



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PEDRO HENRIQUE HERINGER TOVAR

**ANÁLISE FMEA PARA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE
MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE: ESTUDO DE CASO EM
MOTOR HIDRÁULICO POCLAIN**

VITÓRIA

2017

PEDRO HENRIQUE HERINGER TOVAR

**ANÁLISE FMEA PARA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE
MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE: ESTUDO DE CASO EM
MOTOR HIDRÁULICO POCLAIN**

Projeto de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia Mecânica do
Centro Tecnológico da Universidade Federal
do Espírito Santo, para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Msc. Oswaldo Paiva Almeida
Filho

VITÓRIA

2017

PEDRO HENRIQUE HERINGER TOVAR

**ANÁLISE FMEA PARA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE
MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE: ESTUDO DE CASO EM
MOTOR HIDRÁULICO POCLAIN**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica
do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, para
obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica

Aprovado em __ de julho de 2017.

COMISSÃO EXAMINADORA

Professor Me. Oswaldo Paiva Almeida Filho
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Engenheiro Marcio Gabriel Pêgo de Aguiar
Hesidral Equipamentos e Óleo Hidráulicos

Engenheiro Bruno Filipe da Penha Sperandio
Universidade Federal do Espírito Santo

DEDICATÓRIA

Primeiramente agradeço à Deus por me dar forças para sempre seguir em frente de cabeça erguida, sempre iluminando meu caminho.

Agradeço imensamente aos meus pais, por toda a força e apoio que sempre me deram e continuam me dando.

Em especial ao meu pai Cyro, prova de que pai não é só aquele que traz ao mundo, mas aquele que cria, por todo seu apoio que sempre me deu, sendo um cara incrível que me fez eu ser quem eu sou hoje, inclusive a gostar da área de exatas.

Em especial também à minha mãe Livia, por todo amor e dedicação em todos esses 24 anos, nunca deixando faltar nada e sempre sendo a pessoa mais especial da minha vida.

Agradeço ao meu tio Geraldo Moreira pela oportunidade de estagiar e trabalhar na Hesidral, sempre aprendendo e contribuindo para o bem da empresa.

Agradeço ao Márcio de Aguiar, engenheiro mecânico que me espelha, sempre contribuindo positivamente e transmitindo seus conhecimentos nesse pouco tempo que nos conhecemos.

Agradeço ao professor Oswaldo Paiva, pela disponibilidade e auxílio no desenvolvimento deste projeto.

Agradeço a todos da Hesidral também pelos conhecimentos práticos transmitidos.

À ArcelorMittal, por permitir que o estudo fosse realizado no equipamento da mesma, além de permitir uma visita à coqueria.

À todos, que de alguma forma se mostraram presente nessa minha caminhada.

RESUMO

Visa-se fazer uma avaliação do impacto da aplicação do método da MCC – Manutenção centrada em confiabilidade no motor hidráulico Poclain MS35, com o auxílio da ferramenta FMEA – Failure Mods and Effect Analysis (Análise dos efeitos e modos de falha). A FMEA é a ferramenta a ser utilizada para dar suporte ao estudo das falhas ocorridas no sistema da máquina Hot Car, onde o motor hidráulico atua no movimento da máquina, enfatizando as funções dos equipamentos que compõem a mesma, as consequências das falhas e ocorrência dos mesmos, além de propor medidas para tentar aumentar a confiabilidade do sistema.

O equipamento em questão foi escolhido devido ao grande número de falhas ocorridos na segunda metade de 2016, sendo um equipamento caro, com um alto custo de manutenção corretiva, além das paradas do equipamento e da linha para remoção e substituição do componente defeituoso, ocasionando queda na produção, danos ao meio ambiente e contaminação por particulados no sistema de óleo.

Palavras-chave: Motor hidráulico Poclain, FMEA, MCC, manutenção corretiva, falhas.

ABSTRACT

It is intended to make an assessment of the impact of the application of the MCC - Reliability Centered Maintenance method on the Poclain MS35 hydraulic motor, with the help of the FMEA - Failure Modes and Effect Analysis tool. The FMEA is the tool to be used to support the study of failures in the Hot Car system, where the hydraulic motor operates in the movement of the machine, emphasizing the functions of the equipment that make up the system, the consequences of the failures and occurrence, and propose measures to try to increase the reliability of the system.

The equipment in question was chosen due to the big number of failures occurred in the second half of 2016, being an expensive equipment with a high cost of corrective maintenance, besides the equipment and line stops for removal and replacement of the defective component, causing a fall in the production, damages to the environment and contamination by particulates in the oil system.

Key words: Poclain hydraulic engine, FMEA, RCM, corrective maintenance, failures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da manutenção.....	17
Figura 2: Fluxo de manutenção.....	18
Figura 3: Técnica de ferrografia	22
Figura 4: Técnica para análise de vibrações.....	23
Figura 5: Diversas aplicações da termografia	24
Figura 6: Curva da banheira.....	26
Figura 7: Máquina Hot Car	31
Figura 8: Componentes do Motor Poclain MS35.....	33
Figura 9: Poclain MS35 instalado na máquina Hot Car.....	34
Figura 10: Esquema simplificado da transformação da energia ao longo da máquina Hot Car	35
Figura 11: Poclain recebido para manutenção.....	36
Figura 12: Poclain após montagem, teste e pintura nas instalações da Hesidral, pronto para retornar à área da ArcelorMittal.....	37
Figura 13: Tabela FMEA do Motor Hidráulico Poclain MS35.	48
Figura 14: Roletes e pequenas partes do rolamento quebrado.....	51
Figura 15: Anel elíptico, bloco e pistões avariados	52
Figura 16: Discos de freio externos sinterizados novos	53
Figura 17: Discos de freio internos e externos avariados.....	54
Figura 18: Matriz de decisão	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção

D – Detecção

FMEA – Failure Mods and Effect Analysis (Análise dos efeitos e modos de falha)

FTA – Análise de Árvore de Falha

MC – Manutenção Corretiva

MCC – Manutenção Centrada em confiabilidade

MP – Manutenção Preventiva

MPd – Manutenção Preditiva

MTBF/TMEF – Mean Time Between Failure (Tempo Médio Entre Falhas)

MTTF/TMPF – Mean Time To Failure (Tempo Médio Para Falha)

MTTR/TMPR– Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas

O – Ocorrência

R - Risco

S – Severidade

TBM – Time Based Maintenance (Manutenção baseada no tempo)

TPM/MPT – Total Productive Maintenance (Manutenção Produtiva Total)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 HISTÓRICO	12
3.2 PROCESSO EVOLUTIVO	13
3.2.1 PRIMEIRA GERAÇÃO	15
3.2.2 SEGUNDA GERAÇÃO	15
3.2.3 TERCEIRA GERAÇÃO	16
3.3 TIPOS E PROCESSOS DE MANUTENÇÃO	17
3.3.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA	19
3.3.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA	20
3.3.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA	21
3.4 CONCEITOS	24
3.5 CONFIABILIDADE	25
3.5.1 PARÂMETROS DE CONFIABILIDADE	25
3.5.1.1 CURVA DA BANHEIRA	25
3.5.1.2 INDICADORES DE DESEMPENHO	26
3.5.1.3 MANUTENABILIDADE	29
3.5.1.4 DISPONIBILIDADE	29
3.6 O PROCESSO DA COQUERIA E A MÁQUINA HOTCAR	29
3.7 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)	31
4. MATERIAL E MÉTODO	33
4.1 MATERIAL	33

4.2 MÉTODO	37
4.3 QUESTÕES BÁSICAS DA MCC.....	41
4.4 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS.....	42
5. RESULTADOS	47
6. CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIAS.....	57
APÊNDICE A – Tabela de classificação da S (Severidade).....	60
APÊNDICE B – Tabela de classificação da O (Ocorrência)	61
APÊNDICE C – Tabela de classificação da D (Detectabilidade)	62
APÊNDICE D – Matriz ou Diagrama de Decisão	63

1. INTRODUÇÃO

Com o advento da economia globalizada, observou-se um aumento na demanda por produtos e sistemas de melhor desempenho a custos competitivos. Concomitantemente, surgiu a necessidade de redução da probabilidade de falhas em produtos (sejam elas falhas que simplesmente aumentam os custos associados aos produtos ou falhas que possam implicar riscos sérios à segurança pública), o que resultou numa busca crescente na tentativa de aumento da confiabilidade.

Nesse contexto, é de grande importância que a área de manutenção aja de maneira eficiente e rápida, contribuindo para o avanço da empresa, sempre buscando a redução de falhas, aumento de confiabilidade e aumento da disponibilidade dos equipamentos e máquinas.

A disponibilidade, segundo a norma brasileira NBR 5462 (ABNT, 1994) é definida como a capacidade de um item estar em condições de executar uma determinada função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado. A disponibilidade deve ser mantida como o emprego das políticas de manutenção, as quais tenham por objetivo se antecipar à ocorrência da falha, empregando-se preferencialmente práticas preventivas e/ou preditivas. A manutenção deve ser compreendida como a atividade cuja função é manter ou retornar os equipamentos às suas condições operacionais especificadas em projeto (Hidalgo e Souza, 2010).

A implementação da confiabilidade resulta em um sistema técnico com poucas paradas devido à falha no cumprimento da função, num tempo pré-estabelecido. No entanto, deve-se levar em conta que um sistema técnico confiável poderá apresentar baixa disponibilidade se o mesmo, após uma falha, requerer muito tempo para recolocá-lo em operação. Portanto o projeto de um sistema técnico deve correlacionar manutenibilidade e confiabilidade com o intuito de obter disponibilidade (VINADÉ, 2003).

É importante ter em mente que a metodologia a ser implementada não é algo que ocorre da noite para o dia, de forma fácil e rápida. É necessário o

envolvimento de todos, com objetivos iguais, trabalho em equipe, além de um histórico de falhas consistente e atualizado, e o conhecimento do sistema, processo, planta e equipamento.

Sendo assim, este trabalho de tese propõe ações à serem aplicadas no equipamento em estudo para uma maior confiabilidade e disponibilidade do mesmo. Essa proposição será aplicada nos componentes que compõem o motor, através de um estudo das principais falhas já ocorridas. As razões para esta escolha devem-se ao alto custo inicial de aquisição e principalmente o alto custo de manutenção corretiva. É sempre importante a busca por melhorias do sistema, nem que sejam melhorias pequenas, mas que consigam aumentar a vida útil do equipamento em algumas centenas de horas.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Implementação da MCC no motor hidráulico Poclain MS35, através de um estudo na máquina onde o equipamento funciona, com o auxílio da ferramenta FMEA.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Aplicar a metodologia MCC no equipamento em questão, em uma tentativa de redução das falhas que ocorrem, através de um estudo de caso em cima do equipamento, enfatizando seu modo de funcionamento e aplicação, dados de trabalho (pressão, rotação, temperatura, etc) e falhas ocorridas registradas, além de dissertar sobre os tipos de manutenção que são aplicadas enquanto o equipamento trabalha (manutenção preventiva e preditiva), e como é feita a manutenção corretiva após a falha do equipamento.

O equipamento a ser estudado possui grande importância no processo siderúrgico, pois faz o movimento da máquina Hot Car, e atua no processo de transporte do coque do forno até a torre de resfriamento (Quench Tower). É um equipamento de extrema importância, responsável por tracionar as rodas para deslocamento, onde o mesmo é um equipamento de alto custo de aquisição e com alto custo de manutenção, além da grande quantidade de motores Poclain instalados, o que multiplica o valor da manutenção.

Durante o desenvolvimento do trabalho, visar-se-á:

- Identificação dos princípios conceituais das diferentes formas de manutenção, com ênfase na metodologia da MCC e FMEA;
- Apresentação da estrutura e da sistemática de manutenção adotada na máquina em que o motor hidráulico atua;
- Apresentação do modelo de implantação da MCC, identificando suas principais características;
- Apresentação do modelo FMEA, para auxílio à implantação da MCC.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 HISTÓRICO

A história da manutenção acompanha o desenvolvimento técnico-industrial da humanidade. No fim do século XIX, com a mecanização das indústrias, surgiu a necessidade dos primeiros reparos. Até 1914, a manutenção tinha importância secundária e era executada pelo mesmo efetivo de operação (TAVARES, 2005).

Com a implantação da produção em série, instituída por Ford, as fábricas passaram a estabelecer programas mínimos de produção e, em consequência, sentiram necessidade de criar equipes que pudessem efetuar reparos em máquinas operatrizes no menor tempo possível. Assim surgiu um órgão subordinado à operação, cujo objetivo básico era de execução da manutenção, hoje conhecida como corretiva (TAVARES, 2005).

O termo manutenção, na literatura especializada, tem origem no vocabulário militar, cujo sentido é manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material em um nível constante. Já a definição sobre manter é indicada, em vários dicionários, como causar continuidade ou reter o estado atual. Isto sugere que “manutenção” significa preservar algo. Monchy (1989, p. 1) apresenta a conceituação da Associação Francesa de Normatização, na qual a “manutenção é o conjunto de ações que permitam manter ou estabelecer um bem, dentro de um estado específico ou na medida para assegurar um serviço determinado”.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em sua norma NBR 5462/1994, conceitua manutenção como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida, onde a manutenção pode incluir uma modificação do item.

Moubray explica que “manter” significa continuar em um estado existente, ou seja, a manutenção é o conjunto de técnicas de atuação para que os ativos físicos (equipamentos, sistemas, instalações) cumpram ou preservem sua função ou funções específicas. Segundo o dicionário Aurélio, manter significa

“[...] conservar, sustentar, continuar em um estado existente”; manter contém da noção de prevenção das funções de um sistema em funcionamento; restabelecer significa a correção da função de um item ou sistema consecutiva à perda de função, e estado específico implica conhecimento das funções esperadas (WYREBSKI, 1997).

Em linhas gerais, pode-se afirmar que toda evolução tecnológica dos equipamentos, processos e técnicas de manutenção, a necessidade de controles cada vez mais eficientes e de ferramentas de apoio à decisão, o desenvolvimento de estudos relativos ao desgaste e controle das falhas e suas consequências, a dependência de equipes treinadas e motivadas para enfrentar estes desafios, o desenvolvimento de novas técnicas e, conseqüentemente, os custos de manutenção em termos absolutos e proporcionalmente as despesas globais, transformaram as áreas de manutenção em um segmento estratégico para o sucesso empresarial (NUNES, 2001).

Cumpra-se considerar também que a falha pode ocorrer, a despeito dos esforços no sentido de prevenir sua ocorrência, ou seja, em tese, se não existissem falhas não haveria manutenção. Sendo assim, a tecnologia de manutenção deve ser desenvolvida para identificar as possíveis falhas, além de gerenciar suas consequências, com técnicas economicamente adequadas a serem aplicadas em cada situação específica (NUNES, 2001).

3.2 PROCESSO EVOLUTIVO

A função manutenção, em tempos de intensa competição e de sobrevivência entre mercados globalizados internos e externos, vem recebendo especial atenção dos mais diversos setores de atuação de uma empresa, especialmente a partir das últimas décadas do século passado, alcançando praticamente todos os níveis hierárquicos. Isso ocorre em razão da necessidade fundamental de controle de custos operacionais, dos quais os de manutenção fazem parte e representam um dos grandes componentes de custos controláveis (LUCATELLI, 2002).

Entretanto, a manutenção não é um conceito novo; ela acompanha toda a história da evolução de equipamentos, desde o desenvolvimento das primeiras máquinas a vapor até a evolução dos itens físicos (LUCATELLI, 2002).

A evolução da manutenção teve seu marco após a Segunda Guerra Mundial, quando a indústria necessitou se adequar para atender a demanda do mercado. Antes deste período, as máquinas eram pouco mecanizadas e muitas vezes superdimensionadas, com projetos simples, prevalecendo a presença da mão-de-obra industrial. A disponibilidade dos equipamentos e a preocupação pela prevenção das falhas não eram prioridades.

Moubray relata que o processo de gerenciamento da manutenção sofreu importantes transformações em seus métodos no decorrer de sua evolução, principalmente nos últimos vinte e cinco anos, talvez mais do que qualquer outra atividade de gerenciamento. As mudanças ocorridas nesse período, seja pelo crescimento das expectativas de manutenção, seja pelas mudanças de visão sobre o modo de ocorrência das falhas ou das técnicas de manutenção, podem ser caracterizadas por três gerações distintas, todas, como sempre, fruto da necessidade de racionalização e otimização imposta por períodos de crise (ARCURI FILHO, 1996, citado por LUCATELLI, 2002).

Dunn, por sua vez, considera, além dessas, uma quarta geração da manutenção, caracterizada por uma visão mais holística dos recursos. Segundo o autor, ainda que baseada nas três gerações anteriores, a quarta geração integrará todas as ferramentas de projeto e de manutenção, preconizando os seguintes aspectos (DUNN, 1998, citado por LUCATELLI, 2002):

- uma abordagem formal para a taxa de risco, particularmente em níveis mais altos da organização, a qual trata dos projetos de equipamentos e estratégias de manutenção;
- princípios da MCC e Manutenção Produtiva Total (Total Productive Maintenance – TPM) enfocando uma maior integração entre as exigências funcionais, projeto dos equipamentos e da manutenção;

- fatores humanos, aplicados à operação e à manutenção do equipamento;
- maior uso de tecnologias de informação para detectar, prever e diagnosticar as falhas dos equipamentos.

3.2.1 PRIMEIRA GERAÇÃO

A primeira geração da manutenção, assim como o maquinário, teve início com a construção das primeiras máquinas têxteis, por volta do século XVI (ARIZA, 1989), perdurando até a Segunda Guerra Mundial. A indústria, nesse período, caracterizava-se como pouco mecanizada, os equipamentos eram simples e de fácil conserto, além de o volume de produção não ser prioritário, em razão da conjuntura econômica da época (KARDEC & NASCIF, 1999, citado por LUCATELLI, 2002).

Nesse contexto, as condições eram propícias para a adoção da forma mais elementar de manutenção, a manutenção não-planejada, caracterizada pela atuação somente após a ocorrência da falha, ou seja, manutenção corretiva (MC).

3.2.2 SEGUNDA GERAÇÃO

A segunda guerra mundial trouxe um aumento da demanda de bens industrializados e por consequência maior mecanização da indústria quando se tornaram mais evidentes as falhas e suas consequências na produção.

Com a evolução das máquinas e técnicas, foi iniciado o processo de previsão de possíveis defeitos (manutenção preventiva), com intervenções e/ou inspeção e/ou reparo a intervalos definidos, trazendo os sistemas de planejamento, programação e controle da manutenção, além da busca de elevação da vida útil dos equipamentos (PINHO E GORZA, 1998).

A tolerância com atrasos diminuiu e a exigência de produtividade aumentou, em razão, sobretudo, das pressões originadas da guerra (MOUBRAY, 1997). Como consequência, houve um forte aumento da

mecanização das indústrias e os equipamentos, de simples e robustos, passaram a complicados, exigindo uma metodologia de manutenção mais apurada (LUCATELLI, 1998). Então, começou a evidenciar-se a necessidade de maior disponibilidade, bem como de maior confiabilidade, a fim de se garantir maior produtividade (KARDEC & NASCIF, 1999).

3.2.3 TERCEIRA GERAÇÃO

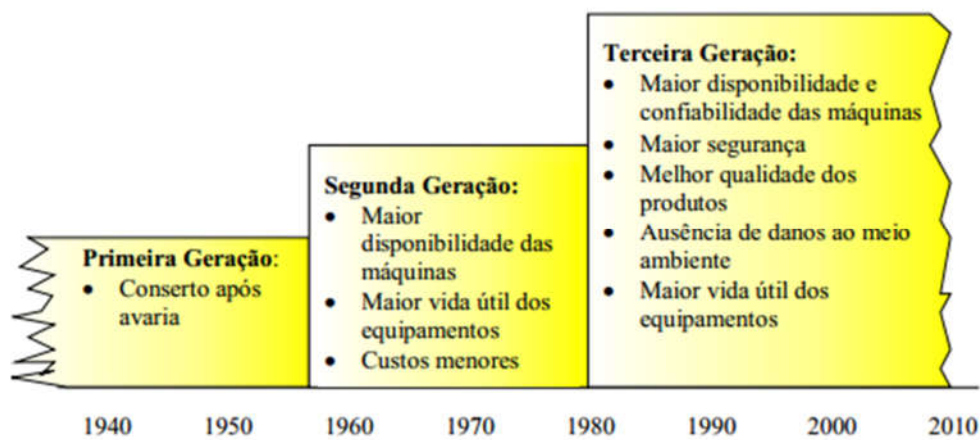
A terceira geração da manutenção teve seu início na década de 1970, alavancada pelo processo de mudanças ocorrido nessa época nas indústrias. Segundo Moubray (1997), tais transformações podem ser classificadas em três áreas principais, quais sejam: a expectativa de crescimento da função manutenção; o melhor entendimento do modo como o equipamento falha e o aumento da gama de técnicas e ferramentas de gerenciamento da manutenção (DUNN, 1998). Essa inevitável evolução deu-se sobretudo pelas novas exigências de mercado, que determinaram, em virtude da globalização e da concorrência internacional, a necessidade de redução de custos operacionais.

Ainda nessa época, a adoção da sistemática just in time tornou-se uma tendência mundial, trazendo a ideia de que mesmo pequenas pausas de produção poderiam comprometer o atendimento da demanda em razão dos baixos estoques mantidos. Outros fatos que contribuíram para tal evolução foram o fenômeno da automação das indústrias e o advento da informática, tornando-as extremamente complexas e, por consequência, transformando a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos em pontos-chaves em setores tão distintos como o da saúde, das telecomunicações e do gerenciamento de edificações (KARDEC & NASCIF, 1999).

A geração atual é, ainda, o berço das maiores contribuições relacionadas às metodologias de gestão da manutenção, abrangendo desde o surgimento das primeiras técnicas de monitorização da condição (manutenção preditiva – MPd), como aprimoramento da MP no princípio desta fase; a utilização de ferramentas de auxílio à decisão e a análise de risco; o

surgimento do método de análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA) e de sistemas especialistas; a maior atenção na fase de projeto a aspectos de confiabilidade e manutenibilidade, até a criação de grupos de trabalho multidisciplinares, com o envolvimento de todos os níveis hierárquicos da companhia, para o estabelecimento de metodologias mais eficientes no gerenciamento de ativos, tais como a TPM e a MCC (MOUBRAY, 1997). A figura 1 ilustra graficamente a evolução das três gerações da manutenção, relacionando a cada uma o período compreendido, bem como os três aspectos da manutenção que mais sofreram transformações ao longo de sua história, segundo Moubray (1997): as expectativas em relação à manutenção, a percepção das falhas do equipamento e as técnicas de manutenção disponíveis.

Figura 1: Evolução da manutenção



Fonte: MOUBRAY (2003, p.3)

3.3 TIPOS E PROCESSOS DE MANUTENÇÃO

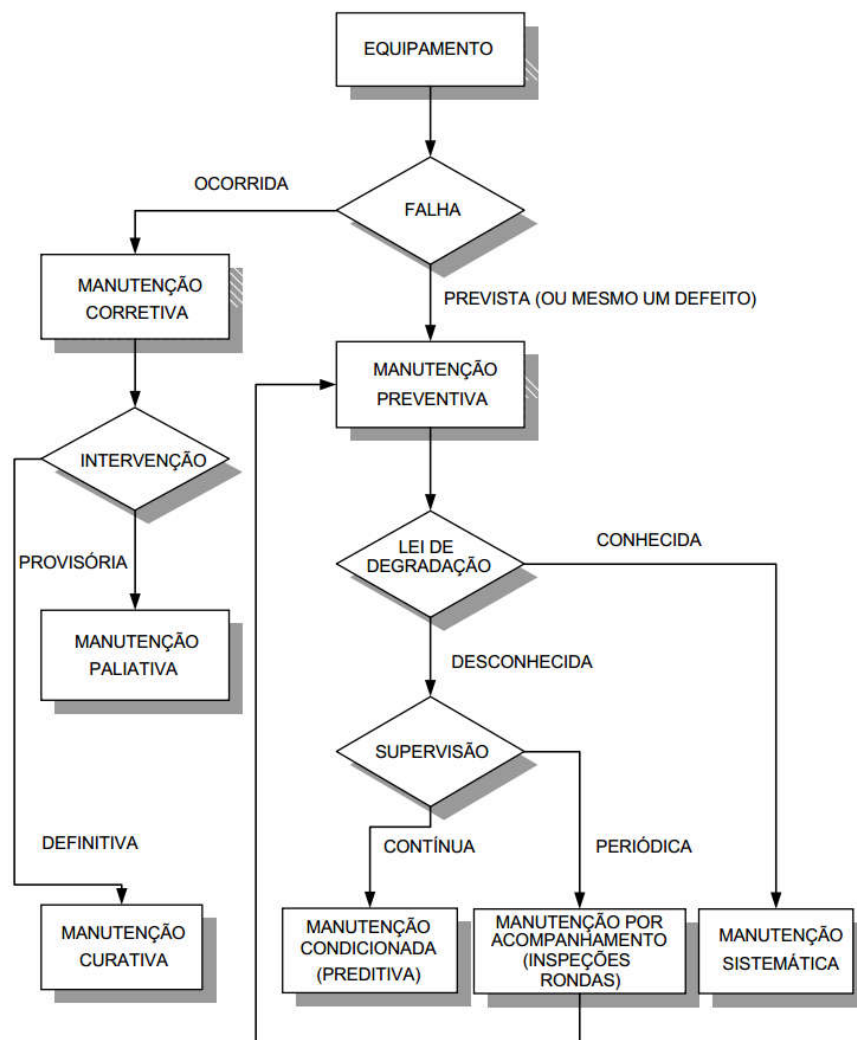
Os métodos de manutenção expressam a maneira pela qual é realizada a intervenção nos equipamentos, sistemas ou nas instalações. Existem diversas maneiras de classificar os métodos de manutenção, e uma das mais usuais é enfocando a manutenção planejada e a não-planejada.

A manutenção não-planejada consiste na correção da falha, após a sua ocorrência. Nesse tipo de política de manutenção, a perda inesperada do

desempenho do equipamento pode acarretar perdas de produção, perdas da qualidade do produto e elevados custos indiretos da manutenção. Geralmente, a manutenção não-planejada é estritamente corretiva. A manutenção planejada pode ser entendida como aquela cujo conjunto de ações leva a uma diminuição ou eliminação da perda de produção, minimização do custo e tempo de reparo (ZAIONS, 2003).

Para melhor ilustrar os tipos de manutenção, Monchy (1989, p. 35) apresenta um diagrama, estruturado como um fluxo, onde com base em cada situação se define a forma de manutenção a ser adotada, conforma a Figura tal.

Figura 2: Fluxo de manutenção



Fonte: Monchy (1989, p. 35)

3.3.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

De acordo com a norma ABNT NBR 5462/1994, é a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

É a mais antiga e a mais utilizada, sendo empregada em qualquer empresa que possua itens físicos, seja qual for o nível de planejamento da manutenção. Quando um item crítico falha, a MP é não planejada. Pode ser planejada, se for possível postergar a manutenção, no caso de um equipamento não crítico.

Segundo Viana (apud WYREBSKI, 1997), manutenção corretiva é a atividade que existe para corrigir falhas decorrentes dos desgastes ou deteriorações de máquinas e equipamentos. São consertos das partes que sofreram a falha, podendo ser reparos, alinhamentos, balanceamentos, substituição de peças ou substituição do próprio equipamento (ZAIONS, 2003).

De acordo com profissionais da área, a manutenção corretiva não é vantajosa, a não ser quando se trata de um equipamento de baixa criticidade e que os custos de reparo são baixos se comparados aos custos de inspeções e de manutenções preventivas.

A vantagem oferecida pela MC é a não-exigência de planejamento. Porém, resulta num grande estoque de peças sobressalentes, em insegurança e paradas caras, inconvenientes e demoradas, além do desconhecimento do estado técnico do sistema.

Dentre as desvantagens da manutenção corretiva estão os altos custos de mão-de-obra, peças e serviços, perda de produção enquanto o equipamento está inoperante e o risco de falhas inesperadas. Apesar de possuir tais inconvenientes, este tipo de manutenção ainda é largamente utilizado atualmente, sendo um dos desafios da indústria impedir sua aplicação (ÁVILA e PEDRONI, 2016).

A falha ocorre aleatoriamente, e geralmente no período mais importuno. Além disso, a falha inesperada de um componente pode causar perigo para outros componentes, acarretando custos adicionais. A manutenção corretiva é

justificada devido a existência de componentes que falham de maneira aleatória, não sendo possível aplicar a manutenção preventiva. Além disso, há modos de falha que não respondem adequadamente a serviços periódicos e nem podem ser detectados por inspeções ou monitoramentos. Se a empresa adota uma política de renovação frequente de equipamentos, a MC se torna viável.

3.3.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

De acordo com a ANBT NBR 5462/1994, é a 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. O monitoramento das máquinas é uma maneira de fácil acompanhamento do estado dos seus equipamentos, sem que seja necessário a interrupção das atividades, através do desligamento dos mesmos ou perdas por falta de manutenção.

A MP pode ser por tempo (sistemática) ou por estado (preditiva), onde a sistemática segue critérios sistemáticos, geralmente em função do tempo de funcionamento (realizada periodicamente). Possui grande importância, pois a inspeção, reforma e substituição de componentes são práticas da manutenção preventiva.

Os serviços de manutenção preventiva devem ser bem planejados e programados, onde todas as etapas do serviço a ser executado devem estar bem definidos, devendo ser levado em consideração a mão de obra necessária, material, e até mesmo a contratação de serviços de empresas terceirizadas, onde os imprevistos na MP não podem ser considerados.

Algumas de suas vantagens são a redução do risco de quebra, envelhecimento e degeneração dos equipamentos, diminuição dos custos de compra de novos itens, além da atuação antes da manutenção corretiva que gera altos custos.

Apesar de ser uma estratégia amplamente utilizada na indústria, a manutenção preventiva não é a melhor solução para solucionar as falhas. O grande

problema deste tipo de abordagem, no entanto, é basear-se em estatísticas para programação de paradas sem, no entanto, avaliar as variáveis específicas da planta que afetam diretamente a vida operacional normal da máquina.

3.3.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

Segundo a NBR 5462/1994, é a manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

É a manutenção preventiva por estado, sendo efetuada em função da variação da condição do item ou equipamento. Engloba a sensitiva (sentido humano) e a preditiva (instrumentos de medição). É necessário que se tenha algo mensurável, como vibração, corrente elétrica, temperatura. A manutenção preditiva será tanto mais eficiente quanto mais rapidamente for detectada a variação dos parâmetros.

Na manutenção preditiva, o controle das condições de funcionamento das máquinas em serviço é realizado com instrumentos de medição próprios, de forma a detectar as mudanças no item, com a finalidade de prever falhas. A finalidade da Manutenção Preditiva é fazer a manutenção somente quando e se houver necessidade. Ela permite otimizar a troca das peças ou reforma dos componentes e estender o intervalo de manutenção, pois permite prever quando a peça ou componente estão próximos do seu limite de vida (ZAIONS, 2003).

Segundo ALMEIDA (2000, p.4), “a manutenção preditiva trata-se de um meio de se melhorar a produtividade, a qualidade do produto, o lucro, e a efetividade global de nossas plantas industriais de manufatura e de produção”. Isso porque tal abordagem se utiliza de ferramentas mais efetivas para obter a condição operativa real dos sistemas produtivos, ou seja, consegue fornecer dados sobre a condição mecânica de cada máquina, determinando o tempo médio

real para falha. Portanto, todas as atividades de manutenção são programadas em uma base “conforme necessário” (COSTA, 2013).

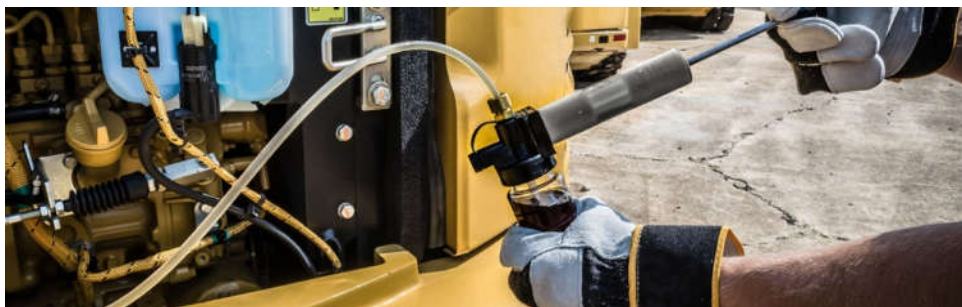
Existem diversas técnicas para o monitoramento dos equipamentos, afim de aplicar a manutenção preditiva, alguns dos mais usuais são a ferrografia, termografia, análise de vibrações, inspeção visual e ultra-som.

A ferrografia é uma técnica que determina o grau de severidade, modos e tipos de desgastes em equipamentos por meio de identificação do acabamento superficial, coloração, natureza e tamanho das partículas em uma amostra de óleo ou graxas lubrificantes de qualquer viscosidade, consistência e opacidade (LAGO, 2007).

A ferrografia é uma técnica de monitoramento e diagnose de condições de máquinas. A partir da quantificação e análise da morfologia das partículas de desgaste (limalhas), encontradas em amostras de lubrificantes, determinam-se: tipos de desgaste, severidade, contaminantes, desempenho do lubrificante etc. Com estes dados torna-se possível à tomada de decisão quanto ao tipo e urgência de intervenção de manutenção necessária. A ferrografia é classificada como uma técnica de manutenção preditiva, embora possua inúmeras outras aplicações, tais como desenvolvimento de materiais e lubrificantes, (BARONI & GOMES).

As técnicas ferrográficas são divididas em dois níveis de análise. Uma quantitativa, consistindo em uma técnica de avaliação das condições de desgaste dos componentes de uma máquina, através da quantificação das partículas em suspensão no lubrificante, e uma analítica, que utiliza a observação das partículas em suspensão no lubrificante.

Figura 3: Técnica de ferrografia



Fonte: Blog de manutenção corretiva

A análise de vibrações é uma das técnicas mais antigas na manutenção. Desde que foi construída a primeira máquina, o homem percebeu que quando ela vibrava ou fazia muito barulho estes sinais eram indicativos de mau funcionamento (KARDEC et. al, 2002).

As estruturas das máquinas, excitadas pelos esforços dinâmicos provocam sinais vibratórios, cuja frequência é idêntica àquelas dos esforços que os tenham provocado. A partir da análise dos sinais vibratórios, é possível tomar decisões de intervir ou não no funcionamento da máquina, fazendo com que esta esteja “disponível” o máximo possível, reduzindo custos com manutenção, tempo de parada da máquina, reduzindo o estoque e melhorando a segurança entre outras (LAGO, 2007).

Alguns dos problemas típicos detectados com a análise de vibrações são desalinhamento entre componentes, defeito de rolamentos, desbalanceamento, excentricidades, roçamentos, dentre outros diversos. Na manutenção preditiva por análise de vibrações, é necessário utilizar técnicas de processamento do sinal vibratório com o objetivo de extrair as informações que permitam correlacionar algumas características do sinal com o estado do equipamento (LAGO, 2007).

Figura 4: Técnica para análise de vibrações



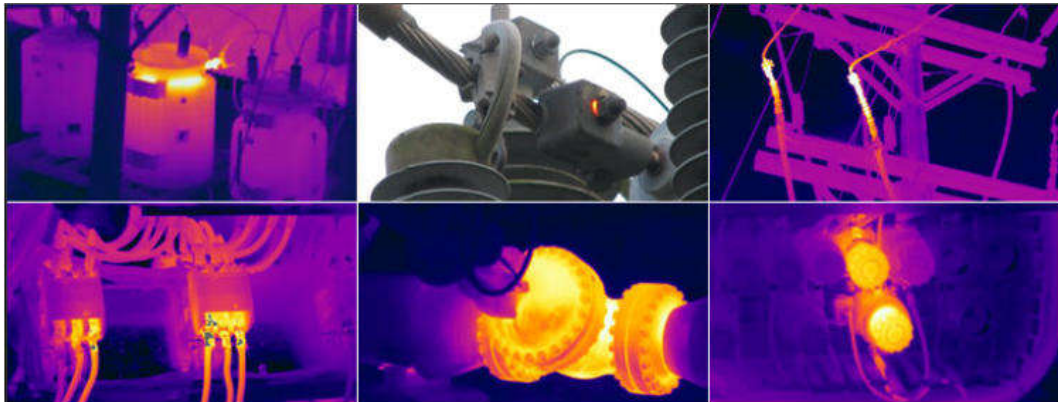
Fonte: Soluções Industriais

A termografia é genericamente definida como a técnica de sensoriamento remoto que possibilita a medição de temperatura e a formação de imagens térmica de um componente, equipamento ou processo, a partir da radiação infravermelha. Através dessa tecnologia é possível detectar em estágio inicial, processos de falha gerados por anomalias térmicas em um determinado componente antes que ocorra interrupção de funcionamento dos equipamentos, podendo classificar e quantificar (MULTIERRI MANUT PREDITIVA, 2017).

Com câmeras sensíveis à radiação infravermelha, é possível efetuar medições de temperatura com o equipamento em seu funcionamento normal, sem que haja o contato do operador com a máquina, garantindo assim uma maior segurança para o operador, além da não necessidade de parada do processo.

Essa técnica se utilizada em equipamentos mecânicos, permite a identificação de problemas causados pelo atrito entre as partes de um equipamento, ou por uma lubrificação insuficiente, ou até mesmo um desalinhamento entre eixos pelo aquecimento nos dispositivos de acoplamento.

Figura 5: Diversas aplicações da termografia



Fonte: http://www.souzacorreia.com.br/index_htm_files/910.jpg, acesso em 24 de abril de 2017

3.4 CONCEITOS

Alguns conceitos devem ser introduzidos, e são definidos de acordo com a norma NBR 5462/1994.

Item: Qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente.

Defeito: Qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos.

Segurança: É definida como a ausência de condições que possam causar morte, danos ou doenças ocupacionais a pessoas, bem como dano ou perda de equipamentos ou de propriedade.

Falha: Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida. A falha é um evento, diferente de pane que é um estado.

Manutenção: Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

3.5 CONFIABILIDADE

De acordo com a ABNT NBR 5462/1994, representa a probabilidade de que um item ou uma máquina sua função requerida em condições esperadas durante um determinado período de tempo ou de ainda estar em condições de trabalho após um determinado período de funcionamento.

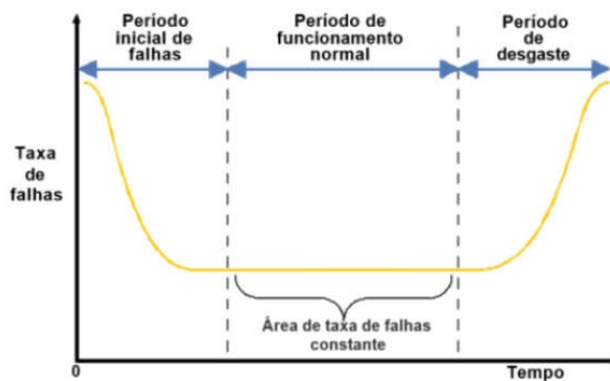
3.5.1 PARÂMETROS DE CONFIABILIDADE

3.5.1.1 CURVA DA BANHEIRA

O comportamento da confiabilidade pode ser representado pela curva da banheira, que ilustra o comportamento típico de um equipamento/componente com relação à taxa de falhas ao longo do tempo. Possui três fases, sendo a primeira denominada mortalidade infantil, quando os componentes fora do padrão, instalação inadequada, componentes defeituosos e com problemas de fabricação são eliminados. A segunda fase representa a vida útil do equipamento, quando em seu funcionamento normal entrando em um patamar

de estabilidade, onde as falhas são relativamente infrequentes e distribuídas aleatoriamente com o tempo. Já a terceira fase, representa o fim da vida útil do equipamento, onde o desgaste normal do uso prolongado e a agressividade do ambiente podem causar a falha em qualquer instante, quando o equipamento já está fora da sua especificação de projeto e requer substituição.

Figura 6: Curva da banheira



Fonte: <http://engjosevilmar.blogspot.com.br/2015/06/quebra-zero-em-manutencao.html>, acesso em 23 de abril de 2017

Em muitas análises de confiabilidade a hipótese inicial é de que todos os equipamentos operam na fase de vida útil, quando a taxa de falha é praticamente constante. Num estágio posterior podemos considerar os efeitos de características de falhas diferentes para os subsistemas identificados como críticos para a operação.

3.5.1.2 INDICADORES DE DESEMPENHO

Os indicadores dão a base para a equipe e os gestores tomarem a decisão correta. Os mais utilizados são os indicadores de qualidade, de custo e de segurança.

MTBF/TMEF: O tempo médio entre falhas (ou em inglês mean time between failure) é um indicador que representa o tempo médio entre a ocorrência de uma falha e a próxima, representa também o tempo de funcionamento da

máquina ou equipamento diante das necessidades de produção até a próxima falha. É um indicador que está relacionado à curva da banheira. É um indicador relacionado à confiabilidade do equipamento. É definido como:

$$TMEF = \frac{\text{Número de horas trabalhadas}}{\text{Número de intervenções}}$$

MTTR/TMPR: Tempo médio para reparo (ou mean time to repair). Esse indicador nos aponta o tempo que a equipe de manutenção demanda para reparar e disponibilizar a máquina ou equipamento para o sistema produtivo. Nesse período estão todas as ações envolvidas no reparo, sejam elas da equipe de compras, de laboratório ou qualquer outra equipe de trabalho. É um indicador relacionado à manutenibilidade. Pode ser definido como:

$$TMPR = \frac{\text{Total de horas de manutenção corretiva}}{\text{Número de intervenções}}$$

MTTF/TMPF: O tempo médio para falha ou mean time to failure é o tempo médio durante o qual um item funciona até falhar. É a vida média do item. Pode ser usado para determinar se um sistema redesenhado é melhor que o sistema anterior. É utilizado para equipamentos em que as falhas significam descarte, como rolamentos.

Custo de manutenção: Esse é um dos principais indicadores da atividade de manutenção, representando a somatória básica das seguintes parcelas: custos de intervenção de manutenção (recursos materiais, sobressalentes e mão de obra), custos próprios (internos) da equipe de manutenção, tais como administração, treinamento, etc e os custos de perdas de produção (se houver) e o custo da perda de oportunidade pela falta do produto se houver demanda. Normalmente as empresas acompanham apenas os custos de intervenção, mas devem no mínimo acompanhar também os custos próprios.

Hora de impedimento: Esse indicador representa todo e qualquer tempo dispendido com ações que não dependem diretamente da ação do grupo da manutenção, ou seja, demandam ações de outras equipes, tais como a de compras, de projetos, de laboratório, etc.

Hora parada ou hora indisponível: Representa o tempo entre a comunicação de indisponibilidade da máquina ou equipamento até a sua liberação/aprovação para funcionamento normal ou produção. É importante o acompanhamento desse indicador para ter um controle sobre o funcionamento dos ativos, visando conhecer a disponibilidade do equipamento para o processo produtivo.

BACKLOG: É o tempo em que a equipe de manutenção deve trabalhar para concluir os serviços em espera, sem que cheguem novas ordens de serviço. É importante pois relaciona a demanda de serviços e a capacidade de atendê-los.

ÍNDICE DE RETRABALHO: Qualquer atividade ou processo que por algum motivo teve que ser refeito (ordens de serviço reabertas), gerando um custo adicional e um impacto na linha de produção.

ÍNDICE DE CORRETIVA: Fornece a real situação, da ação, planejamento e programação, indicando o percentual das horas de manutenção que foram dedicadas em corretiva. Um patamar aceitável deve estar abaixo de 25% do total de horas de manutenção na planta. Um índice acima de 50% indica problemas na manutenção, visto que sua programação será frequentemente interrompida.

ÍNDICE DE PREVENTIVA: É o oposto do índice de corretiva, onde quanto maior o valor deste indicador, melhor para a manutenção. Se o índice está acima de 75%, há uma tranquilidade no processo, com uma rotina bem definida, e consequentemente uma liberação de recursos para a busca da melhoria contínua.

3.5.1.3 MANUTENABILIDADE

É definida como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, mediante condições preestabelecidas de uso, quando submetido à manutenção sob condições predeterminadas e usando recursos e procedimentos padrão. A manutenibilidade é um fator essencial no estabelecimento da disponibilidade de uma unidade.

3.5.1.4 DISPONIBILIDADE

De acordo com a ABNT NBR 5462/1994, é definida como a capacidade de um item, mediante manutenção apropriada, desempenhar sua função requerida em um determinado instante do tempo ou em um período de tempo predeterminado. O conceito de disponibilidade varia conforme a capacidade de reparo de uma unidade. Em unidades não-reparáveis, os possíveis estados da unidade em um tempo t de análise são funcionando ou em manutenção (sofrendo reparo).

A disponibilidade de um item (equipamento ou sistema) não implica que o mesmo esteja funcionando, mas que o mesmo se encontra em condições de funcionar.

3.6 O PROCESSO DA COQUERIA E A MÁQUINA HOTCAR

Os sistemas hidráulicos da área de coqueria tem por objetivo a movimentação dos diversos dispositivos de máquinas móveis destinados à coqueificação do carvão mineral cujo fim é a produção de coque para utilização como combustível no alto-forno visando à redução do minério de ferro em ferro gusa (NASCIMENTO et al., 2014).

O coque é o ingrediente chave na produção de aço. É feito através do aquecimento de carvão metalúrgico em larga escala, a mais de 1090 °C em fornos especialmente projetados, que deixa para trás um produto rico em

carbono chamado coque, livre de contaminantes que estão presentes no carvão, garantindo assim um aço de maior qualidade. O coque é enviado para uma siderúrgica onde é misturado com minério de ferro e outros elementos, como cal, e aquecido novamente em um alto forno que faz parte da produção de aço. São produzidas 4 toneladas de coque por dia, além de 165 MW de energia como subproduto. O coque possui o mesmo poder calorífico do carvão.

Ainda na área de coqueria tem-se os sistemas hidráulicos de maior criticidade da planta (sistemas hidráulicos de reversão de gás coquerias), em que uma eventual falha pode gerar não só uma parada operacional, mas também uma perda de ativo (bateria de coque) uma vez que são responsáveis pelo controle do aquecimento dos fornos e os refratários utilizados na produção destes possuem a característica de que, uma vez aquecidos, não mais podem ser resfriados sob risco de dano irreversível à estrutura da bateria de fornos em si devido à degradação daqueles (NASCIMENTO et al., 2014).

Os sistemas hidráulicos possuem a função de transformar, em situações de controle operacional, energia de pressão gerada nas estações de bombeamento em energia cinética nos atuadores, causando assim as diversas movimentações necessárias à operação dos equipamentos produtores de coque (NASCIMENTO et al., 2014).

A máquina Hot Car, do inglês significa “carro quente”, é a máquina que faz o transporte do coque já pronto até a *quench tower*, ou torre de resfriamento, por cerca de 100 metros sob um trilho de trem. A máquina pesa em torno de 200 toneladas, e para fazer o movimento da máquina são utilizados 2 motores poclain MS35, que são o coração da máquina, acoplados diretamente na roda sem nenhum redutor, conseguindo atingir uma velocidade em torno de 30 km/h. São 4 máquinas, cada uma com 2 motores instalados, totalizando 8 motores. Tanto a entrada de óleo quanto a saída do motor são de mesmo diâmetro, hora um funciona como pressão e o outro retorno, hora inverte o sistema para mudar sentido de movimento da máquina.

Figura 7: Máquina Hot Car



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=ArUbB5KTmj0>, acesso em 06 de jul de 2017.

3.7 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)

Os princípios e aplicações da Manutenção Centrada em Confiabilidade foram documentados na publicação de Stan Nowlan e Howard Heap em 1978, através da análise da política de manutenção no setor de transporte aéreo no final dos anos 1960, demonstrando que não existe uma forte correlação entre a taxa de falhas, além de provar que a premissa básica de manutenção baseada em tempo era falsa para a maioria dos equipamentos (FERREIRA, 2009).

A MCC pode ser definida como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos continuarão realizando suas funções especificadas. Permite que as empresas alcancem excelência nas atividades de manutenção, ampliando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo custos associados a acidentes, defeitos, reparos e substituições (FOGLIATTO E RIBEIRO, p. 217).

Fogliatto e Ribeiro afirmam ainda que é necessário o envolvimento de toda a equipe, incluindo engenheiros, técnicos, operadores, para a eficácia da MCC. Além disso, é importante enfatizar o estudo das consequências das falhas, que

direcionam todas as tarefas de manutenção. Também é importante combater as falhas escondidas, que podem reduzir a confiabilidade do sistema.

A MCC começa identificando a funcionalidade ou desempenho requerido pelo equipamento no seu contexto operacional, identifica-se os modos de falha e as causas prováveis e então detalha os efeitos e consequências da falha. Isto permite avaliar a criticidade das falhas e identificar consequências significantes que afetam a segurança, a disponibilidade ou custo. A metodologia permite selecionar as tarefas adequadas de manutenção direcionadas para os modos de falha identificados (SEIXAS, 2008).

4. MATERIAL E MÉTODO

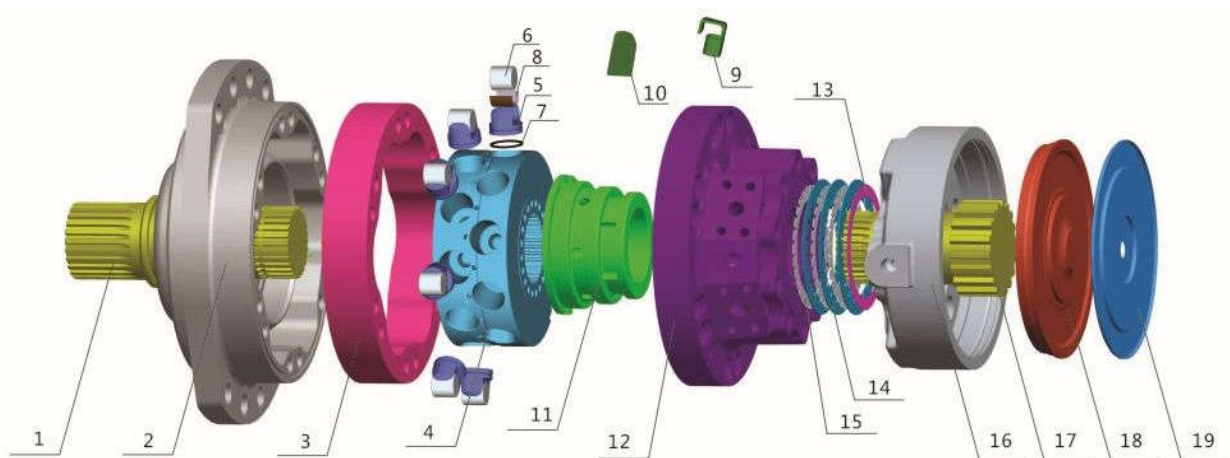
4.1 MATERIAL

O equipamento em estudo é utilizado na área da coqueria, acoplado na máquina Hot Car para o deslocamento da mesma, para o transporte do coque até a torre de resfriamento do mesmo, na ArcelorMittal Tubarão, empresa contratante dos serviços de manutenção corretiva, localizada na Serra – ES, é um equipamento da fabricante Poclain Hydraulics, série MS35, com as seguintes características, retiradas do catalogo da mesma:

- Torque máximo à 100 bar = 6675 Nm;
- Potência máxima = 110 kW ou 148 HP;
- Deslocamento máximo = 4198 cm³/rev;
- Pressão máxima = 450 bar.

O modelo em questão possui freio interno, composto de 8 discos com dentes internos e 8 discos com dentes externos, que são chamados de freio dyna ou freio de posicionamento da máquina Hot Car. A seguir na figura 8, é apresentado uma vista explodida do Poclain MS35 e a identificação das principais partes do mesmo:

Figura 8: Componentes do Motor Poclain MS35



Fonte: Arquivos internos Hesidral

1 – Eixo de transmissão; 2 – Flange; 3 – Anel elíptico ou estator; 4 – Bloco ou rotor; 5 – Pistão de êmbolo; 6 – Rolete; 7 – Anel do pistão; 8 – Casquilho/Mancal; 9 – Trava, 10 – Bloco de plástico; 11 – Distribuidor; 12 – Contra-capac; 13 – Rolamentos pista; 14 – Freio dinâmico; 15 – Freio estático; 16 – Cilindro de freio; 17 – Eixo do freio. O MS35 ainda apresenta rolamentos, que se encaixam no eixo principal e são apoiados no flange.

Motores hidráulicos são motores que se diferenciam dos demais motores pela sua construção, característica e aplicabilidade, o que para outros tipos de motores talvez os locais aos quais são empregados tornariam desfavoráveis para se trabalharem, suas características potenciais estão no volume de absorção, na pressão máxima, nas faixas de rotações e torques desejados.

Porque se faz necessário a utilização de um motor hidráulico? Devido à eficiência, com pouquíssima perda, além de entregar alto torque e rotação, característico de um sistema hidráulico. Os motores hidráulicos possuem inúmeras vantagens, mas o que interessa em um projeto, é saber que torque e rotação o motor poderá fornecer, de acordo com sua construção.

O motor em estudo se destaca por ser um dos poucos motores no mercado que entregam alta velocidade, alto torque (necessário na partida para vencer o atrito da máquina de 200 toneladas) com baixo volume de óleo, além de possuir freio interno para posicionamento da máquina.

Figura 9: Poclain MS35 instalado na máquina Hot Car



Fonte: Arquivos internos ArcelorMittal

Além do motor Poclain, na máquina Hot Car temos também uma bomba hidráulica da fabricante Sauer Danfoss, modelo 27M, série exclusiva desenvolvida para a Arcelor, que manda pressão para o motor hidráulico, um motor elétrico com 60 HP e 1800 rpm para comandar a bomba hidráulica, sendo que a bomba pode trabalhar com uma pressão de até 400 bar. O circuito é fechado, sendo que não é necessário grande volume de óleo, apenas o suficiente para preencher os componentes do sistema, onde o óleo circula em todos os equipamentos sem retornar ao tanque. Por esse motivo, qualquer particulado presente no sistema de óleo é prejudicial aos equipamentos, qualquer desgaste interno no Poclain já causa uma perda no seu desempenho. Os dados reais de trabalho do Poclain são:

- Pressão = 240 bar na partida, para sair da inércia e vencer o atrito estático, chegando à 60 bar durante o movimento.
- Rotação = 400 RPM;
- Temperatura máxima = 60°C, caso ultrapasse esse valor a máquina é automaticamente desligada e deve ser feito um resfriamento manual;
- Pressão de acionamento do freio: 30 bar.

Figura 10: Esquema simplificado da transformação da energia ao longo da máquina Hot Car



Fonte: Elaborado pelo autor

O Poclain é um componente “sensível”. Qualquer impureza que esteja presente no sistema é prejudicial ao mesmo, pois qualquer desgaste que essa impureza venha causar, já impacta diretamente no funcionamento do equipamento, com

uma consequente queda no desempenho, e por isso deve-se ter um cuidado especial com o mesmo.

Ao receber o equipamento, pode-se constatar que o ambiente é agressivo, sendo necessário cuidados especiais com o equipamento. É uma área com muitas impurezas, e o motor encontra-se muito próximo ao chão, o que acaba deixando o Poclain mais susceptível à contaminação por particulados presentes no ambiente, sendo estes proveniente principalmente do carvão.

Figura 11: Poclain recebido para manutenção



Fonte: Arquivos internos Hesidral

Pode-se perceber que o equipamento acima encontra-se com muitas impurezas em sua parte externa, sendo provenientes do ambiente em que trabalham, ambiente prejudicial ao equipamento. Esse motor em questão foi recebido no mês de outubro de 2016, sendo que os defeitos encontrados antes da peritagem foram de vazamento pela carcaça. Após desmontagem do mesmo, constatou-se que os discos de freio se encontravam muito desgastados, e os particulados do freio ocasionaram avarias em outros componentes do motor, conforme será discutido mais à frente.

Figura 12: Poclain após montagem, teste e pintura nas instalações da Hesidral, pronto para retornar à área da ArcelorMittal



Fonte: Arquivos internos Hesidral

4.2 MÉTODO

O estudo foi realizado com o auxílio de técnicos que realizam a manutenção corretiva no motor, um engenheiro mecânico e profissionais da área da Arcelor. Foi concedido uma visita técnica às instalações da mesma, para conhecimento da máquina onde o Poclain atua, na área da coqueria, além da obtenção de parâmetros de funcionamento e parâmetros do sistema e demais componentes da máquina.

O equipamento escolhido para o estudo desenvolvido aqui é um equipamento com alto custo de manutenção corretiva, além de apresentar um custo alto de aquisição, sendo necessário fazer a importação. São 2 motores utilizados em cada máquina Hot Car, sendo 4 máquinas, totalizando 8 motores instalados na área de coqueria na ArcelorMittal. Apesar de ter 12 motores em estoque para reposição, a mesma não é imediata, sendo necessário o deslocamento de recursos e pessoas para substituição do componente avariado, levando cerca de 4 a 5 horas para substituição do motor, além de representar um custo elevado de manutenção para reparo dos mesmos. Outra questão é que um motor que falhou não retorna rapidamente a funcionar. Leva um tempo de no máximo 25 dias para ocorrer o reparo, após a aprovação do orçamento, e

ainda são realizados testes na empresa contratante (Arcelor) antes de ser recolocado na área. Leva no mínimo 1 mês para reposição do motor em estoque. Pensando na redução de paradas para substituição e manutenção corretiva através do aumento da vida útil, além do aumento da confiabilidade do equipamento, o estudo foi desenvolvido juntamente de profissionais de manutenção das duas empresas, tanto a ArcelorMittal, contratante, dona do equipamento, quanto pela Hesidral, empresa terceirizada que presta serviços de manutenção corretiva em equipamentos hidráulicos.

Cada motor custa para um cliente R\$ 200 mil, já com a conversão e taxas de importação. A manutenção corretiva em cada motor custa em média R\$ 50 mil. O custo é multiplicado por 8, pois são 8 motores em funcionamento. Mesmo se fosse apenas um, nenhuma empresa quer gastos desnecessários. Além do mais, a empresa contratada para realização da manutenção deve sempre propor melhorias para os equipamentos, item que consta no contrato entre as empresas, ou seja, é de obrigação da Hesidral a proposição de mudanças, nem que estas sejam mínimas, mas que aumentem a vida útil dos equipamentos, além de um ganho de confiança e respeito da empresa contratante.

À primeira vista, é estranho pensar em “redução da parada para manutenção corretiva”, do ponto de vista da Hesidral. Mas ao parar para pensar, não adianta dezenas de motores Poclain MS35 falharem devido a avarias internas, tomar tempo com transporte, desmontagem e peritagem e a empresa contratante não aprovar os orçamentos feitos pela Hesidral, devido ao grande custo de manutenção corretiva proposto pela mesma (valores de contrato), onde o alto custo é relativo à maioria das peças que acabam sofrendo avarias. É interessante um aumento da vida útil do equipamento, ou no mínimo que se consiga evitar a falha de alguns componentes internos (reduzindo assim o custo com manutenção corretiva), como exemplo os discos de freio sinterizados, que com a substituição da vedação correta, podem deixar de falhar e acarretar em um grande dano às demais partes, conforme será descrito no próximo item. Para a Hesidral, o importante é pensar não a curto prazo, mas sim pensando à longo prazo, para que no fim do contrato o mesmo

possa ser renovado devido ao trabalho realizado de confiança, qualidade e as melhorias que vêm sendo implementadas nos equipamentos.

Os dados utilizados no estudo, foram coletados desde o início do contrato de manutenção entre a ArcelorMittal e a Hesidral (julho/2016). Para cada motor Poclain recebido, além da peritagem e orçamento, era feito um relatório técnico fotográfico descrevendo as avarias nas partes do equipamento, construindo assim um histórico de manutenção corretiva. Com os relatórios em mãos, foi possível verificar as principais falhas que já ocorreram, para que pudesse ser elaborada a tabela FMEA, para auxílio no estudo e imposição de tarefas recomendadas para determinados itens, em uma tentativa de aumento da confiabilidade.

Com os dados das falhas já ocorridas em mãos, partiu-se para o preenchimento da tabela FMEA. Nesse estudo, a tabela foi feita para os itens que compõem o motor Poclain, ou seja, para os componentes internos, onde estes já foram causas de parada do equipamento para manutenção corretiva. Cada item do motor tem uma função requerida, falha de uma forma diferente, com efeitos diferentes e ações recomendadas diferentes, mas um item pode estar relacionado a outro. As vedações por exemplo, já causaram diversas falhas, por exemplo já ocasionaram desgaste excessivo nos discos de freio.

De acordo com o item e os efeitos que as falhas daquele item trazem para a máquina e para o ambiente/pessoas, foi feita uma classificação da severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), através de uma lógica matemática e estatística que visa um melhor conhecimento das falhas, causas e efeitos. Como toda ferramenta de confiabilidade, a FMEA não deve ser vista como uma solução para todos os tipos de problema ou aplicável em toda situação, mas como indicadora de alterações de projeto ou de equipamento em funcionamento para obtenção de melhores resultados, ações de manutenção e atividades direcionadas para redução de risco de falha.

De acordo com o grau de criticidade da falha, representada pelo risco $R = S \times O \times D$, são propostas algumas ações na tentativa de reduzir as falhas e aumentar assim a confiabilidade do equipamento. As ações propostas podem

ser desde ações simples, como a utilização de componentes originais até o reprojetado do componente.

4.3 QUESTÕES BÁSICAS DA MCC

Sobre essa etapa do processo, Fogliatto e Ribeiro (p. 218) escrevem que de acordo com John Moubray em 1997, existem sete questões básicas que devem ser contempladas pelos programas de MCC:

- (i) Quais as funções e padrões de desempenho esperados para os equipamentos fabris?
- (ii) De que modo os equipamentos podem falhar em cumprir suas funções?
- (iii) O que causa cada falha funcional?
- (iv) O que acontece quando cada falha ocorre?
- (v) De que forma cada falha interessa?
- (vi) O que pode ser feito para prevenir ou impedir cada falha?
- (vii) O que deve ser feito quando não pode ser estabelecida uma atividade pró-ativa pertinente?

A definição das funções e padrões de desempenho dos equipamentos fabris estabelece a base de trabalho do programa de MCC. Todos devem compreender o que é esperado de cada equipamento, as funções que ele deve cumprir e o padrão de desempenho que deve ser mantido durante sua vida útil.

É importante entender que cada componente da planta possui funções primárias e secundárias que devem ser mantidas. As funções primárias correspondem àquilo que o equipamento deve fazer em primeiro lugar, por exemplo um motor deve mover uma correia transportadora. Mas sua função secundária pode ser assegurar baixa vibração, baixo ruído e nenhum vazamento de óleo. Todas essas funções devem ser identificadas para a correta aplicação da MCC.

4.4 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

A ABNT, na norma NBR 5462/1994, adota a sigla FMEA originária do inglês e a traduz como Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos. Observa-se que a norma utiliza o termo pane para expressar falha. Ainda segundo a norma, o FMEA é um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada item, e a determinação dos defeitos de cada modo de falha sobre os outros itens e sobre a função específica do conjunto (SAKURADA, 2001).

Segundo Moubray, uma vez identificado o modo de falha, é possível prever seu motivo e assim decidir o que deveria ser feito para antecipar, prevenir, detectar ou corrigir o mesmo. Diversos métodos de análise de confiabilidade foram desenvolvidos com o passar do tempo. Dentre eles, temos a Análise de Árvore de Falha (FTA) e a FMEA, que é a mais utilizada na manutenção centrada em confiabilidade.

FMEA é uma técnica analítica utilizada por um engenheiro/time como uma maneira de garantir que, até a extensão possível, os modos potenciais de falha e suas causas/mecanismos associados tenham sido considerados e localizados. Na sua forma mais rigorosa, o FMEA é um sumário do conhecimento do engenheiro/time (incluindo uma análise de itens que poderiam falhar baseado na experiência e em assuntos passados) de como um produto ou processo é desenvolvido (SAKURADA, 2001).

A FMEA é uma técnica de confiabilidade que tem como objetivos: (i) reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, (ii) identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas, e (iii) documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo (FOGLIATTO E RIBEIRO, 2009, p. 173).

A FMEA de projeto é uma técnica analítica utilizada pela equipe ou engenheiro de projeto como um meio para assegurar que os modos potenciais de falha e seus respectivos efeitos e causas serão considerados e suficientemente discutidos. A FMEA de projeto auxilia a reduzir os riscos de falha, uma vez que

ajuda na avaliação objetiva dos requerimentos de projeto, ampliando a probabilidade de que todos os modos potenciais de falha e seus respectivos efeitos serão analisados.

Inicialmente, o engenheiro responsável pela condução do estudo de FMEA deve reunir a equipe de trabalho. A equipe deve conter participantes com conhecimento das diversas áreas envolvidas. Paralelamente, o engenheiro deve reunir documentos que servirão de suporte ao desenvolvimento da FMEA. O estudo deve se iniciar listando as características que o projeto deve satisfazer e aquelas que ele não precisa satisfazer. Logo de início o diagrama de bloco do item em estudo deve ser desenhado, indicando relações físicas e funcionais entre os elementos que compõem o item em estudo (FOGLIATTO E RIBEIRO, 2009, p. 176).

Uma vez reunida a equipe, os documentos de suporte e o diagrama de bloco, a análise FMEA é feita pelo preenchimento de uma tabela, para facilitar o estudo. Alguns campos devem ser preenchidos, são eles:

- (i) CABEÇALHO: É particular de cada empresa. Em geral, contém o número da FMEA, a identificação do item, o modelo ao qual ele corresponde, o departamento responsável pelo estudo, os dados do coordenador do estudo, os dados do participante e a data do documento.
- (ii) ITEM/FUNÇÃO: As primeiras colunas compreendem a especificação do item e sua função. Isso pode exigir, por exemplo, quatro colunas: (i) subsistema, (ii) conjunto, (iii) componente, (iv) função. Se o item tem mais de uma função, que provavelmente estarão associadas com diferentes modos de falha, então devem ser listadas cada uma dessas funções separadamente.
- (iii) MODOS POTENCIAIS DE FALHA: Neste momento inicia o trabalho técnico propriamente dito. Os participantes da equipe analisam o primeiro item e indicam modos de falha potenciais. O modo potencial de falha é definido como a maneira com que um item pode falhar em atender aos requisitos do projeto. Devem ser

listados todos os modos potenciais de falha pertinentes a cada item ou função.

- (iv) **EFEITOS POTENCIAIS DE FALHA:** São definidos como aqueles defeitos, resultantes dos modos de falha, conforme seriam percebidos pelo cliente. Em geral, a cada modo de falha corresponde um efeito. O efeito deve ser descrito em função do que o cliente pode observar, como ruído, vibração, folga, operação intermitente.
- (v) **SEVERIDADE (S):** Neste item é feita uma avaliação qualitativa da severidade do efeito listado na coluna anterior. A severidade é medida por uma escala de 1 a 10, onde 1 significa efeito pouco severo e 10 significa efeito muito severo. A severidade aplica-se exclusivamente ao efeito. A equipe de FMEA deve chegar a um consenso a respeito do critério a ser utilizado, e então, usá-lo consistentemente. A tabela para severidade encontra-se no apêndice A.
- (vi) **CLASSIFICAÇÃO:** Esta coluna pode ser usada para classificar qualquer característica do item que possa requerer um controle especial. Entre as possíveis classificações, podem aparecer: crítico para segurança, para qualidade, alterada a função, itens novos, etc.
- (vii) **CAUSAS/MECANISMOS POTENCIAIS DE FALHA:** Esta é uma das etapas mais importantes do estudo, na qual se busca identificar a raiz do problema. Dois aspectos contribuem para a FMEA gerar resultados consistentes: (i) o trabalho em equipe, que permite somar conhecimentos, e (ii) o trabalho sistemático, que contribui para garantir que todos os elementos serão considerados. A causa potencial de falha pode ser entendida como uma deficiência no projeto, cuja consequência é o modo de falha. Causas de falha típica são: especificação incorreta de material, vida útil inadequada, sobrecarga, lubrificação insuficiente, proteção insuficiente ao ambiente, etc. Enquanto mecanismos de falha típicos, podem ser citados: fadiga,

escoamento, instabilidade elástica, deformação lenta, desgaste, corrosão, fusão, etc.

- (viii) **OCORRÊNCIA:** Se relaciona com a probabilidade que uma causa ou mecanismo listado anteriormente venha a ocorrer. A avaliação da ocorrência também é feita usando-se uma escala qualitativa de 1 a 10. A escala relaciona-se com a taxa de falha, mas não é diretamente proporcional a esta última. A tabela para ocorrência encontra-se no apêndice B.
- (ix) **DETECÇÃO (D):** Refere-se a uma estimativa da habilidade dos controles atuais em detectar causas ou modos potenciais de falha antes de o componente ou subsistema ser liberado para produção. Também é usada uma escala qualitativa de 1 a 10, onde 1 representa uma situação favorável (modo de falha será detectado) e 10 representa uma situação desfavorável (modo de falha, caso existente, não será detectado). A tabela para detecção encontra-se no apêndice C.
- (x) **RISCO (R):** É calculado para priorizar as ações de correção e melhoria do projeto. Leva em conta a severidade, ocorrência e detecção. A fórmula em geral empregada para a avaliação do risco é a multiplicação simples desses três itens: $R = S \times O \times D$. Como pode ser visto, o risco cresce à medida que cresce a severidade, a probabilidade de ocorrência e a probabilidade de não detecção. Quanto maior o risco, mais atenção deve ser dada pela equipe naquele item. Para um mesmo valor de risco com diferentes combinações das parcelas, é mais grave a situação em que a severidade é maior, seguida da situação em que a probabilidade de não detecção é maior.
- (xi) **AÇÕES RECOMENDADAS:** Devem se dirigir aos itens com maior risco. As ações recomendadas devem ser de tal natureza que reduzam a severidade do efeito, a probabilidade de ocorrência ou a probabilidade de não detecção. Objetivamente, as ações recomendadas representam o que será corrigido e melhorado no projeto. Assim, elas constituem o principal resultado da FMEA.

- (xii) **AÇÕES EFETUADAS:** Nessa coluna, entra-se com uma breve descrição das ações de correção e melhoria efetivamente implantadas e com a correspondente data de implantação. Algumas vezes, não é possível realizar aquilo que foi idealizado na FMEA.
 - (xiii) **RISCO RESULTANTE:** Depois que as ações corretivas tiverem sido identificadas, mas antes de serem efetuadas, faz-se uma estimativa da situação futura para severidade, ocorrência e detecção. Se nenhuma ação é prevista, essas últimas colunas permanecem em branco.
- (FOGLIATTO E RIBEIRO, 2009, p. 177-185)

5. RESULTADOS

Devido a importância do motor poclain para a máquina Hotcar no processo da coqueria, além do seu alto custo de manutenção corretiva, justifica-se a utilização da MCC para aumentar a confiabilidade do sistema e reduzir o custo com paradas de manutenção, através de um estudo aprofundado em cima das falhas que já ocorreram a partir da segunda metade do ano de 2016 e nos primeiros meses de 2017. Para tal, a ferramenta FMEA foi escolhida, pois é um método que relaciona as falhas com as causas e os efeitos que essas falhas podem trazer, além de permitir uma constante melhoria da análise.

Deve-se iniciar a elaboração da FMEA adequada para o equipamento, juntamente do auxílio de uma equipe multidisciplinar (engenheiros, técnicos e demais pessoas envolvidas), através da determinação das funções associadas ao equipamento, ou das funções dos componentes do equipamento, como é o caso do motor poclain, onde alguns dos componentes à exemplo das vedações, já ocasionaram falhas no equipamento. É importante determinar de acordo com as três tabelas no apêndice A, B e C, a severidade do efeito (se a falha é perigosa, se afeta minimamente o sistema, etc), a ocorrência (se tais falhas ocorrem com frequência ou não), além do quão fácil é detectar essas falhas. É importante que se mantenha a FMEA atualizada, para que a confiabilidade do equipamento seja aumentada cada vez que novas falhas ocorram.

A seguir, é apresentado a tabela FMEA, onde é importante observar os modos de falha que apresentam o maior risco (R), que leva em consideração a severidade, ocorrência e detecção, sendo um fator que indica a maior criticidade daquele componente. A coluna de Matriz de decisão é baseada no fluxograma proposto por Moubray. Indica se há a possibilidade de haver uma ação preventiva para o modo de falha. Caso não tenha, a ação deve ser corretiva, ou até mesmo o reprojeito.

Figura 13: Tabela FMEA do Motor Hidráulico Poclain MS35

EQUIPAMENTO: MOTOR HIDRÁULICO POCLAIN						MODELO DO ITEM/FABRICANTE: MS35/POCLAIN HYDRAULICS						
PARTICIPANTES: PEDRO HERINGER						COORDENADOR: OSWALDO FILHO						
DEPARTAMENTO RESPONSÁVEL: ENGENHARIA MECÂNICA						DATA: 21/05/2017						
Componente	Função	Falha funcional	Modos de falha	Causas	Efeito	Valores escolhidos de acordo com a tabela de				Matriz de decisão	Tarefas propostas	
						S	O	D	R		Ação recomendada	
Fluido Hidráulico (Óleo)	Lubrificação, dissipação do calor e transmissão de potência	Não dissipar o calor corretamente, lubrificação inadequada	Variação da viscosidade: Baixa viscosidade; Excesso de partículas contaminantes.	Aumento excessivo da temperatura	Aceleração do desgaste dos componentes	7	3	3	63	TAREFA SOB CONDIÇÃO PROGRAMADA	Melhoria do trocador de calor	
				Falha no trocador de calor	Perda do poder lubrificante	7	3	3	63	TAREFA SOB CONDIÇÃO PROGRAMADA	Utilização de aditivo no óleo para aumentar viscosidade	
				Pressão elevada	Ruído	3	2	3	18	TAREFA SOB CONDIÇÃO PROGRAMADA	Alívio de pressão	
				Falha no filtro ou falha na execução da manutenção apropriada	Maior desgaste dos componentes, emperramento ou entupimento de componentes (nas folgas entre partes móveis)	8	3	5	120	TAREFA SOB CONDIÇÃO PROGRAMADA	Utilização do filtro com a porosidade adequada e manutenção adequada no equipamento com atenção à particulados, flushing, PIG de limpeza, limpeza do tanque	
Freio	Frenagem do motor	Não liberação do freio	Desgaste excessivo dos discos	Vazamentos internos decorrentes da vedação de perfil redondo	Contaminação do óleo com os particulados do freio, ocasionando grande desgaste às demais partes do motor.	8	6	5	240	TAREFA SOB CONDIÇÃO PROGRAMADA	Avaliar vedações e utilizar discos de freios com materiais recomendados pelo fabricante em papel kevlar que não solta particulados metálicos	
Bloco e pistões do bloco	Transmissão do torque e rotação	Redução na capacidade de transmissão do torque e redução da rotação	Desgaste excessivo dos pistões e dos locais de encaixe dos pistões no bloco	Particulados presentes no sistema de óleo, ou proveniente do desgaste dos discos de freio	Grande desgaste na parede interna do anel elíptico, local onde os pistões trabalham durante a rotação normal do equipamento	7	5	5	175	TAREFA SOB CONDIÇÃO PROGRAMADA	Limpeza e filtragem do sistema de óleo, reterdo particulados sólidos	
Vedações	Garantir a correta vedação sem vazamentos e sem perda de pressão	Não garantir a correta vedação do equipamento	Degradação do material da vedação	Material do elastômero aplicado nas vedações internas do equipamento inadequada	Vazamento e perda de pressão	9	5	2	90	REPROJETO PODE SER DESEJADO	Padronização das vedações junto ao fornecedor, em viton e resistente a altas temperaturas	
			Vazamentos internos	Formato do perfil da vedação inadequado	Diminuição da vida útil do equipamento, além de ocasionar desgaste dos discos de freio.	9	6	6	324	REPROJETO PODE SER DESEJADO	Substituição do perfil da vedação: de circular para retangular	
Rolamentos de rolos cônicos	Transmissão do movimento de rotação	Perda de eficiência na transmissão do movimento	Travamento do rolamento, redução da vida útil e quebra do rolamento	Particulados presentes no sistema de óleo	Desgaste nas demais partes do equipamento, decorrentes das partes quebradas dos rolamentos	7	7	5	245	TAREFA SOB CONDIÇÃO PROGRAMADA	Limpeza e filtragem do sistema de óleo com diálise, para remoção e retenção dos particulados	
	Assegurar sua exatidão giratória	Desbalanceamento	Vibração excessiva e quebra do rolamento	Rolamentos de baixa qualidade		7	6	5	210	TAREFA SOB CONDIÇÃO PROGRAMADA	Utilizar somente rolamentos originais de boa qualidade	
Distribuidor	Garantir a distribuição da pressão para ocorrer a rotação do eixo	Não distribuição correta da pressão	Desgaste excessivo em sua parte inferior	Particulados no óleo, ou dos discos de freio ou rolamentos	Equipamento pode não funcionar corretamente, com perda de potência e rotação	7	2	6	84	TAREFA SOB CONDIÇÃO PROGRAMADA	Limpeza do sistema de óleo e correção dos problemas dos rolamentos e discos de freio	

Fonte: Elaborado pelo autor

De início, a questão mais preocupante que está presente em todo sistema hidráulico, são os particulados, ou seja, impurezas presentes no óleo que causam desgaste ou até mesmo a falha nos componentes. É de extrema importância a realização de uma limpeza em todo o sistema hidráulico a fim de eliminar tais impurezas. Não adianta a manutenção dos equipamentos que compõem a máquina (bombas, motores, cilindros, mangueiras, divisores de fluxo e demais componentes) sem que seja feita uma limpeza no sistema hidráulico. Faz-se necessário então uma manutenção e limpeza do circuito hidráulico a fim de detectar tais particulados sólidos no sistema. Os elementos filtrantes do sistema devem ser substituídos por novos se necessário, seja por fim da vida útil ou caso a porosidade não esteja adequada. Pode ser feito um flushing no sistema, para limpeza de tubulações, através de um fluido hidráulico de baixa viscosidade (auto-limpante), sob velocidade, energia e temperatura controladas para que a sujeira seja removida e as partículas que prejudicam o desempenho do equipamento sejam desalojadas. Pode também ser utilizado PIGs de limpeza, para remoção de partículas que possam estar alojadas nas mangueiras e conexões, e mesmo em mangueiras novas podem apresentar impurezas em seu interior, que pode ser proveniente do armazenamento incorreto do material. Deve ser feita também uma limpeza no reservatório do óleo e nas válvulas do sistema, dessa forma eliminando ao máximo os particulados e evitando que os equipamentos venham a falhar antes do tempo previsto.

Conforme conversa com o chefe de uma das áreas da coqueria, a empresa possui manutenção preditiva, com análise ferrográfica para verificação dos particulados presentes no óleo, se são de bronze, de base metálica, para detecção de qual equipamento sofreu desgaste interno. A empresa também faz a manutenção preventiva, a cada 1 mês o filtro do sistema é substituído. Ao substituir, é verificada a grande quantidade de particulados metálicos retidos no filtro, o que confirma que o maior problema do sistema é a presença de contaminantes.

Já à exemplo de reprojeto, tem-se o formato das vedações (perfil circular) e o material das mesmas, que deveriam garantir a correta vedação do equipamento, evitando vazamentos internos e externos, o que acabava não

ocorrendo da forma correta, ocasionando vazamentos internos, não sendo possível prever tal acontecimento. Essa situação acaba prejudicando o funcionamento do freio do motor, onde o vazamento interno implica na aplicação do freio com o equipamento em funcionamento, o que gera danos aos discos, e conseqüentemente acarreta danos aos demais componentes do equipamento, como rolamentos, bloco e pistões, além de desgaste na parede interna do anel elíptico, devido aos particulados metálicos dos discos de freio desgastados. Faz-se necessário a reavaliação do kit de vedação do equipamento. Durante o desenvolvimento do trabalho, foi feita a substituição do perfil da vedação, de circular para quadrado, além da substituição por um material resistente a temperaturas mais altas, corrigindo também o problema da degradação das vedações. Com isso, foi possível estender a vida útil do motor, evitando o problema de acionamento do freio “involuntariamente” com o equipamento em funcionamento.

Já com relação a deficiência no sistema de refrigeração do sistema de óleo, que pode acarretar em uma redução da vida útil do equipamento, através da aceleração do desgaste dos componentes, deve-se acompanhar através da manutenção preventiva, o estado dos trocadores de calor, se os mesmos estão adequados para garantir a correta transferência de calor e redução da temperatura do sistema, além de ser importante uma análise termográfica do equipamento e do sistema em tempo real, para verificação da temperatura e se não há algo anormal ocorrendo na máquina. Quando do início da operação da empresa no estado, a máquina Hot Car já era utilizada no Canadá. Essa versão, contava apenas com 1 trocador de calor, devido às temperaturas externas do país serem mais baixas. Ao chegar na Serra-ES, com temperaturas mais altas, havia um problema de sobreaquecimento do sistema, que foi solucionado com a adição de 2 trocadores de calor em posições estratégicas, favorecendo as correntes de vento. Mesmo com essa melhoria, a máquina pode atingir temperaturas maiores que a máxima permitida (60 °C), sendo desligada automaticamente e devendo ser resfriada manualmente com água. Pode ser feito um sistema automatizado de resfriamento com água, assim como é feito no resfriamento do coque, sendo que a água possui uma maior capacidade de troca de calor do que o ar.

Com relação aos rolamentos, retornamos ao problema dos particulados, que já ocasionaram a quebra dos mesmos, após o travamento dos roletes, onde o rolamento veio a falhar em cumprir sua função, ocorrendo um aumento do atrito e da temperatura do sistema. As partes do rolamento quebrado se dispersaram pelo motor, e como não foi percebido rapidamente, o equipamento continuou funcionando (com perda da capacidade de desempenhar sua função requerida), ocasionando um desgaste excessivo no bloco, pistão, anel elíptico e distribuidor. Para sanar o problema, as principais ações propostas seriam, além das já propostas para limpeza do sistema, a diálise do sistema 24h/dia, para filtragem e remoção de particulados sólidos que possam causar danos. Também é importante utilizar rolamentos originais de boa qualidade, evitando assim, além da quebra prematura do mesmo e redução da vida útil do equipamento, a garantia de concentricidade do mesmo, evitando desbalanceamento e vibração excessiva. Novamente frisando, é importante a manutenção e limpeza do circuito hidráulico do equipamento avaliado, afim de detectar particulados sólidos, além da substituição dos elementos filtrantes do sistema, limpeza das mangueiras, reservatório do óleo e limpeza das válvulas.

A figura 12 abaixo exemplifica a quebra do rolamento devido à particulados presentes no sistema. Durante a inspeção de rotina, verificou-se o aumento do ruído, vibração e temperatura do sistema, além da incapacidade de acionamento da máquina (falha). Durante a manutenção corretiva, constatou-se a falha.

Figura 14: Roletes e pequenas partes do rolamento quebrado



Fonte: Arquivos internos Hesidral

A figura 13 abaixo exemplifica os danos ocorridos às demais partes do equipamento. A esquerda, é possível ver pedaços do rolamento, além de desgaste excessivo na parede interna do anel elíptico, local onde o bloco e os pistões (à direita) trabalham, que também sofreu grande avaria.

Figura 15: Anel elíptico, bloco e pistões avariados



Fonte: Arquivos internos Hesidral

Com relação ao sistema de freio interno do MS35, o desgaste dos discos de freio que frequentemente ocorria (8 discos sinterizados com dentes externos e 8 discos sinterizados com dentes internos), devido à vazamentos internos (fuga interna) acabava ocasionando desgaste nas demais partes do equipamento, através da aplicação do freio não intencionalmente (decorrente do vazamento interno), onde é necessário a aplicação de uma pressão de 30 bar para liberação do freio, pressão essa que não era atingida devido aos vazamentos. Se o mesmo não é liberado, ocasiona um aumento excessivo do atrito, forçando o sistema a funcionar, gerando um grande desgaste dos discos de freio. Esse desgaste gera muitos particulados, que acabam ocasionando desgaste interno nas demais partes do equipamento, semelhante aos particulados presentes no sistema de óleo, porém com particulados provenientes dos discos sinterizados. Podem ocasionar descamamento na parte interna dos rolamentos ou até mesmo sua quebra, desgaste interno do anel elíptico, desgaste do bloco e até mesmo quebra dos roletes que se encaixam no bloco. Para evitar, deve-se corrigir o problema das vedações

conforme descrito anteriormente. Também, uma outra medida a ser adotada, é a utilização os discos de freio com material recomendado pelo fabricante (sinterizado com paper kévila – material orgânico, com resistência de torque adequado à aplicação e que não gera contaminação metálica sólida), que devem ser sinterizados de paper kévila (altos níveis de fricção, silenciosos, longa vida útil, resistente como aço, etc). Os discos utilizados eram em base metálica, que a Arcelor usava em uma tentativa de redução de custos, porém gerava uma grande quantidade de particulados metálicos, e como sistema é de circuito fechado, o mesmo óleo que passa pelo sistema de freios, passa pelos componentes do motor (bloco, pistões, rolamentos), o que acabava aumentando a proporção do desastre, gerando desgaste excessivo e parada da máquina.

A figura 16 abaixo mostra o disco externo sinterizado (correto), e as duas seguintes mostram o desgaste ocorrido.

Figura 16: Discos de freio externos sinterizados novos



Fonte: Arquivos internos Hesidral

Figura 17: Discos de freio internos e externos avariados



Fonte: Arquivos internos Hesidral

Desde o início do contrato (junho/2016), era recebido por mês cerca de 7 a 9 motores Poclain. A empresa recebia uma quantidade razoável de motores para recuperação. Após dezembro de 2016, com a substituição da vedação por um perfil quadrado e com material de resistência a temperaturas maiores, a quantidade de motores recebidos caiu drasticamente, sendo recebido por mês 1 à 2 motores apenas.

É notável que a mudança do perfil das vedações e do material já apresentou resultados, com um aumento da vida útil do equipamento, além da garantia da utilização de rolamentos originais como das marcas NSK, SKF e utilização de discos de freio recomendados pelo fabricante em paper kévila. Mas mesmo assim, a empresa contratada para manutenção não deixou de realizar a manutenção, porque a demanda pela manutenção em outros equipamentos aumentou significativamente, em busca de melhoras contínuas para os demais equipamentos. É possível então perceber que as melhorias beneficiam ambas empresas, tanto a contratante quanto a contratada, que não deixa de ter seu faturamento, além de um ganho de respeito e confiança com a empresa contratante.

6. CONCLUSÃO

A partir do estudo e das análises feitas durante este trabalho, fica clara a importância do aumento da confiabilidade, manutenibilidade e consequente redução de falhas do sistema, garantindo assim maior disponibilidade, redução do tempo gasto com paradas para remoção e substituição do equipamento, assim como redução dos custos com manutenção corretiva.

Estes parâmetros são de grande importância pois possibilitam uma visão de todo o processo, de como este apresenta garantias de um correto funcionamento com uma estabilidade, garantindo que não ocorrerá falhas antes do previsto através do aumento da vida útil, e quando a falha ocorrer, as medidas corretas à serem tomadas já são de conhecimento da equipe, com recursos de fácil acesso, e com agilidade para substituir o equipamento defeituoso.

O método da MCC é um importante método de auxílio para tomada de decisão, indicando qual o melhor tipo de manutenção a ser aplicada em determinado equipamento. A manutenção preditiva é um método de grande importância, através do acompanhamento do funcionamento do equipamento, sendo realizada periodicamente (por tempo, sistemática) com parâmetros que podem ser mensuráveis (no caso do motor poclain, a temperatura, vibração, etc.).

É de grande importância a preocupação com a confiabilidade do sistema em todas as fases, principalmente na fase de projeto, fase que irá influenciar de forma direta na confiabilidade e vida útil do sistema, evitando assim ao máximo possível que ocorra reprojeção do sistema.

Com o método de análise FMEA utilizado, foi possível atender as necessidades que a máquina necessita. Foi possível a visualização dos efeitos/danos que as falhas causam, de forma direta, através da correlação da falha com as funções dos componentes do motor poclain.

Com a substituição do perfil da vedação por um perfil quadrado, e também da substituição do material por um que suporte maiores temperaturas e pressões, além da utilização de rolamentos de qualidade (marcas NSK, SKF) e discos de freio recomendados pelo fabricante, a vida útil do motor foi prolongada,

aumentando a confiabilidade do sistema, mostrando assim a importância do trabalho em equipe realizado pela Hesidral, o que prova a grande importância da análise FMEA.

Por fim, é interessante que as outras medidas recomendadas sejam tomadas, para verificação de aumento da vida útil e confiabilidade do sistema. O estudo prevê que é possível o aumento da confiabilidade do sistema com as medidas recomendadas, mesmo com o uso intenso do equipamento ou envelhecimento. Sendo assim, a MCC juntamente da FMEA se mostram eficazes para cumprir os objetivos pretendidos.

REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA, Marcos Tadeu. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade.** 2000. Disponível em: <<http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf>>. Acesso em 29 mai. 2017.
2. ARCURI FILHO, R. **O futuro conceito de manutenção.** In: XXIV Convención Panamericana de Ingenieros. San José, Costa Rica, 1996.
3. ARIZA, C. G. **Manutenção Preventiva – Objetivos, desenvolvimento e aplicação.** Manutenção & Serviços, Ano 1, n.5, jun/jul. 1988. p. 4-15.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade.** Rio de Janeiro, 1994.
5. AVILA, Breno Mendes Rabelo; PEDRONI, Laís Ribeiro. **MCC APLICADA NAS VÁLVULAS DE AR QUENTE DOS REGENERADORES.** Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.
6. BARONI, Tarcísio D'Aquino; GOMES, Guilherme Faria. **A Ferrografia como técnica de manutenção preditiva.** Disponível em <<http://www.tecem.com.br/site/downloads/artigos/baroni.pdf>>. Acesso em 15 jul. 2017.
7. Blog Manutenção Preditiva, 2017. Disponível em: <<http://www.manutencaopreditiva.com/destaque/analise-de-oleo-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-assunto>>. Acesso em 23 de abr. 2017.
8. COSTA, Mariana de Almeida. **GESTÃO ESTRATÉGICA DA MANUTENÇÃO: UMA OPORTUNIDADE PARA MELHORAR O RESULTADO OPERACIONAL.** Universidade Federal de Juiz de Fora, 2013.
9. DUNN, S. **Reinventing The Maintenance Process – Towards Zero Downtime.** 1998
10. FERREIRA, Livia Lima. **IMPLEMENTAÇÃO DA CENTRAL DE ATIVOS PARA O MELHOR DESEMPENHO DO SETOR DE MANUTENÇÃO: UM ESTUDO DE CASO VOTORANTIM METAIS.** Universidade Federal de Juiz de Fora, 2009.
11. FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **CONFIABILIDADE E MANUTENÇÃO INDUSTRIAL.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
12. HIDALGO, Erick M. Portugal; SOUZA, Gilberto F. Martha. **ANÁLISE FMEA APLICADA NA DIAGNOSE DE FALHAS NOS SISTEMAS HIDRÁULICOS DE REGULADORES DE VELOCIDADE DA TURBINA**

- FRANCIS.** VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Campina Grande PB, 2010.
13. KARDEC, Alan; NASCIF, Julio; BARONI, Tarcísio. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas.** Editora Quality Mark, Rio de Janeiro, 2002. Coleção Manutenção, Abraman.
 14. KARDEC, P.; NASCIF, J. **Manutenção – Função estratégica.** Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, RJ, 1999.
 15. LAGO, Daniel Fabiano. **MANUTENÇÃO DE REDUTORES DE VELOCIDADE PELA INTEGRAÇÃO DAS TÉCNICAS PREDITIVAS DE ANÁLISE DE VIBRAÇÕES E ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE.** Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2007.
 16. LOURIVAL, Augusto Tavares. **A evolução da manutenção.** Revista Nova Manutenção y Qualidade nº 54, 2005.
 17. LUCATELLI, Marcos Vinícius. **PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM EQUIPAMENTOS MÉDICO-HOSPITALARES.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.
 18. MONCHY, François. **A função Manutenção – Formação para a Gerência da Manutenção Industrial.** São Paulo: Editora Durban Ltda., 1989.
 19. MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade.** São Paulo: Aladon Ltda, 2000.
 20. MOUBRAY, John. **Reliability-Centered Maintenance – mcc.** 2. Ed. Woburn: Butterworth-Heinemann, 1997.
 21. Multi Erri Manutenção Preditiva, 2017. Disponível em: <<http://www.multierri.com.br/analise-termografica>>. Acesso em 23 de abr. 2017.
 22. NASCIMENTO, Clayton Gonçalves; BARROS, Alex Alves; CARNEIRO, Luiz Fernando de Carvalho; LIMA, Wallace de Souza; SOUSA, Geraldo Roberto. **APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA E ANÁLISE TERMOGRÁFICA NO ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA HIDRÁULICO.** Universidade Federal de São João Del Rei, 2014.
 23. NUNES, Enon Laércio. **MCC: ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO EM UMA SISTEMÁTICA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA CONSOLIDADA.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

24. PINHO, Jarildo Francisco; GORZA, Wagner. **APLICAÇÃO DA MANTENABILIDADE E CONFIABILIDADE NA MANUTENÇÃO**. Universidade Federal do Espírito Santo, 1998.
25. POCLAIN HYDRAULICS. **MS35 HYDRAULICS MOTORS – TECHNICAL CATALOG**. Disponível em <<http://www.poclain-hydraulics.com/en>>. Acesso em 10 abr. 2017.
26. SAKURADA, Eduardo Yuji. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
27. SEIXAS, Eduardo de Santana. **MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE**. Consultor da Reliasoft Brasil, São Paulo, 2008.
28. Souza Correia, 2017. Disponível em: <http://www.souzacorreia.com.br/index_htm_files/910.jpg>. Acesso em: 23 de abr. 2017.
29. TAVARES, Lourival Augusto. **A Evolução da Manutenção**. Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Alagoas, 2005.
30. VINADÉ, Cesar Augusto do Canto. **SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO PARA CONFIABILIDADE E MANTENABILIDADE APLICADO A SISTEMAS HIDRÁULICOS E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
31. WYREBSKI, Jery. **Manutenção Produtiva Total – Um Modelo Adaptado**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.
32. ZAIONS, Douglas Roberto. **CONSOLIDAÇÃO DA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE EM UMA PLANTA DE CELULOSE E PAPEL**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

APÊNDICE A – Tabela de classificação da S (Severidade)

Efeito	Severidade do Efeito	Escala
Muito alta	A falha é perigosa, e ocorre sem aviso. Compromete a segurança da operação ou envolve infração a regulamentos governamentais. Capaz de suspender a operação dos sistemas.	9 ou 10
Alta	Quando provoca alta insatisfação do cliente, o desempenho do produto sofre impacto. Sistema pode não operar, perda de função básica.	9 ou 8
Moderada	Quando provoca alguma insatisfação, devido à queda do desempenho ou mau funcionamento de partes do sistema. Produto requer reparos. Funções atreladas ao conforto podem não operar.	5 ou 6
Baixa	Quando provoca uma leve insatisfação, pequeno efeito no desempenho do produto. O produto não requer reparos. O cliente observa apenas uma leve deterioração ou queda do desempenho.	3 ou 4
Mínima	Falha que afeta minimamente o desempenho do sistema, e a maioria dos clientes talvez nem mesmo note sua ocorrência. Efeito muito desprezível no desempenho do produto ou sistema.	1 ou 2

APÊNDICE B – Tabela de classificação da O (Ocorrência)

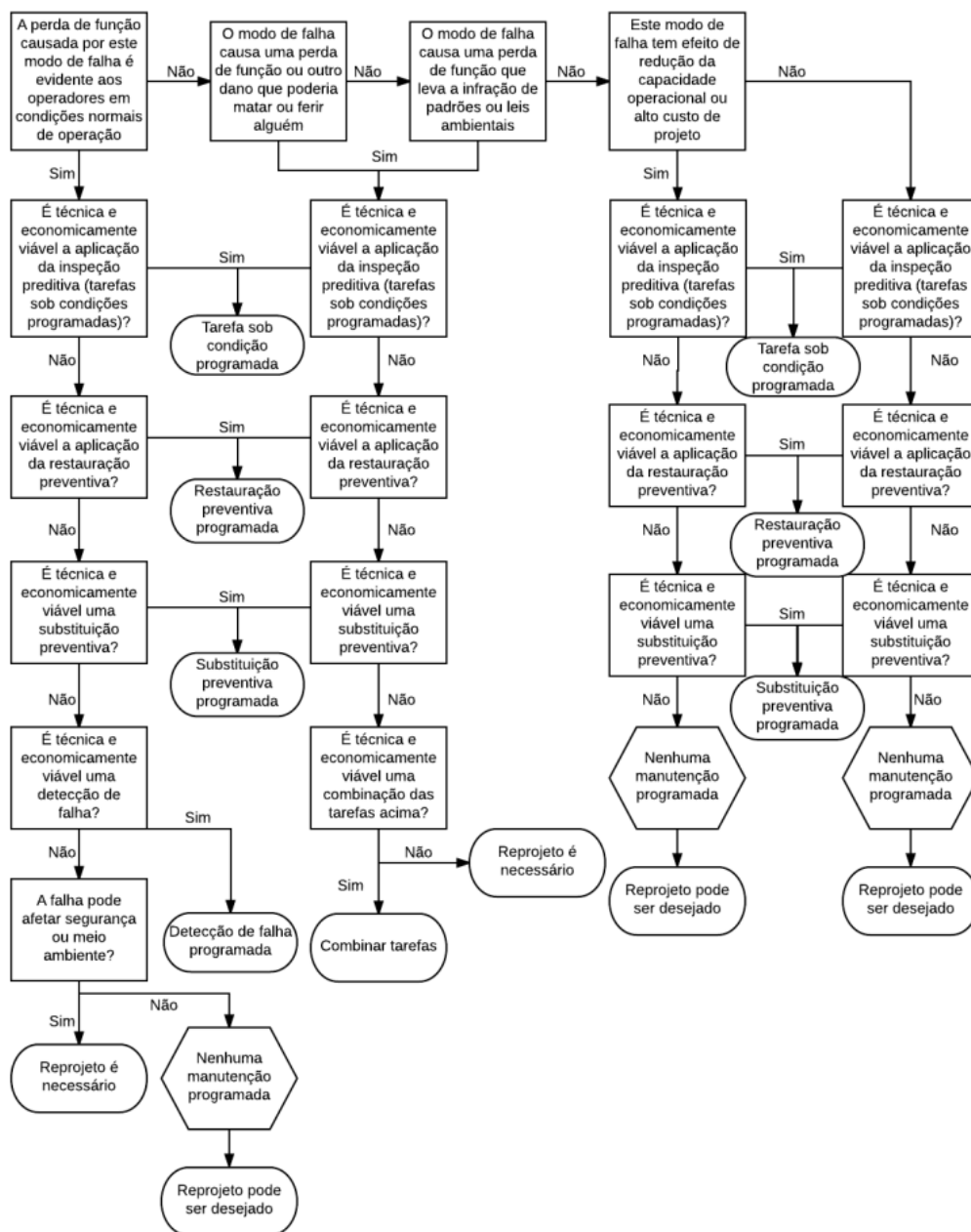
Probabilidade de falha	Taxa de falha		Escala
Muito alta	Falhas quase inevitáveis	100 em 1000	10
		50 em 1000	9
Alta	Falhas ocorrem com frequência	20 em 1000	8
		10 em 1000	7
Moderada	Falhas ocasionais	5 em 1000	6
		2 em 1000	5
		1 em 1000	4
Baixa	Falhas raramente ocorrem	0,5 em 1000	3
		0,1 em 1000	2
Mínima	Falhas muito improváveis	0,01 em 1000	1

APÊNDICE C – Tabela de classificação da D (Detectabilidade)

Detecção	Probabilidade de detecção da causa da falha	Escala
Muito remota	A manutenção não detecta a causa da falha potencial, ou não existe manutenção.	10
Remota	Provavelmente a manutenção não irá detectar esse modo de falha (chance remota).	8 ou 9
Baixa	Há uma baixa probabilidade da manutenção detectar o modo de falha (chance baixa).	6 ou 7
Moderada	É possível ser detectado o modo de falha (moderada chance).	4 ou 5
Alta	Há uma alta probabilidade de se detectar o modo de falha.	2 ou 3
Muito alta	É quase certo que a manutenção detectará a causa da falha.	1

APÊNDICE D – Matriz ou Diagrama de Decisão

Figura 18: Matriz de decisão



Fonte: Adaptado de MOUBRAY, 2001, p. 197 por ÁVILA & PEDRONI