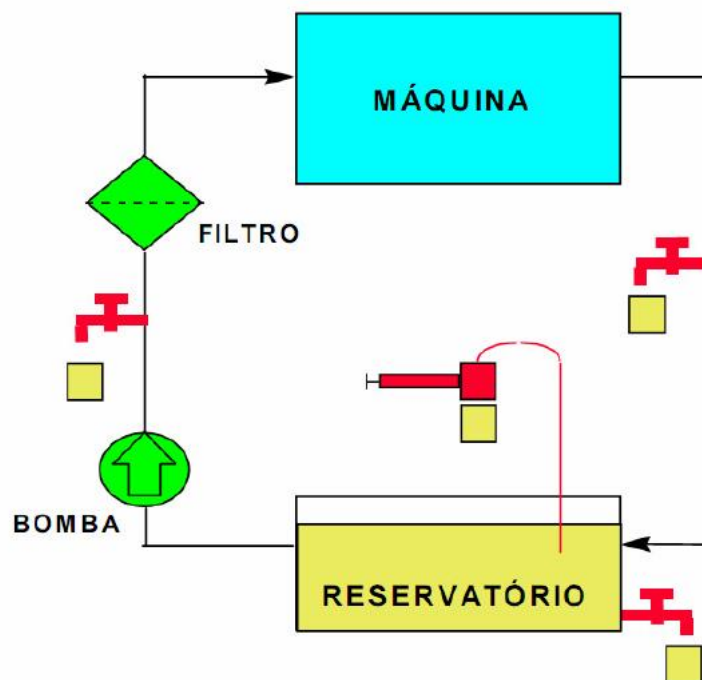


Figura 9. Pontos de coleta de óleo

Fonte: tribolab.com.br

Quando inacessível, drenos em reservatórios ou amostragem por meio de bombas de coleta são alternativas válidas. O maior cuidado está em se evitar pontos

após filtros ou regiões onde não ocorra homogeneização. Um exemplo esquemático é apresentado na figura 9.

4.2.1 Análise termográfica

Segundo a Thermotronics, empresa do ramo de inspeção termográfica, a termografia é genericamente definida como a técnica de sensoriamento remoto que possibilita a medição de temperaturas e a formação de imagens térmicas (termogramas) de um componente, equipamento ou processo, a partir da radiação infravermelha emitida pelos corpos, conforme mostrado na figura 10.

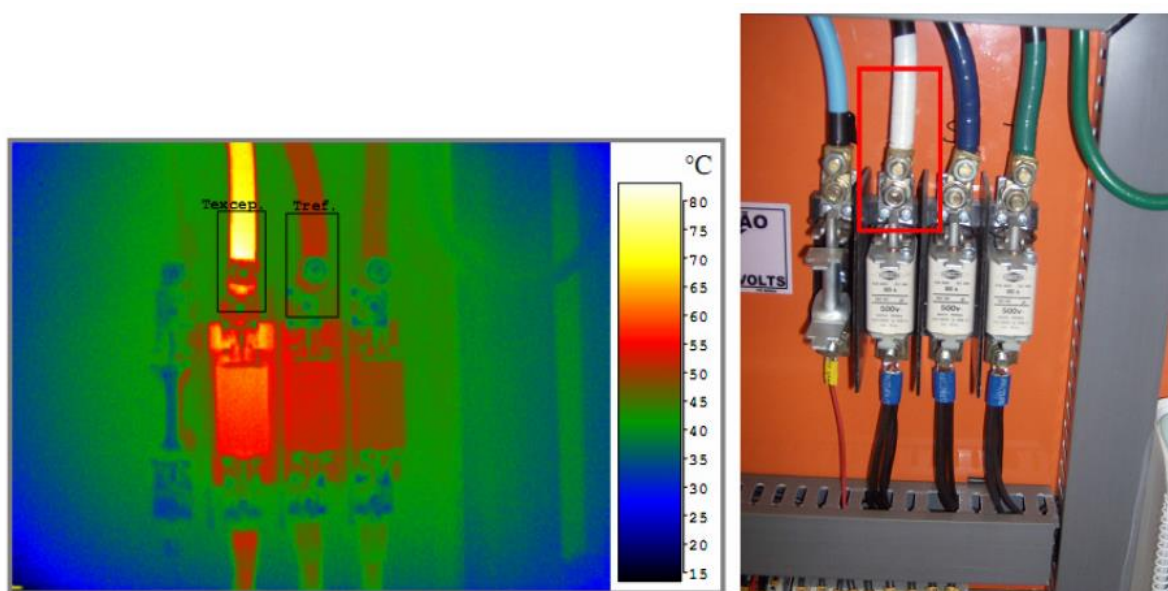


Figura 10. Análise termográfica

Fonte : Noris (2007)

Nesta figura fica evidente a grande ajuda que a técnica preditiva fornece para a diagnose na manutenção. Na imagem a olho nu nenhuma anomalia se apresenta, no entanto no espectro do infravermelho percebe-se claramente o ponto de aquecimento existente no terminas do fusível. Ao detectar este defeito, programa-se uma manutenção corretiva planejada evitando que a falha aconteça. E este tipo de falha pode ocasionar a explosão do quadro de energia e a ignição para um incêndio, ou seja os danos podem ser propagados de maneira exponencial.

A inspeção termográfica é a técnica de inspeção não-destrutiva, realizada com a utilização de sistemas infravermelhos, para a medição de temperaturas ou observação de padrões diferenciais de distribuição de calor, fornecendo informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo.

Em qualquer sistema de manutenção considerado, a termografia se apresenta como técnica de inspeção de grande utilidade, tendo como principais vantagens:

- Realização de medições sem contato físico com a instalação - segurança;
- Verificação de equipamentos em pleno funcionamento - não interfere na produção;
- Inspeção de grandes superfícies em pouco tempo - alto rendimento.

Esta é uma técnica de inspeção não destrutiva e não invasiva que tem como base a detecção da radiação infravermelha emitida naturalmente pelos corpos com intensidade proporcional à sua temperatura. Por meio dessa técnica é possível identificar regiões, ou pontos, onde a temperatura está alterada com relação a um padrão preestabelecido.

A termografia é baseada na medida da radiação eletromagnética emitida por um corpo a uma temperatura acima do zero absoluto. Calor, com o objetivo de proporcionar informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo. Sendo aplicado nos sistema de refrigeração no painel elétrico, nos motores elétrico para verificar possíveis fontes de aquecimentos como pode exemplo: fluxo de ar inadequado, tensão desequilibrada ou sobrecarga, falha iminente do rolamento, defeito de isolamento, desalinhamento do eixo, no sistema de refrigeração também pode ser utilizado na detecção de vazamentos de gases, pois o gás refrigerante sempre está sobre pressão, onde possibilita fazer a verificação do vazamento devido a diferença de temperatura. (KARDEK e NASCIF, 2013).

Na empresa estudada as coletas de análise termográfica, são realizadas semestralmente, por uma empresa tercerizada. A rota e a quantidade de pontos coletas estão sempre indicados pelo manual do equipamento ou fornecedor, também são analisados internamente com o pessoal próprio estes pontos. Periodicidade os técnicos responsáveis pela atividade refazewm um estudo sobre a melhor rota a ser seguida e a indicação dos pontos que precisam ser monitorados. O

tempo de execução das rotas fica atrelados a quantidades de pontos coletados, mas em média é gastos cerca de 30 segundos por ponto, após a coletados todos os dados os mesmos são analisados e enviados para a empresa via relatórios impresso e digital.

O técnico responsável pela coordenação da atividade tem o papel de verificar o relatório e tomar as medidas cabíveis para a correção das anomalias, que na sua maioria se resume em torca de componente como por exemplo, troca de disjuntos, reaperto de bornes, troca de terminais, troca de contator, troca de rolamentos.

Na figura 11 é apresentado um termograma de um equipamentos onde foi aplicada as técnicas de manutenção preditiva análise termográfica.

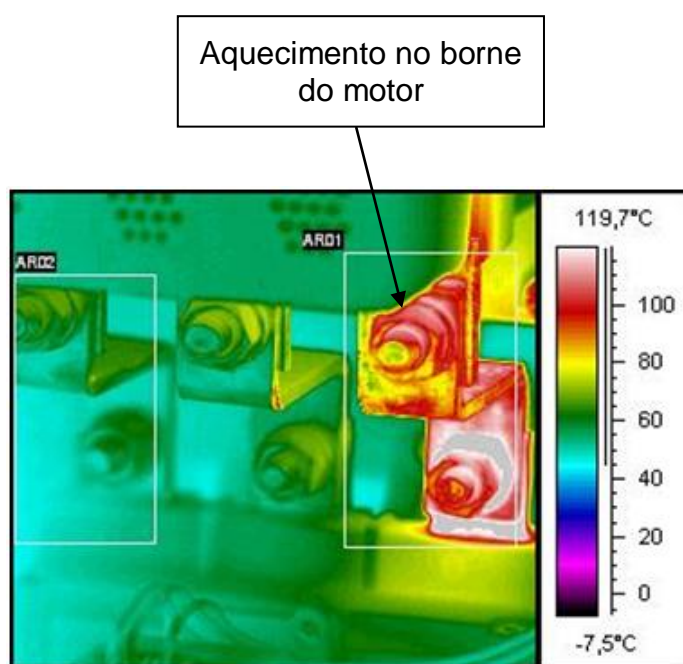


Figura 11: Imagem termográfica – Fonte <http://www.engfaz.com.br/>

Na figura 12, apresenta a aplicação da técnica preditiva de termografia para identificação de vazamentos em tubulações.

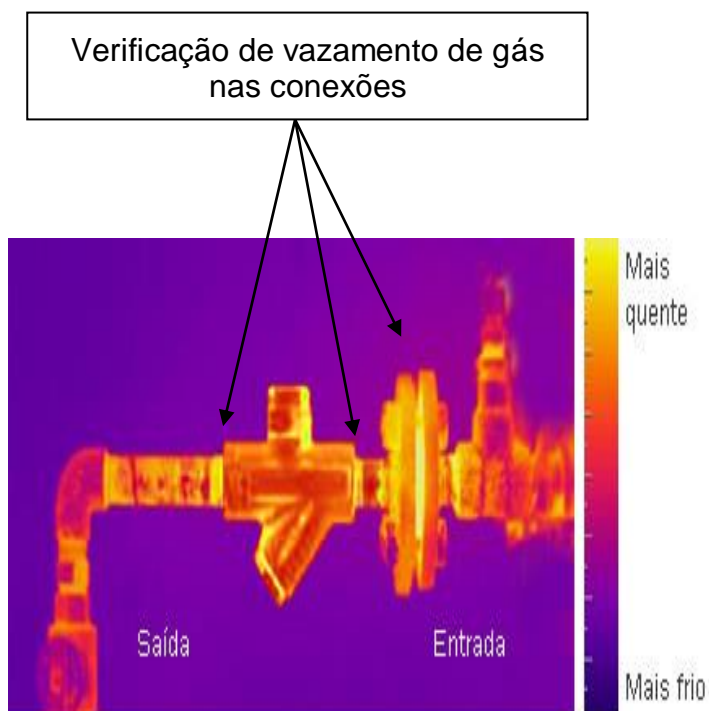


Figura 12: Imagem termográfica – Fonte

http://www.tlv.com/global/images/steam_theory/steam-trap-test/steam-trap-test10_BR.jpg

4.2.2 Radiação térmica

Radiação térmica é a radiação eletromagnética que um corpo emite quando está a uma temperatura acima do zero absoluto. Ela é transmitida através de ondas eletromagnéticas e não precisa de um meio para se propagar. Todo corpo emite radiação de acordo com a temperatura absoluta em que se encontra.

A capacidade de emitir essa radiação está em função da sua emissividade, que pode variar de 0 a 1 (OLIVEIRA, 2010).

4.2.3 Emissividade

É a capacidade que um corpo tem em emitir radiação, e depende de vários fatores como: tipo de material, acabamento, influência de fatores externos (raios solares, oxidação, chuva, pintura). Essa radiação emitida é que estabelece a relação com a temperatura em que se encontra o objeto.

De um modo geral, há três tipos de corpos, distintos na maneira pela qual sua emissividade varia com o comprimento de onda:

- Corpo Negro: emissividade constante e igual a 1 ($e = 1$).
- Corpo Cinza: emissividade constante e menor que 1 ($e < 1$).
- Radiador Seletivo: caso mais próximo da realidade, no qual a emissividade varia com o comprimento de onda. Segundo o modo como interagem com a radiação em um mesmo comprimento de onda, os corpos podem ser classificados da seguinte forma:
 - Corpo Negro: emissividade constante e igual a 1 ($e = 1$).
 - Corpo Opaco: transmissão igual a zero ($t = 0$).
 - Corpo Transparente: permite os mecanismos de absorção, reflexão e transmissão.

É interessante salientar a influência da emissividade na troca térmica de um equipamento. Normalmente o aumento do valor da emissividade do revestimento externo de um forno ou linha isolada provoca uma queda da temperatura externa do equipamento, mas em contradição, há um aumento na quantidade de calor trocado com o ambiente. Por outro lado, a aplicação de uma pintura de baixa emissividade ou a instalação de chapas de alumínio na face externa do equipamento aumenta a temperatura externa do mesmo, com diminuição do calor trocado com o ambiente (VERATTI, 1997).

4.2.4 Critério Flexível de Classificação de Aquecimentos (CFCA)

A seguir será tratado de forma breve a classificação de falhas decorrentes do aquecimento de componentes nas instalações.

4.2.4.1 Falha Iminente - Situação Crítica

É classificado como situação crítica tendo seu prazo para troca do componente imediato. Nesta situação quando identificada a falha crítica deve-se acionar imediatamente a manutenção da fábrica, mesmo sem a emissão do relatório da inspeção. Este procedimento é de extrema importância no processo de preditiva.

4.2.4.2 Falha Potencial - Intervenção Imediata

É classificado como situação de Intervenção Imediata tendo seu prazo recomendado para intervenção de no máximo 14 dias. Ocorre quando Aquecimento Corrigido (AC) está entre 90% e 120% do Máximo Aquecimento Admitido (MAA). ($0,9 \text{ MAA} \leq \text{AC} < 1,2 \text{ MAA}$).

4.2.4.3 Falha Provável - Intervenção Programada

É classificado como situação de Intervenção Programada tendo seu prazo recomendado para intervenção de no máximo 21 dias. Ocorre quando Aquecimento Corrigido (AC) está entre 60% e 90% do Máximo Aquecimento Admitido (MAA). ($0,6 \text{ MAA} \leq \text{AC} < 0,9 \text{ MAA}$).

4.2.4.4 Suspeita de Falha – Observação


É classificado como situação de Observação tendo seu prazo recomendado de observação Mensal. Ocorre quando Aquecimento Corrigido (AC) está entre 30% e 60% do Máximo Aquecimento Admitido (MAA). ($0,3 \text{ MAA} \leq \text{AC} < 0,6 \text{ MAA}$).

4.2.4.5 Normal

É classificado como situação normal, ocorre quando o aquecimento corrigido (AC) está a baixo de 30% do máximo aquecimento admitido (MAA).

4.2.5 Fator de Risco ao Sistema Produtivo (RSP)

O Grau de Abrangência, quando correlacionado com a Classificação do Aquecimento (CFCA) do componente, gera para os responsáveis pelas decisões de manutenção uma indicação de Risco ao Sistema Produtivo (RSP) nos seguintes níveis:

Classificação Aquecimento		Abrangência		
		Local	Setorial	Global
 Situação Crítica	Médio	Alto	Alto	
 Intervenção Imediata	Médio	Médio	Alto	
 Intervenção Programada	Baixo	Médio	Médio	
 Observação	Baixo	Baixo	Médio	

Matriz de Classificação do Aquecimento e Risco ao Sistema Produtivo

Quadro 1: Matriz de classificação do aquecimento

No quadro 1, é apresentada uma escala básica para classificação do aquecimento encontrado nas instalações durante a inspeção termográfica.

4.3 CÂMERAS TERMOGRÁFICAS

Os termovisores são sistemas geradores de imagens dotados de recursos para a análise e medição de distribuições térmicas. São compostos por duas unidades, que podem ou não estar reunidas em um mesmo conjunto: a unidade de câmera e a unidade de vídeo.

A unidade de câmera encerra o receptor óptico, mecanismos de varredura vertical e horizontal, detector e sistema de resfriamento do mesmo. Normalmente cobrem as faixas espectrais de 3 a 5 microns (para sistemas industriais) e de 8 a 12 microns (para sistemas militares e de pesquisa) (VERATTI, 1992). A unidade de vídeo contém o processador de imagens, monitor de vídeo e controles. As imagens são apresentadas em branco e preto, podendo ser convertidas em imagens coloridas pela substituição da escala de cinza por uma paleta de cores.

4.3.1 Tipos de câmeras

As câmeras são classificadas de acordo com o comprimento de onda do componente onde se deseja realizar a inspeção, os metais são enquadrados entre 0,8 a 1,0 microns, vidros podem variar de 1,0 até 14,0 microns (VERATTI, 1992). O limite máximo de temperatura também é um critério para escolha de uma câmera, por exemplo: para análise de interiores de fornos, onde se tem a observação de fontes geradoras de calor, como a chama do fogo, câmeras com diferentes níveis de temperaturas deverão ser empregadas, pois existem limites da faixa de trabalho

para cada uma. Existem vários recursos para a medição de temperaturas e análise das imagens térmicas, disponíveis nos termovisores.

4.3.1.1 Temperatura Pontual

Consiste de um ou mais marcadores, que permitem a leitura direta da temperatura do ponto da imagem onde estão posicionados, e algumas câmeras ainda possuem a opção de mostrar além da temperatura pontual, onde está o ponto mais quente da imagem.

4.3.1.2 Isotherma

Através da qual uma determinada faixa de temperatura é selecionada, a fim de excluir uma determinada área que não se tem interesse em verificar.

4.3.1.3 Perfil térmico

Mede a variação de temperatura ao longo de uma linha selecionada. São sistemas geradores de imagem dotados de recursos para a análise e medição de distribuições térmicas.

4.3.1.4 Seleção de amostra

Permite a delimitação de amostras na imagem, as quais podem variar na forma e tamanho, de acordo com as características da área a ser coberta para estudo.

4.3.1.5 Amplitude térmica

Realiza a medição dos valores máximo, médio e mínimo de intensidade de sinal na imagem ou amostra selecionada.

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Levando-se em consideração que para aquisição de equipamentos para a realização das análises internamente tem-se a necessidade de aquisição de equipamentos e infraestrutura na ordem de trezentos mil reais (R\$300.000,00) além de treinamento da equipe de manutenção para a realização da atividade, comparando-se com a Tabela 1 ilustrada é mais vantajoso realizar a terceirização da atividade e recebimento do laudo comprobatório da degradação do equipamento para que as atividades de manutenção posterior sejam realizadas de modo assertivo

e com foco na redução de custos posteriores ao *budget* da manutenção, onde ficará mais claro e coerente as ações posteriores.

A análise ferrogáfica foi adotado devido o alto valor do investimento para contratação de mão de obra do fabricante Hitachi, tendo em vista que o valor do investimento foi na ordem de quatrocentos e cinquenta mil reais (R\$450.000,00), com o período de manutenção especificado deve ocorrer a cada quarenta mil horas de funcionamento (40.000 horas) ou três anos (03 anos) consecutivos de operação e é onde o equipamento se enquadra, nas horas de operação.

Devido à complexibilidade do processo e de que o mesmo tendo equipamentos reserva, não justificaria a parada deste sistema por falha, pois os valores gastos com estas técnicas preditivas são considerados um valor bem baixo, perto do valor uma hora de parada desta linha solda que hoje está em torno de R\$ 65.000,00.

Ao analisar o quadro 2, as técnicas preditivas descritas, sendo análise de óleo e análise ferrogáfica e feito uma coleta de cada equipamento de modo anual, análise de vibração é feita de forma trimestral e a analisado é por ponto, análise termografica é feito duas vezes por ano.

Tabela de investimento de técnicas preditivas			
Item	Atividade	Investimento por diária	Periodicidade
1	Análise de Óleo	R\$ 1.000,00	Anual
2	Análise Vibração	R\$ 1.100,00	Trimestral
3	Análise Termográfica	R\$ 950,00	Semestral
4	Análise Ferrogáfica	R\$ 1.000,00	Anual
	Total	R\$ 4.050,00	

Quadro 2: Investimento de Análise Preditiva

Fonte: autoria própria

Para um melhor funcionamento da manutenção preditiva precisa-se detectar e selecionar quais são os equipamentos mais críticos e fundamentais assim como para atender quais equipamentos ou mesmo modos de falha serão tratados na manutenção preventiva.

A manutenção preditiva tem sido reconhecida como uma técnica eficaz de gerenciamento de manutenção. Com ela os funcionários da área passam a conviver rotineiramente com técnicas e ferramentas, que possibilitam detectar previamente problemas que sem a mesma não seriam detectados.

De acordo com Matusheski (1997) com a aplicação de técnicas preditivas as plantas se tornam mais confiável, requerendo recursos menores de manutenção no longo prazo, acrescentamos que o ciclo de vida das máquinas e equipamentos tende a aumentar além de possibilitarem uma operação com melhoria nos níveis de rendimento e produtividade.

Estas técnicas preditivas foram aplicadas no início do ano de 2015, onde se observou um significativo ganho na confiabilidade de todo o sistema de água gelada.

No gráfico 1, apresenta a relação da disponibilidade do sistema nos anos de 2014 e 2015. Ao observar este gráfico fica notório o ganho obtido.

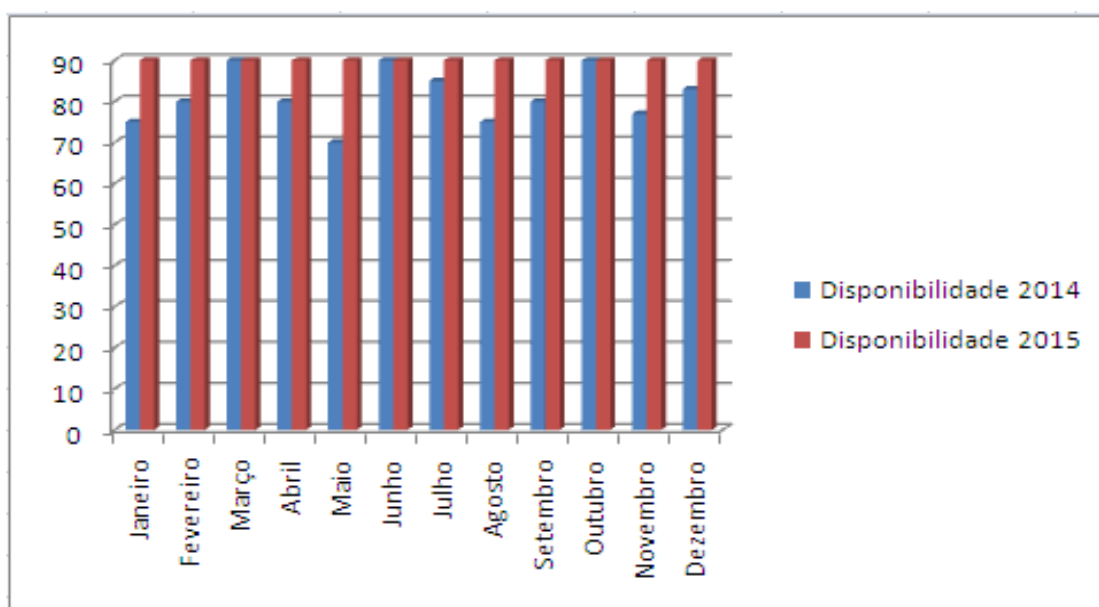


Gráfico 1: Gráfico de disponibilidade da central de água gelada

Fonte: autoria própria.

As tendências atuais indicam a adoção cada vez maior de técnicas preditivas e a prática da engenharia de manutenção como diretriz para se alcançar a confiabilidade dos sistemas trabalhados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS/CONCLUSÃO

Ao verificar os trabalhos realizados no sistema de resfriamento de água da empresa estudada, percebe-se que o encaminhamento está correto. Com a aplicação destas novas tecnologias menos intervencionistas para o sistema é possível monitorar o funcionamento das máquinas e não ficar tratando de suas quebras.

Ao analisar a literatura e comparando com estas práticas salienta-se que os gestores deste processo precisam sim estar bem informados e capacitados para que obtenham bons resultados.

As técnicas preditivas escolhidas para a realização das inspeções, bem como, as periodicidades das leituras atenderam, com um bom desempenho, sistema da central de água gelada.

Conforme apresentado na figura 11, percebe-se um excelente crescimento na entrega da disponibilidade requerida mostrando intrinsecamente que a confiabilidade também cresceu neste período analisado.

De uma forma bem direta também se percebe que os custos com a contratação de equipes terceirizadas para execução destes serviços de preditiva não são elevados comparados com as potenciais perdas da parada do sistema da central de água gelada no processo produtivo da empresa.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando algumas dificuldades enfrentadas durante a elaboração do trabalho, os resultados obtidos e o potencial de aprofundamento da análise, sugere-se alguns pontos que poderiam dar continuidade ao trabalho:

Aplicar um estudo de RCM no sistema de resfriamento de água para atualizar os planos de manutenção de forma a garantir uma melhor confiabilidade com um menor custo de manutenção.

Criar um protocolo para avaliar o serviço das empresas prestadoras de serviços de preditiva no sistema de resfriamento de água.

REFERÊNCIAS

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio; BARONI, Tarcísio. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, 2002 . Coleção Manutenção, Abraman.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção Função Estratégica, 2ª edição, 1ª Reimpressão 2013**. Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, Coleção Manutenção, Abraman.

Manutenção Preditiva, http://www.feb.unesp.br/jcandido/manutencao/Grupo_8.pdf, acesso dia 21/10/2014.

<http://www.tecem.com.br/site/downloads/artigos/baroni.pdf>, acesso dia 30/03/2015.

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA648AH/manutencao-centrada-na-confiabilidade>, acesso dia 11/02/2015.

NP EN (Norma Portuguesa) 13306:2007. **Terminologia de manutenção**. Instituto Português da Qualidade

NASA (**National Aeronautics and Space Administration**). 2008. Reliability Centered Maintenance Guide. <http://www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx/Assets/Docs/NASARCMGuide>. (visitada 02 Março, 2015)

Velarde-Suarez , S. – “**A predictive maintenance procedure using pressure and acceleration signals from a centrifugal fan**”, **Applied Acoustics** Edição (2006).

MOUBRAY, J. (2000) **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Aladon Ltd. Lutterworth.

BARRINGER, H.Paul; WEBER, David P. **Life cycle cost tutorial**. Houston, Estados Unidos: Gulf Publishing Company, 1996.

BIROLINI, Alessandro. **Reliability engineering: theory and practice**. 5. ed. New York: Springer, 2007. 593 p.

BONACIN, A. **Foto: RECAP - Petrobras e arredores, Mauá, R.M. São Paulo, SP, Brasil**. Panoramio, 2011. Disponível em: <<http://www.panoramio.com/photo/54675137>>. Acesso em: 21 nov. 2016, 21:58.

CARTER, A. D. S.; **Mechanical reliability**, 2nd ed. 492 p. London, England. Ed. Macmillan, 1986.

FILHO, Gil Branco. **Curso Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Curitiba, ABRAMAN filial VII Paraná e Santa Catarina, Março, 2005.

(RODRIGUES , 2010). (; TAVARES, 2001; NASCIF e DORIGO, 2010; RODRIGUES, 2010).

Segundo Marconi e Lakatos (2004, pg.274),
Triviños (1987