

ANÁLISE DE FALHAS APLICADA AO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA
MANUTENÇÃO

Mariana Amorim Silva Takayama

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PRODUÇÃO.

Aprovada por:

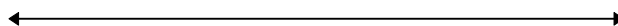
Prof. Marcos Martins Borges, D. Sc.

Georges Chaoubah

Prof. Rodrigo Martins Brum

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL
NOVEMBRO DE 2008

40 CARACTERES



TAKAYAMA, MARIANA AMORIM SILVA
Análise de Falhas aplicada ao
Planejamento Estratégico da Manutenção
[Minas Gerais] 2008

VI, 47 p. 29,7 cm (UFJF, Graduação,
Engenharia de Produção, 2008)

Trabalho de Conclusão de Curso -
Universidade Federal de Juiz de Fora,
Departamento de Engenharia de Produção.
1. Manutenção. 2. Confiabilidade. 3. Análise
de Falhas.

I. Universidade Federal de Juiz de Fora

II. Título

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Marcos Martins Borges e Rodrigo Martins Brum pelo auxílio prestado no desenvolvimento do trabalho e pelas colaborações feitas na banca de avaliação. Agradeço também à colaboração do engenheiro Georges Chaoubah no desenvolvimento do tema do trabalho e pelo exemplo de profissional que demonstrou ser, contribuindo muito para o meu crescimento profissional.

Ao Thiago, pela atenção dedicada ao meu trabalho, pelo apoio e compreensão dado em todos os momentos.

Dedico este trabalho aos meus pais, Tone e Márcia, que fizeram todo o possível para me proporcionar sempre o melhor. Ao meu irmão, Toninho, e a todos os familiares e amigos que sempre me apoiaram e torceram muito para o meu sucesso.

Todas essas pessoas contribuíram muito para que essa vitória fosse alcançada.

Resumo da monografia apresentada à Coordenação de Curso de Engenharia de Produção como parte dos requisitos necessários para a graduação em Engenharia de Produção.

ANÁLISE DE FALHA APLICADA AO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA MANUTENÇÃO

Mariana Amorim Silva Takayama

Novembro/2008

Orientador: Marcos Martins Borges

Curso: Engenharia de Produção

O presente trabalho apresenta um estudo com o objetivo de identificar a aplicação de resultados de análises de falhas no planejamento estratégico da manutenção. A escolha do tema foi baseada no envolvimento profissional da autora com a área de engenharia de manutenção bem como seu interesse em aprofundar seus conhecimentos em assuntos como planejamento estratégico e qualidade. Foi realizado um estudo bibliográfico de assuntos relacionados ao tema para contextualizar o assunto. O desenvolvimento da área de manutenção ocorreu ao longo dos últimos trinta anos e modificou os objetivos da atividade, passando do conceito de consertar a falha para prevenir sua ocorrência. Nesse contexto vários sistemas foram criados para atingir este objetivo de melhorar a confiabilidade dos equipamentos de uma planta. Este trabalho demonstra como ocorre o desenvolvimento de um processo de análise de falhas de equipamentos, identificando quais resultados são obtidos e aplicando esses resultados na melhoria do processo de planejamento da produção.

Palavras-chave: manutenção, confiabilidade, análise de falha, planejamento da manutenção.

Juiz de Fora

Novembro – 2008

Abstract of monograph presented to the Coordination of the Production Engineering Course as part of the necessary requirements for the graduation in Production Engineering.

FAILURE ANALYSIS APPLY TO STRATEGIC PLANNING OF MAINTENANCE

Mariana Amorim Silva Takayama

November/2008

Advisor: Marcos Martins Borges

Course: Production Engineering

This paper presents a study to identify the application of the results of failure analysis in strategic planning of maintenance. The choice of theme was based on the author's professional involvement with the area of maintenance engineering as well as her interest in deepening her knowledge in subjects such as strategic planning and quality. A bibliographic study of the issues related to the theme was conducted to contextualize the subject. The development of maintenance area occurred over the past thirty years and modified the objectives of the maintenance activity, passing to the concept of repairing the failure to prevent its occurrence. In this context, various systems were designed to achieve the goal of improving the reliability of the equipment for a plant. This paper demonstrates how occurs the development of the process of failure analysis of equipments, identifying which results are obtained and applying these results in the improvement of production planning process.

Key-words: maintenance, reliability, failure analysis, maintenance planning.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
GLOSSÁRIO DE TERMOS E SIGLAS.....	x
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	01
1 Considerações Iniciais.....	01
2 Objetivos.....	01
3 Justificativas.....	02
4 Condições de Contorno.....	02
5 Metodologia.....	02
CAPÍTULO II – DEFINIÇÕES.....	03
1. Definição e Histórico da Manutenção.....	03
2. Tipos de Manutenção.....	07
2.1 Manutenção Corretiva.....	07
2.2 Manutenção Preventiva.....	08
2.3 Manutenção Preditiva.....	08
2.4 Engenharia de Manutenção.....	09
3. Confiabilidade.....	09
4. O que são falhas e por que elas ocorrem.....	10
5. Como identificar as falhas.....	11
CAPÍTULO III – A ANÁLISE DE FALHAS.....	12
1. Coleta e Preservação de dados para análise.....	12
2. Análise de dados e definição da causa raiz.....	13
2.1 Análise dos modos e efeitos de falha - FMEA.....	14
2.2 Análise da árvore de falhas – FTA.....	18
2.3 Diagrama de causa e efeito.....	21
2.4 Diagrama da seqüência de eventos.....	22
3. Elaboração do Plano de Ação – 5W1H.....	23
4. Verificação de efetividade e Padronização.....	24

CAPÍTULO IV – PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA MANUTENÇÃO.....	25
1 Classificação de Criticidade do equipamento.....	25
2 Definição da Estratégia de Manutenção.....	26
3 Criação do plano de atividades de manutenção.....	27
CAPÍTULO V – ESTUDO DE CASO.....	29
1. Contextualização.....	29
2. Descrição do Equipamento – Moinho de Bolas.....	30
3. Análise da Falha.....	30
4. Plano de Ação, Verificação da Efetividade e Padronização.....	32
CAPÍTULO VI – CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
ANEXOS.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Evolução da visão da falha.....	05
Figura 02: Caracterização das panes, falhas e defeitos.....	10
Figura 03: Fluxograma da seqüência de procedimentos da FMEA.....	15
Figura 04: Relação Causa-Modo-Efeito.....	16
Figura 05: Fluxograma da seqüência de procedimentos da FTA.....	19
Figura 06: Estrutura da árvore de falhas.....	20
Figura 07: Fluxograma do procedimento para elaboração do diagrama de causa e efeito.....	21
Figura 08: Estrutura esquemática do Diagrama de causa e efeito.....	22
Figura 09: Fluxograma de avaliação da criticidade do equipamento.....	26
Figura 10: Desenho esquemático do sistema moinho de bolas.....	31
Figura 11: Diagrama da seqüência de eventos da falha do moinho de bolas.....	38
Figura 12: Árvore da falha do moinho de bolas.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Evolução das expectativas e técnicas da manutenção.....	06
Tabela 02: Modelo do formulário utilizado na FMEA.....	17
Tabela 03: Simbologia da Árvore de Falhas.....	18
Tabela 04: Modelo de Plano de Ação usando a ferramenta 5W1H.....	24
Tabela 05: Critérios de classificação de Criticidade do equipamento.....	25
Tabela 06: Estratégia de manutenção do equipamento.....	27
Tabela 07: Ações referentes à mudança da estratégia de manutenção.....	33
Tabela 08: Relatório de Análise de Anomalia – RAA.....	37
Tabela 09: Plano de Ação da análise de falha do moinho de bolas.....	46

GLOSSÁRIO DE TERMOS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Norma Técnicas

Brainstorming – Técnicas de geração de idéias

CPM – Companhia Paraibuna de Metais

ERP – *Enterprise Resource Planning*

FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*

FTA – *Fault Tree Analysis*

Just-in-time - sistema de administração da produção que determina que nada deve ser produzido, transportado ou comprado antes da hora exata. Produção Enxuta.

LME - London Metal Exchange

MTBF – Mean Time Between Failures

MTTR - Mean Time To Repair

NBR - Normas Brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas

Output - Resultado final obtido no processo produtivo

RAA – Relatório de Análise de Anomalia

Run-to-fail – Política de manutenção em que o equipamento opera sem intervenção até o momento da quebra.

SHG - *Special High Grade*

SSMA – Saúde, Segurança e Meio Ambiente

Top-down – De cima para baixo.

Capítulo I

INTRODUÇÃO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Antes da revolução industrial, os produtos eram confeccionados de forma artesanal, a produção era pequena assim como a organização do processo produtivo. Desde o início do desenvolvimento industrial, com a revolução industrial, ocorreram grandes mudanças na organização da produção. Surgiram as grandes evoluções tecnológicas, a produção em larga escala, a organização do trabalho, a automatização da produção, a preocupação com a qualidade dos produtos, enfim uma série de mudanças que construiu a indústria atual.

Nos dias de hoje, as empresas estão preocupadas em serem competitiva no mercado. A competitividade pode ser buscada de diversas formas, seja na qualidade do produto, seja no prazo para entrega, seja no preço do produto ou na assistência pós-vendas que a empresa oferece. Dentro desse pensamento, a empresa deve buscar uma forma de aumentar a sua competitividade visando o aumento da geração de seus lucros.

Atualmente, a manutenção vem desempenhando um papel de destaque dentro da empresa sendo responsável por uma significativa parte dos custos de um produto e, além disso, sendo responsável pela disponibilidade da produção. Por isso, a manutenção é uma forma de se alcançar a competitividade. Através de estudos de confiabilidade dos equipamentos, as atividades de manutenção podem ser mais bem planejadas. Entre as várias ferramentas utilizadas nos estudos de confiabilidade, a análise de falha se destaca como uma ferramenta de grande utilidade para prevenir sua reincidência e identificar as oportunidades de melhorias no sistema de manutenção, e por isso foi escolhida como objeto de estudo neste trabalho.

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é demonstrar através de um estudo de caso de uma indústria do setor metalúrgico como o processo de análise de falhas em equipamentos pode ser aplicado na melhoria do planejamento estratégico da manutenção, identificando os passos do processo de análise de falha em equipamentos.

3. JUSTIFICATIVAS

A escolha do tema ligado à área de manutenção ocorreu devido ao trabalho realizado pela autora no setor de engenharia de manutenção. Esse tema está ligado a uma área na manutenção que ultimamente vem ganhando bastante foco que é a engenharia de confiabilidade. Diante deste assunto, e do interesse pessoal em planejamento estratégico e qualidade, procurou-se escolher um tema dentro da engenharia de confiabilidade que pudesse ser aplicado de forma estratégica no planejamento da manutenção.

4. CONDIÇÕES DE CONTORNO

O trabalho é um estudo de caso que envolve a identificação de um sistema para a realização da análise de falha em equipamentos/sistemas de uma empresa industrial de grande porte e como os resultados dessa análise foram aplicados na melhoria do planejamento estratégico da manutenção do equipamento.

5. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o assunto a fim de se conhecer as diversas informações disponíveis que envolvem o tema e coletar as informações iniciais que irão compor o trabalho.

Em seguida, foi realizado um estudo das informações adquiridas na etapa anterior para iniciar a definição dos conceitos que envolvem o tema. A partir da definição dos conceitos foi realizada uma descrição das etapas desenvolvidas em uma análise de falha e a identificação do resultado desta análise. Foram levantados os métodos de como é desenvolvido o planejamento da estratégia de manutenção.

Por fim, depois de identificado o processo da análise de falha, foi apresentada uma análise de falhas desenvolvida em uma empresa metalúrgica para demonstrar de forma prática, como foi feita a solução do problema tratado e fazer a ligação entre os resultados obtidos na análise e seu impacto na melhoria do planejamento da estratégia de manutenção. Toda a informação foi estruturada neste relatório e em uma apresentação para mostrar os resultados do trabalho desenvolvido.

Capítulo II

DEFINIÇÕES

1. DEFINIÇÃO E HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 5462, 1994) apud Pallerosi (2007, p. 1), a manutenção é definida como "combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar uma função requerida". Para Kardec e Carvalho (2002), a missão da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos seus equipamentos e instalações de modo a atender um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança e preservação do meio ambiente e custos adequados. Mas nem sempre esses requisitos foram o foco da atividade de manutenção.

Ao longo dos últimos trinta anos, a manutenção foi a atividade que mais sofreu mudanças na gestão da produção. Essas mudanças devem-se ao aumento do número e variedade de plantas, equipamentos e instalações que devem ser mantidos, ao desenvolvimento de projetos de engenharia mais complexos, às novas técnicas e à evolução da organização e das responsabilidades da manutenção (Moubray, 1997).

Com essa evolução da manutenção, criam-se algumas expectativas sobre a atividade como o impacto da falha de um equipamento na segurança e meio ambiente, a ligação entre manutenção e qualidade do produto, conseguir uma planta com alta disponibilidade e contenção de custos (Moubray, 1997).

Essas mudanças testam as habilidades do pessoal de manutenção e ao mesmo tempo aumentam as limitações do sistema independente do quanto ele é informatizado. E é por isso que os profissionais da área cada vez mais procuram aumentar o valor da manutenção nas empresas (Moubray, 1997).

Segundo Moubray (1997), a evolução da manutenção pode ser descrita através de três gerações.

A primeira geração descreve o desenvolvimento da manutenção no período que antecede a Segunda Guerra Mundial. Nessa época, a indústria não era muito mecanizada e a prevenção de falha em equipamentos não era uma prioridade para os gerentes. Ao mesmo tempo, a maioria dos equipamentos eram simples e super-projetados para as operações que exerciam e isso os tornavam confiáveis e fáceis de reparar. Por isso não era necessário uma estruturação sistemática da manutenção além das simples rotinas de limpeza, reparo e lubrificação. A necessidade de capacitação também não era tão exigida com nos dias atuais.

A segunda geração da evolução foi marcada pelas grandes mudanças causadas pela Segunda Guerra Mundial na indústria, que aumentou a demanda de bens de todos os tipos e diminuiu a oferta da mão de obra. Por isso surgiu a necessidade em aumentar a mecanização das operações na indústria o que levou ao aumento do número de máquinas e suas complexidades (Moubray, 1997).

A indústria começou a ficar, cada vez mais, dependente das máquinas. A inatividade dessas máquinas começou a preocupar os gerentes o que levou a idéia de que as falhas nos equipamentos podiam e deveriam ser prevenidas. Na década de 1960's surgia o conceito de manutenção preventiva como uma atividade de reparo nos equipamentos realizada em intervalos fixos de tempo. Outra consequência gerada pela guerra, foi o aumento acentuado dos custos de manutenção comparado aos custos de operação, o que levou a idéia do planejamento e controle do sistema de manutenção.

Todo o valor do capital gasto com reparos de equipamentos mais o aumento dos custos com manutenção levaram os gerentes a procurarem formas de maximizar a vida dos ativos físicos nas empresas.

Ainda segundo Moubray (1997), a terceira geração da evolução da manutenção marca o período que envolve as mudanças que trouxeram mais dinamismo para as indústrias e que engloba os dias atuais.

A indisponibilidade já era a maior preocupação de diversos setores da indústria nos anos de 60 e 70, pois ela sempre afeta a capacidade produtiva dos ativos reduzindo seu *output*, aumentando os custos de operação e interferindo diretamente no atendimento ao cliente. Os efeitos da indisponibilidade na manufatura estavam mais agravados pelo movimento mundial em torno dos sistemas *just-in-time*, nos quais o objetivo era reduzir os estoques de produtos em processo o que significava que qualquer quebra poderia parar a produção da planta.

O aumento da mecanização e automação da produção transforma a confiabilidade e disponibilidade nas questões fundamentais de qualquer setor produtivo e com esse aumento, as falhas começam a afetar cada vez mais os padrões de qualidade tanto do produto como do serviço. As falhas em equipamentos de automação alteram medições de temperatura, pressão, dosagem, enfim fatores que interferem consistentemente as tolerâncias de especificação do produto (Moubray, 1997).

As falhas também impactam seriamente questões de segurança e meio ambiente, áreas em que a preocupação tem crescido rapidamente. Atualmente as empresas que não atendem as expectativas da sociedade quanto à segurança e meio ambiente ou não possuem procedimentos padrões nessas áreas não sobrevivem no mercado.

Quanto mais cresce a dependência nos ativos físicos das empresas, cresce também os custos tanto de manutenção quanto de operação, que figuram no topo da preocupação

dos gerentes. Para garantir o investimento em equipamentos, é necessário garantir o funcionamento eficiente dos mesmos. As pesquisas desenvolvidas na área modificaram a forma de encarar assuntos como vida útil e falha em equipamentos (Moubray, 1997).

A figura 01 mostra a visão do comportamento das falhas na vida do equipamento ao longo das três fases de evolução da manutenção:

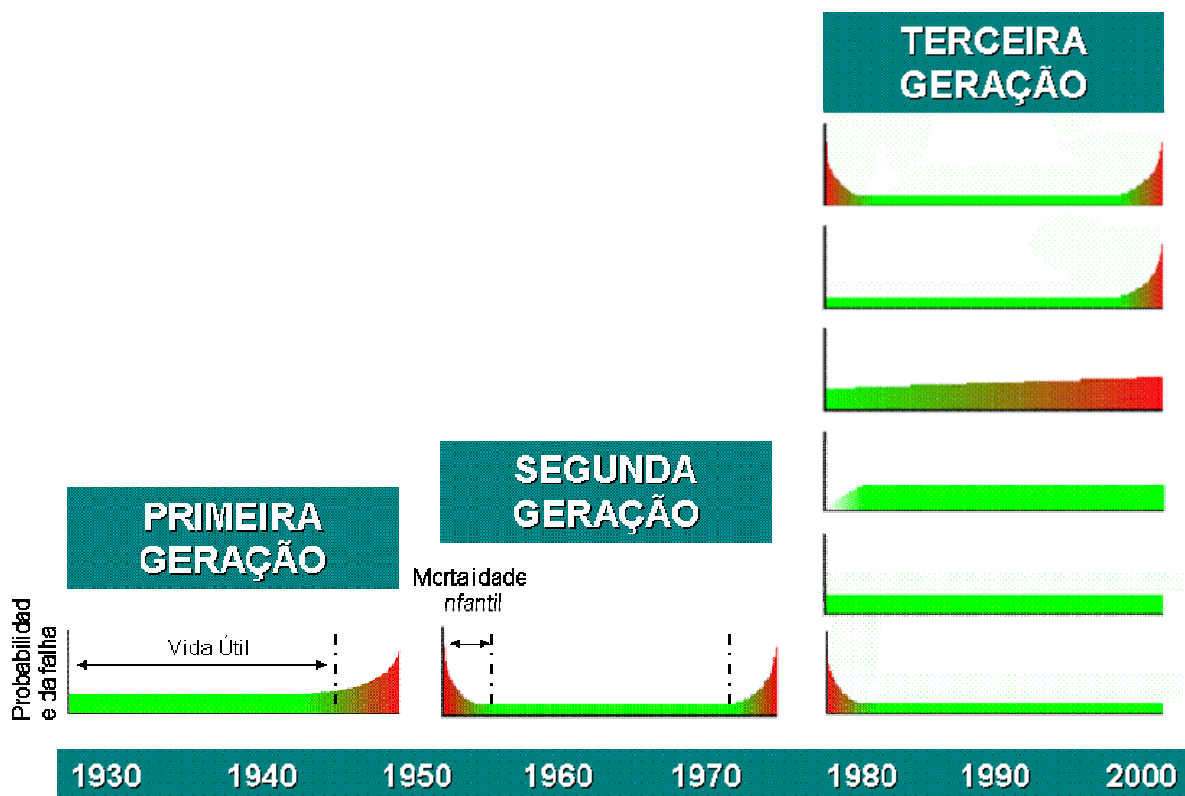


Figura 01: Evolução da visão da falha

Fonte: adaptado de John Moubray (1997), *Reliability-centered Maintenance*.

Em um primeiro momento, a visão de falha era bastante simples. Ao longo de sua vida, o equipamento tinha uma probabilidade constante de falha (falha aleatória) e ao final da vida essa probabilidade crescia exponencialmente correspondendo ao final de sua vida útil. Já na segunda fase, o conceito de mortalidade infantil, que era a possibilidade do equipamento falhar logo no princípio de seu funcionamento, gerou uma nova visão de falha que ficou conhecida como “curva da banheira”. Na terceira fase, após muitas pesquisas foram descobertos não apenas dois tipos de comportamento e sim seis tipos de comportamento. Essa descoberta causou profundo efeito na forma de conduzir a manutenção nos equipamentos (Moubray, 1997).

Foram desenvolvidos diversos conceitos e técnicas que serviram como ferramentas de apoio para as atividades de manutenção:

- Novas técnicas de monitoramento da condição do equipamento;

- Projetos com foco em confiabilidade e manutenibilidade;
- Ferramentas de suporte a decisão;
- Análises de risco das atividades de manutenção;
- Análise de modo e efeito da falha;
- Sistemas especializados;
- Organização do trabalho com capacitação de profissionais e formação de grupos de trabalho (Moubray, 1997).

A tabela 01 resume as principais evoluções das expectativas e técnicas ao longo do tempo:

Tabela 01: Evolução das expectativas e técnicas da manutenção

		GERAÇÕES						
		PRIMEIRA	SEGUNDA	TERCEIRA				
EXPECTATIVAS			<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a disponibilidade da planta; • Aumentar a vida dos equipamentos; • Reduzir os custos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a disponibilidade e confiabilidade da planta; • Maior segurança; • Melhor qualidade do produto; • Sem danos ao meio ambiente; • Aumento da vida útil do equipamento; • Maior custo-benefício. 				
	<ul style="list-style-type: none"> • Consertar quando falhar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Programação de reparos; • Sistemas de planejamento e controle; • Informatização básica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da condição; • Projetos para confiabilidade e manutenibilidade; • Análise de riscos; • Informatização complexa; • Análises de modos e efeitos de falha; • Sistemas especializados; • Capacitação e grupos de trabalho. 					
		1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000

Fonte: adaptado de John Moubray (1997), *Reliability-centered Maintenance*.

Através desse retrospecto da evolução da manutenção, é possível notar a mudança do conceito da atividade de manutenção, que a princípio era focada em restabelecer com

mais rapidez possível as condições dos ativos físicos e passou a se preocupar em prevenir a ocorrência das falhas garantindo a disponibilidade do equipamento para atender a produção, sempre com a preocupação em segurança, preservação do meio ambiente e redução de custos.

2. TIPOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção é executada nas empresas como uma combinação de diversas atividades. Essas atividades podem ser classificadas através de duas abordagens: atividades pró-ativas e atividades reativas. As atividades pró-ativas são aquelas executadas antes das falhas ocorrerem, desenvolvendo ações que antecipem sua ocorrência para não permitir o estado de falha do equipamento. Já as atividades reativas atuam após a ocorrência da falha do equipamento, desenvolvendo ações para restabelecer a disponibilidade do equipamento (Moubray, 1997).

Existem quatro tipos de manutenção que serão descritos a seguir.

2.1. Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida (ABNT - NBR 5462, 1994 apud Pallerosi, 2007, p. 3).

Pode ser classificada como não planejada ou planejada. A manutenção corretiva não planejada é realizada logo em seguida da ocorrência de uma pane, ocorrendo perda da função do equipamento. Já a manutenção corretiva planejada é utilizada para os equipamentos que não são monitorados (*run to fail*), ou seja, para os equipamentos que não possuem nenhum tipo de atividade de manutenção programada (Pallerosi, 2007). Pode ser usada também em atividades decorrentes da manutenção preditiva.

No ponto de vista do sistema produtivo como um todo, poder ser considerado o tipo de manutenção de custo mais elevado devido a sua ocorrência imprevisível e por causar a parada do processo produtivo gerando custos para produção. Não é uma atividade totalmente descartada de uso exatamente por existirem falhas aleatórias nos equipamentos e, portanto, ser uma atividade importante na rotina da manutenção (Belmonte e Scandelari, 2006).

2.2. Manutenção Preventiva

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas, a manutenção preventiva é uma intervenção no equipamento baseada em intervalos de tempo predeterminados ou de acordo com critérios prescritos, que tem por objetivo a eliminação ou a prevenção da falha antes de sua ocorrência.

A determinação do tempo tem por objetivo intervir no equipamento em um tempo menor do que o da ocorrência da falha. As atividades executadas durante uma manutenção preventiva são atividades planejadas de acordo com critérios estudados para a característica individual do equipamento, podendo variar entre: verificações gerais do estado de conservação de um equipamento, troca de componentes com vida definida, limpeza do equipamento e seu local de instalação, ajustes e identificação de possíveis desgastes. O objetivo desse tipo de manutenção é antecipar a falha do equipamento, instalação ou sistema de produção o que implica em paradas da planta, consideradas desnecessárias, porém devem ser levados em conta os benefícios gerados por essas intervenções (Pallerosi, 2007). Esse tipo de manutenção é muito praticado quando a falha gera uma grande perda de produção ou é um risco de segurança e meio ambiente.

2.3. Manutenção Preditiva

Segundo a norma NBR 5462 (1994) apud Pallerosi (2007, p. 3), a manutenção preditiva é a atividade 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". Pode-se dizer que é baseada nos mesmos objetivos da manutenção preventiva, de antecipar a ocorrência da falha, porém a diferença é que a manutenção preditiva só realiza uma intervenção no equipamento quando detecta, através de técnicas de análises, a potencialidade da falha.

A manutenção preditiva pode ser definida como a atividade de acompanhamento de determinados parâmetros do equipamento que indicam seu desempenho, de forma sistemática, com o objetivo de identificar o exato momento de intervenção do equipamento (Kardec e Carvalho, 2002). Esse tipo de manutenção, quando possível, é o mais eficiente, pois permite que o equipamento só pare de operar quando realmente é necessário que isto ocorra, evitando assim "paradas desnecessárias" realizadas pela manutenção preventiva (Slack et al, 2002). A monitoração do equipamento vai depender de suas características e da identificação das possíveis falhas. Existem diversas técnicas que podem ser empregadas e são realizadas por meio de equipamentos (sensores, analisadores, monitores) ou por

amostragem. Quando uma falha potencial é identificada, a intervenção realizada no equipamento pode ser considerada como uma manutenção corretiva planejada, pois a sua ocorrência já era esperada em algum dado momento.

2.4. Engenharia de Manutenção

A engenharia de manutenção é um conceito recente que visa desenvolver um melhoramento contínuo de seus equipamentos e serviços com o objetivo de permitir o aumento da confiabilidade e garantir a disponibilidade dos seus ativos físicos através da aplicação de inovação na execução da atividade e adoção de novos métodos no gerenciamento da atividade (Belmonte e Scandelari, 2006). O conceito foi originado pela evolução do papel da manutenção como atividade competitiva das empresas e vai além da definição de um tipo de atividade de manutenção, é uma nova forma de desempenhar a manutenção.

3. CONFIABILIDADE

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 5462, 1994 apud Pallerosi, 2007, p. 21), a confiabilidade é definida pela "capacidade de um item desempenhar uma função especificada, sob condições e intervalo de tempo predeterminado".

O controle de qualidade determina limites de especificação de projetos para um processo produtivo, quando um produto se encontra dentro desses limites o seu funcionamento após ser fabricado é garantido. A confiabilidade procura demonstrar quanto tempo esse produto continuará funcionando, estando dentro dos limites especificados no projeto. Isso torna a confiabilidade uma das características de qualidades mais importante de um equipamento. Confiabilidade é a qualidade ao longo do tempo (ReliaSoft Brasil, 2005).

O estudo da performance da vida de um equipamento também trouxe melhorias financeiras para as empresas. O aumento da disponibilidade dos equipamentos leva a uma otimização da manutenção, diminuindo a ocorrência das falhas e com isso reduzindo os custos de manutenção dos equipamentos e aumentando sua produtividade (ReliaSoft Brasil, 2005).

A disponibilidade é, segundo Pallerosi (2007), a capacidade de um equipamento estar em condição de executar sua função com uma duração real de funcionamento, sendo reparado após uma falha, com condições operacionais e ambientais especificadas, com custos de reparos compatíveis e tempos de recolocação menores possíveis.

Para analisar as forma de reduzir a probabilidade de falha ou minimizar suas conseqüências, é necessário primeiro compreender quais são as falhas e por que elas estão ocorrendo (Slack et al, 2002).

4. O QUE SÃO FALHAS E POR QUE ELAS OCORREM

O estado de um item é a condição existente antes da ocorrência da falha e após a falha. Segundo a ABNT (1994), os estados de um item podem ser classificados como estados de indisponibilidade ou estado de disponibilidade. O estado de indisponibilidade é caracterizado pela ocorrência de uma pane, incapacidade temporária ou permanente. Já o estado de disponibilidade é caracterizado pelo desempenho da função requerida.

Conforme a ABNT (1994) apud Pallerosi (2007, p. 16), defeito é "qualquer desvio de uma característica de um item em relação a seus requisitos". O defeito é a anormalidade no desempenho da função do equipamento e pode indicar uma maior probabilidade de ocorrência de falha.

A falha é definida por uma perda da função requerida de um item, podendo ser parcial ou completa. A falha completa é resultado do desvio de características além dos limites especificados causando perda total da função requerida do equipamento, enquanto que a falha parcial não causa a perda total da função requerida (Pallerosi, 2007).

A pane é o estado de um item, caracterizado pela incapacidade de desempenhar a sua função requerida, excluindo a incapacidade durante uma ação planejada ou pela falta de algum recurso externo requerido para seu funcionamento (ABNT, 1994 apud Pallerosi, 2007, p. 16).

Esses três eventos podem ser relacionados conforme indicado na figura 02:

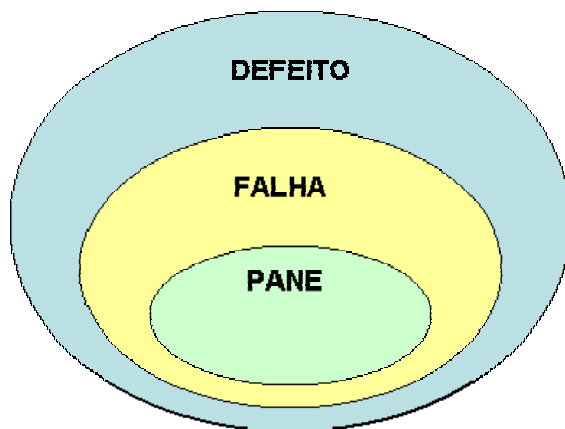


Figura 02: Caracterização das panes, falhas e defeitos.

Fonte: adaptado de Pallerosi (2007), Confiabilidade, A Quarta Dimensão da Qualidade – Manutenibilidade e Disponibilidade.

As falhas podem ocorrer por diversas razões, podem ter sua fonte dentro da operação, podem ser causadas por falhas do material ou de informações, podem ser causadas pelas ações dos clientes (Slack et al, 2002).

Quando um produto é projetado, todas as suas características foram previstas por situações prováveis, porém somente quando lidam com circunstâncias reais, as inadequações se tornam evidentes. As máquinas não funcionam sozinhas, elas precisam de pessoas para as operarem, e os seres humanos são suscetíveis a falhas. As falhas de pessoas podem ser classificadas de erros ou violações. Erros são enganos de julgamento e violações são atos contrários aos procedimentos operacionais estabelecidos (Slack et al, 2002).

5. COMO IDENTIFICAR AS FALHAS

Como as falhas não são inevitáveis, elas podem ser percebidas rapidamente para serem tomadas ações no sentido de reverter a falha e posteriormente analisar sua causa mais provável. São vários os mecanismos para se identificar uma falha de forma proativa:

- Verificações no processo: durante o processo produtivo, os operadores podem realizar verificações a fim de se encontrar falhas que não causam variações no processo;
- Diagnósticos de máquinas: podem ser realizados testes de desempenho nas máquinas fazendo-as passar por uma seqüência de atividades comuns a sua função a fim de se identificar algum tipo de desvio em seu funcionamento;
- Inspeções: no final de um processo ou ciclo predeterminado, a operação ou manutenção pode fazer uma inspeção para verificar se a função está satisfatória ou descobrir problemas;
- Grupos de foco: São grupos de pessoas que, em conjunto, focalizem alguns aspectos do produto ou serviço;
- Fichas de reclamações ou questionários: são usados para relatar anormalidades do produto ou serviço (Slack et al, 2002).

Capítulo III

A ANÁLISE DE FALHAS

A análise de falhas pode ser aplicada quando o processo já está em operação, depois de ocorrer uma falha, identificando suas causas e realizando o bloqueio, ou antes que uma falha ocorra, detectando as possíveis causas e realizando o bloqueio; pode ser aplicada também quando o processo ainda estiver na fase de projeto, no qual é possível detectar as falhas ainda no papel e já criar soluções para que elas não ocorram quando o projeto for implementado.

Este trabalho vai ser focado na primeira situação, quando o processo já se encontra em operação e depois da ocorrência da falha, mas o desenvolvimento da análise de falhas para situações em que a falha ainda não ocorreu é bastante parecido e pode ser adaptado.

A análise de falhas se inicia no momento em que ocorre a falha do equipamento, a partir deste momento tudo deve ser observado para que a análise tenha sucesso. A participação de todas as pessoas que estão direta ou indiretamente envolvidas com o equipamento a partir deste momento é muito importante para o andamento do processo de análise.

É muito importante ressaltar que o propósito da análise de falhas é de solucionar um problema que está ocorrendo no processo e que está afetando diretamente sua performance e não é uma tentativa de identificar ou punir culpados responsáveis pelo incidente. As pessoas envolvidas no incidente tentem a adotar uma postura de auto-preservação por entenderem que o objetivo final é punir um culpado pelo problema, por isso deve ser deixado bastante claro pela equipe que o objetivo desse processo é exclusivamente o de aumentar a performance do processo produtivo.

A seguir serão descritas todas as etapas que podem ser aplicadas para a realização da análise de falhas. Não necessariamente todas as etapas precisam ser realizadas, mas o que é pretendido é detalhar todas as ferramentas que podem ser utilizadas do decorrer do processo.

1. COLETA E PRESERVAÇÃO DE DADOS PARA ANÁLISE

O primeiro passo da análise é a coleta de informações. Essas informações servirão de base para todo o processo de identificação das causas e conclusões. Essa fase é a parte fundamental da análise de falhas e deve ser realizada de forma cautelosa. As informações devem expressar a condição real do equipamento ou processo para não levar a conclusões falsas sobre o problema.

Existem vários e diferentes tipos de fontes de informação. Os quatro tipos básicos são (Vanden Heuvel et al, 2005):

- Pessoas – informações de pessoas são obtidas de através de entrevistas realizadas entre as pessoas que estão envolvidas com o problema. (testemunhas, participantes, operadores, mantenedores, supervisores etc.);
- Física – informações físicas consistem em partes do equipamento, resíduos e amostras químicas;
- Posição – informações de posição são as relações entre as pessoas, os dispositivos de controle e segurança e as relações temporais, a fim de definir a seqüência dos eventos e ajudar a identificar as relações de causa-efeito (localização das pessoas e evidências físicas);
- Papel – informações em papel são documentos em papel ou eletrônicos (procedimentos, memorandos, correspondência, manuais, etc.).

A coleta de informação deve ocorrer no menor período de tempo possível a partir do momento da falha para prevenir a perda ou alteração de informações. As informações obtidas de pessoas (depoimentos) são as mais frágeis e por isso deve ser tratada como prioritária no processo de coleta de informação. As outras fontes de informação são fontes mais estáveis, entretanto informações físicas devem ser rapidamente identificadas para evitar a perda e alteração das mesmas.

A etapa de coleta de dados é o início do processo de análise, entretanto ela se estende ao longo de todo o processo até a conclusão do problema, pois no decorrer da análise podem surgir dúvidas ou mesmo a necessidade de detalhes que não foram identificados no início do processo.

2. ANÁLISES DE DADOS E DEFINIÇÃO DA CAUSA RAIZ

Depois de juntar os dados iniciais do problema, vem a etapa de análise dessas informações e a definição de como ocorreu a falha. Nessa etapa procura-se reunir as informações obtidas e determinar a seqüência de como ocorreram os fatos que levaram a falha do equipamento.

Existem várias ferramentas que podem ser utilizadas nesse processo de análise, tais como (Mobley, 1999):

- Análise dos modos e efeitos das falhas – FMEA;
- Análise da árvore de falhas – FTA;

- Diagrama de causa e efeito;
- Diagrama da seqüência de eventos.

O processo da análise pode utilizar uma ou mais ferramentas combinadas para alcançar o objetivo final, que é a identificação da causa raiz do problema. A seguir será feita a descrição destas ferramentas.

2.1. Análise dos modos e efeitos das falhas - FMEA

Segundo Helman e Andery (1995, p. 25) a análise dos modos e efeitos das falhas “é um método de análise de projetos (de produtos ou processos, industriais e/ou administrativos) usado para identificar TODOS os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema (produto ou processo), mediante um raciocínio basicamente dedutivo”.

A FMEA pode ser aplicada tanto em projetos de produtos ou processos que ainda estão em fase de elaboração como em revisão de produtos em produção ou processos em operação. Atualmente é um documento reconhecido pelas instituições internacionais de certificação de qualidade. Para os fins deste trabalho, será focada a FMEA de revisão de produtos em produção ou processos em operação.

De acordo com Helman e Andery (1995, p. 34), “entende-se por ‘modo de falha’ os eventos que levam associados a eles uma diminuição parcial ou total da função do produto e de suas metas de desempenho”, ou seja, é a forma como o produto pode fracassar no desempenho de sua função. Ainda de acordo com Helman e Andery (1995, p. 35), “entende-se por ‘efeito das falhas’ as formas como os modos de falhas afetam o desempenho do sistema”, que em outras palavras, é a consequência notada da ocorrência da falha no processo. (Ver relação dos eventos na figura 03).

A análise se inicia com a formação de uma equipe de trabalho com profissionais de áreas distintas e a elaboração de um cronograma de trabalho. Em seguida é determinado o objetivo e a abrangência da análise, definindo os componentes do sistema que serão considerados no estudo seguindo algum critério determinado pela equipe. Para cada componentes considerado, deve ser determinada a sua função no processo, ou seja, desempenho esperado do componente no sistema.

A figura 03 apresenta o fluxograma dos procedimentos da FMEA.

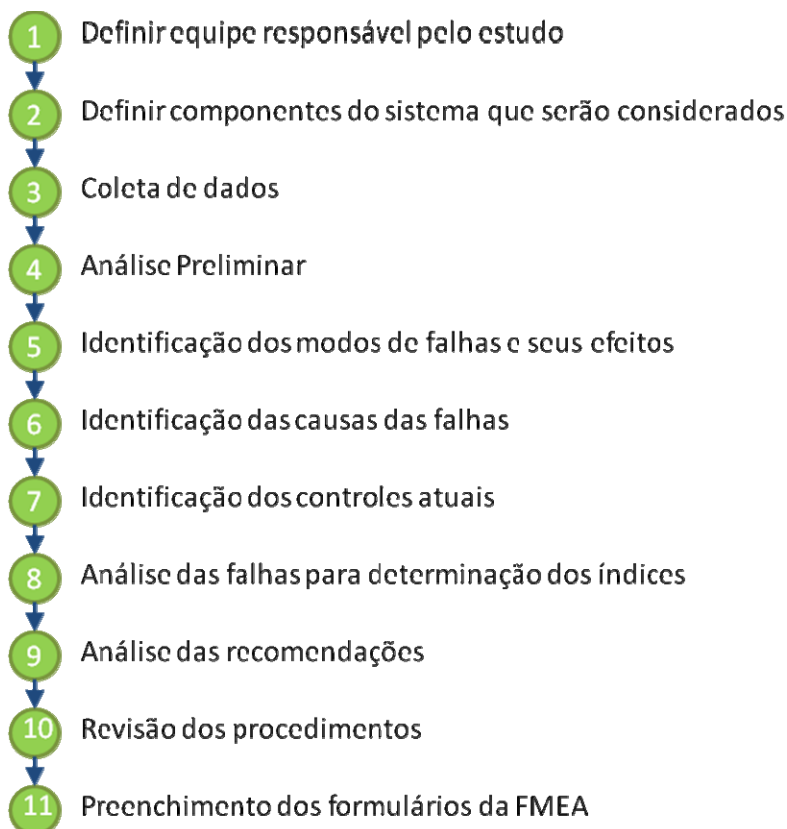


Figura 03: Fluxograma da seqüência de procedimentos da FMEA.

Fonte: adaptado de Helman e Andery (1995), Análise de Falhas (Aplicação dos métodos de FMEA – FTA).

A etapa seguinte é a de preparação e coleta dos dados. São reunidas informações de projeto, desenhos, especificações de materiais, fluxograma do processo, procedimentos de operação, normas, registros de falhas anteriores, dados estatísticos do processo e dados de análises anteriores.

Como os dados em mãos, é possível relacionar as falhas já conhecidas. A partir daí, deve-se procurar entender como os componentes estão ligados entre si e como funciona o processo, através dos projetos do produto e do fluxograma do processo. Com essas informações e levando em consideração as condições e restrições de funcionamento do produto e/ou processo, passa-se para a próxima etapa que é a de identificação dos modos de falhas e seus efeitos.

Para iniciar a identificação dos modos e efeitos de falhas pode ser elaborado um diagrama de Ishikawa (que será descrito posteriormente) para reunir os possíveis agrupamentos de falhas. Devem ser identificados também os efeitos associados a cada falha identificada. Devem ser levadas em consideração todas as falhas que já ocorreram e todas que podem ocorrer. A idéia dessa análise é realizar um mapeamento de todas as falhas possíveis e seus efeitos no produto ou processo estudado. Toda a informação gerada

nessa fase deve ser revistas ao longo do processo para verificar se não existe nenhuma repetição ou incoerência.

Depois de mapeado todos os modos e efeitos das falhas, segue-se para a etapa de identificação das causas das falhas. Segundo Helman e Andery (1995, p. 35), “causas de falha são os eventos que geram (provocam, induzem) o aparecimento do tipo (modo) de falha”, ou seja, qual a origem da falha.

A figura 04 ilustra a relação entre os três conceitos apresentados neste tópico:

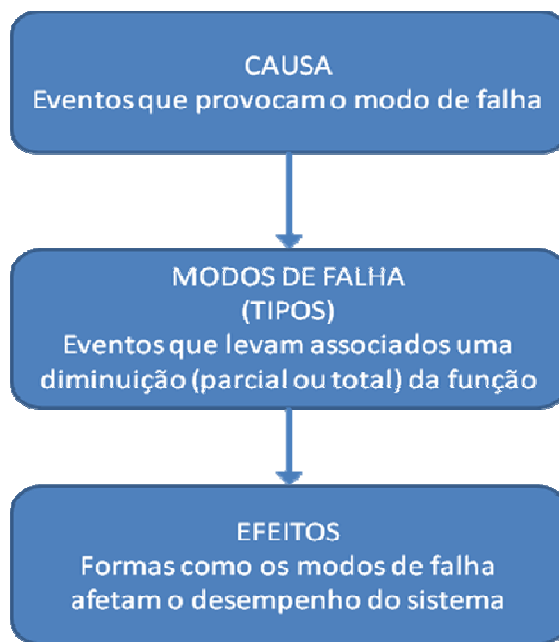


Figura 04: Relação Causa-Modo-Efeito.

Fonte: adaptado de Helman e Andery (1995), Análise de Falhas (Aplicação dos métodos de FMEA – FTA).

Para a identificação das causas das falhas são elaboradas árvores de falhas e são analisadas as causas mais prováveis com base nos dados levantados, na experiência dos profissionais, pela análise do projeto ou processo, em testes e simulações ou em históricos de manutenção do produto ou processo. Deve-se fazer também um levantamento das medidas de controle que são adotadas para tais falhas e de que forma elas podem ser detectadas antes de ocorrerem.

Em seguida as falhas são analisadas para determinar seu índice de criticidade ou risco, que é calculado a partir dos índices de frequência, gravidade e detecção.

O índice de frequência expressa a probabilidade de ocorrência de uma causa de falha e que dela resulte no modo de falha do produto e pode ser determinada pelo histórico de manutenção do equipamento ou por dados estatísticos de produto similar. O índice de gravidade representa a gravidade do efeito da falha no processo e pode ser determinada

através de uma escala levando em consideração os efeitos para a produção, meio ambiente, segurança e qualidade. O índice de detecção determina a probabilidade de a falha ser detectada antes que ocorra a falha e pode ser determinado avaliando as formas que podem ser detectadas as falhas e quais formas realmente são aplicadas no processo. Assim o índice de gravidade ou risco pode ser definido como sendo o produto dos três índices anteriores. Este índice é a forma de priorizar as ações corretivas que serão geradas no final da análise. Para garantir a obtenção de índices sólidos é importante aplicar o mesmo critério no estabelecimento dos índices de cada falha (Helman e Andery, 1995).

As etapas finais da FMEA compreendem em análise de recomendações, revisão dos procedimentos e preenchimento do formulário de FMEA. Este formulário contém todo o mapeamento dos modos, efeitos e causas das possíveis falhas do sistema, a classificação de criticidade de cada falha e o respectivo plano de ação ou bloqueio (recomendações) da falha, reunindo toda a informação gerada na análise.

A tabela 02 ilustra um modelo de formulário de FMEA.

Tabela 02: Modelo do formulário utilizado na FMEA

FORMULÁRIO FMEA																	
Produto/ Processo:				Área envolvida:				Data Elaboração:									
Fornecedor:				Aplicação:				Data Revisão:									
ITEM	NOME DO COMPONENTE OU PROCESSO	FUNÇÃO DO COMPONENTE OU PROCESSO	FALHAS POSSÍVEIS			ATUAL				AÇÃO CORRETIVA		RESULTADO					
			MODO	EFEITO(S)	CAUSA(S)	CONTROLES ATUAIS	ÍNDICES				RECOMENDAÇÕES	TOMADA	ÍNDICES REVISITOS				RESPONSÁVEL
							O	G	D	R			O	G	D	R	
Probabilidade de Ocorrência			Gravidade			Probabilidade de Detecção				Risco							
muito remota.....1			apenas perceptível.....1			muito alta.....1				baixo.....2							
muito pequena.....2			pouco importante.....2 e 3			alta.....2				moderado.....3							
pequena.....3			moderadamente grave.....4 a 6			moderada.....3				alto.....4,5,6							
moderada.....4,5,6			grave.....7 e 8			pequena.....4,5,6											
alta.....7,8			extremamente grave.....9 e 10			muito pequena.....7,8											
muito alta.....9,10						remota.....9,10											

Fonte: adaptado de Helman e Andery (1995), Análise de Falhas (Aplicação dos métodos de FMEA – FTA).

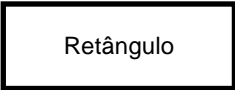
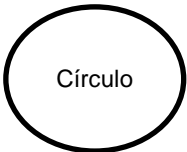

2.2. Análise da árvore de falhas – FTA

De acordo com Helman e Andery (1995, p. 63), o conceito da análise da árvore de falhas foi desenvolvido por H. A. Watson, da Bell Telephone Laboratories para avaliar a segurança no ramo da engenharia aeroespacial. Posteriormente começou a ser aplicada em outros ramos da indústria com a função de reduzir falhas e problemas que ocorrem em equipamentos ou processos.

A análise da árvore de falhas é uma ferramenta de raciocínio *top-down*, que parte de um problema denominado “evento do topo” e vai desdobrando a seqüência de eventos que podem conduzir ao evento topo. Os eventos que tem a causa mais básica, ou seja, que estão em níveis mais baixos na árvore, são considerados a causa fundamental, também conhecida como causa raiz ou causa primária do problema do topo. Pode ser realizado também um estudo de confiabilidade na árvore de falha de maneira a identificar a probabilidade do acontecimento do evento do topo a partir do cálculo das probabilidades dos eventos de causa. Essa é uma aplicação mais complexa da ferramenta que possibilita uma análise quantitativa do problema. O objetivo principal da árvore de falhas é de identificar as causas primárias da falha através da elaboração de uma relação lógica entre as falhas primárias e a falha final.

Antes de descrever o método de construção da árvore de falhas, faz-se necessário apresentar a simbologia utilizada. A tabela 03 relaciona os significados dos símbolos mais comumente utilizados na construção da árvore.

Tabela 03: Simbologia da Árvore de Falhas

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Eventos que são saídas de portas lógicas
	Eventos associados a falhas básicas
	Porta lógica de relação causal (e/ou)

Fonte: adaptado de Helman e Andery (1995), Análise de Falhas (Aplicação dos métodos de FMEA – FTA).

A análise da árvore de falhas se inicia com a formação de uma equipe multidisciplinar e elaboração de um cronograma de trabalho. A primeira tarefa é selecionar o evento do topo para a análise. O evento do topo é o evento que representa a falha ou problema que se deseja encontrar a causa, depois de identificada a causa é possível realizar ações que bloqueiem essa causa e conseqüentemente fecham o caminho para o evento do topo (problema/falha).

A figura 05 apresenta o fluxograma dos procedimentos da FTA.

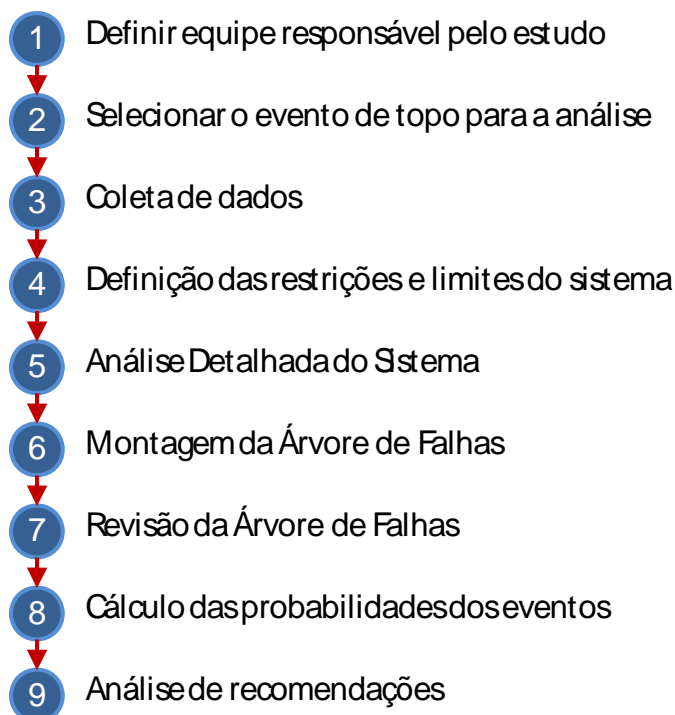


Figura 05: Fluxograma da seqüência de procedimentos da FTA.

Fonte: adaptado de Helman e Andery (1995), Análise de Falhas (Aplicação dos métodos de FMEA – FTA).

A etapa seguinte é a coleta de dados. Nessa etapa é necessário reunir todas as informações possíveis sobre o sistema: projetos detalhados, desenhos, cálculos, especificações de materiais, fluxogramas do processo, padrões de operação, normas, relatórios de ensaios e inspeções, FMEA e FTA realizados anteriormente e relatórios de falhas anteriores.

Com os dados todos reunidos, deve-se realizar uma análise inicial a fim de identificar os fatores que serão levados em consideração e os componentes que não serão analisados. A partir dessa fase, parte-se para a análise detalhada do sistema. A equipe deve compreender o fluxograma do processo e a função esperada do sistema. A utilização do diagrama de causa e efeito pode ser utilizada para se reunir os eventos identificados. O

resultado dessa etapa será utilizado na construção da árvore de falhas, por isso devem ser identificados todos os eventos que estiverem relacionados com a falha.

A construção da árvore é feita colocando o problema ou falha no topo da árvore. Utilizando a simbologia apresentada anteriormente, incluem-se os eventos de causa nas ramificações abaixo do evento do topo. É indicado utilizar o menor número possível de ramificações nos níveis mais altos da árvore, expandindo-a nos níveis mais baixos.

Após realizar a construção da árvore de falhas, é necessário fazer uma revisão da mesma. Para isso devem ser repassados todos os eventos inclusos na árvore e verificar se as relações entre os eventos estão concisas. Outra maneira de revisar a árvore é fazendo o caminho contrário, ou seja, verificar se partindo das causas fundamentais é possível chegar ao problema do topo. A avaliação de outras pessoas que não participaram da construção também pode ajudar a validar a árvore de falhas. A versão final da árvore é elaborada logo em seguida da revisão.

Para realizar uma análise quantitativa da árvore de falhas pode-se realizar o cálculo da probabilidade de falha do evento do topo. Nessa etapa deve ser atribuído aos eventos de nível mais básicos as probabilidades de falha e a partir desses valores seria possível calcular a probabilidade do evento do topo.

A etapa final da FTA é a análise de recomendações, onde para cada causa fundamental deve ser elaborado um plano de ação com efeito de bloquear as causas e evitar a ocorrência do evento do topo (falha/problema).

A figura 06 ilustra um exemplo simplificado de árvore de falhas.

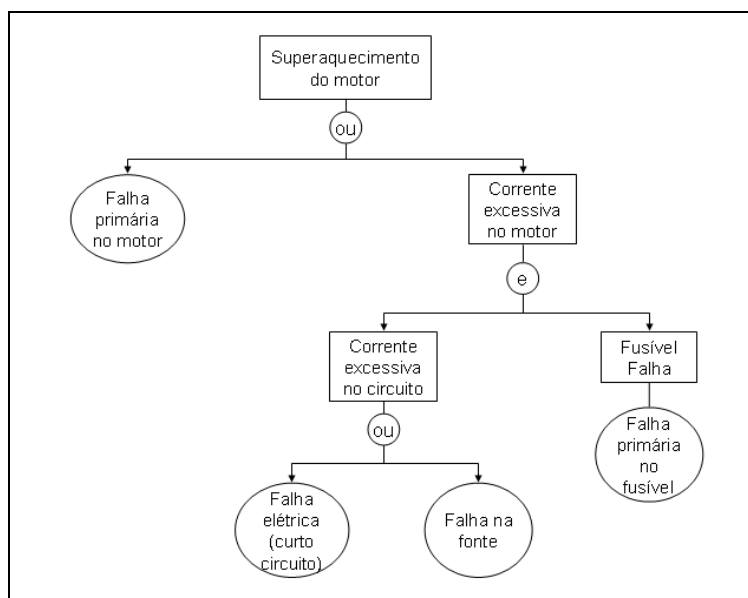


Figura 06: Estrutura da árvore de falhas.

Fonte: adaptado de Helman e Andery (1995), Análise de Falhas (Aplicação dos métodos de FMEA – FTA).

2.3. Diagrama de causa e efeito

O diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa, em homenagem ao seu criador, Kaoru Ishikawa, ou diagrama espinha de peixe, pela forma do diagrama lembrar um esqueleto de um peixe, é uma ferramenta que, segundo Werkema (1995, p. 95), é “utilizada para apresentar a relação existente entre um resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) do processo que, por razões técnicas, possam afetar o resultado considerado”.

Os passos para a elaboração de um diagrama de causa e efeito são demonstrados no fluxograma da figura 07.

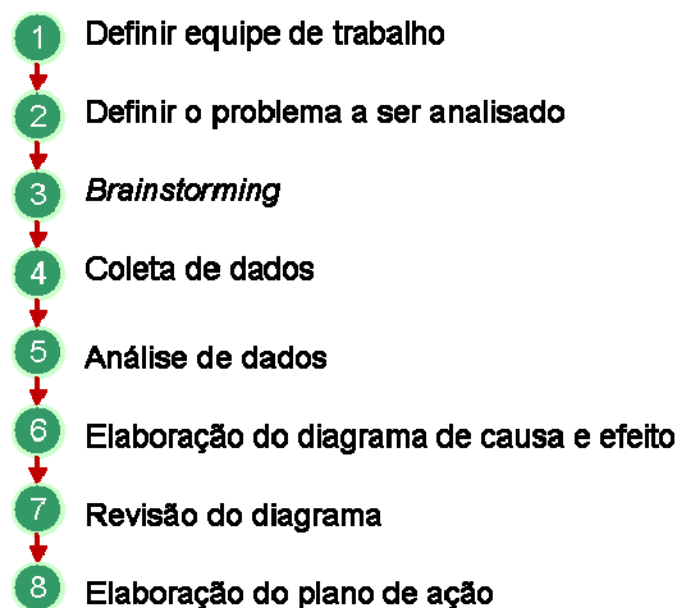


Figura 07: Fluxograma do procedimento para elaboração do diagrama de causa e efeito.

Fonte: adaptado de Werkema (1995), Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos.

O primeiro passo é a formação da equipe de trabalho. As pessoas integrantes do estudo devem ter conhecimento do processo e a equipe deve ser multidisciplinar. A seguir, deve-se determinar o problema (efeito) que será o objeto de estudo. A equipe realiza um *brainstorming*, com o objetivo de levantar as primeiras causas que afetam a característica da qualidade ou problema.

O passo seguinte é o de coleta e análise de dados, a fim de se coletar o máximo de informações possíveis que ajudem a entender melhor o processo, a função requerida do equipamento ou sistema e efetivamente quais fatores do processo que afetam o problema.

Em seguida, inicia-se a construção do diagrama. Coloca-se o problema a ser analisado em um retângulo do lado direito de uma folha e traça-se uma espinha dorsal para a esquerda. A partir dessa espinha saem as espinhas menores que irão representar as causas. Usualmente são utilizados como causas primárias os seguintes fatores: equipamentos, pessoas, insumos, métodos, medidas e condições ambientais, com o objetivo de categorizar as diversas causas que serão levantadas. Destes fatores são relacionados as causas secundárias e terciárias. Devem ser identificadas pela equipe as causas que parecem exercer efeitos mais significativos sobre o problema. A figura 08 mostra a estrutura esquemática do diagrama de causa e efeito.

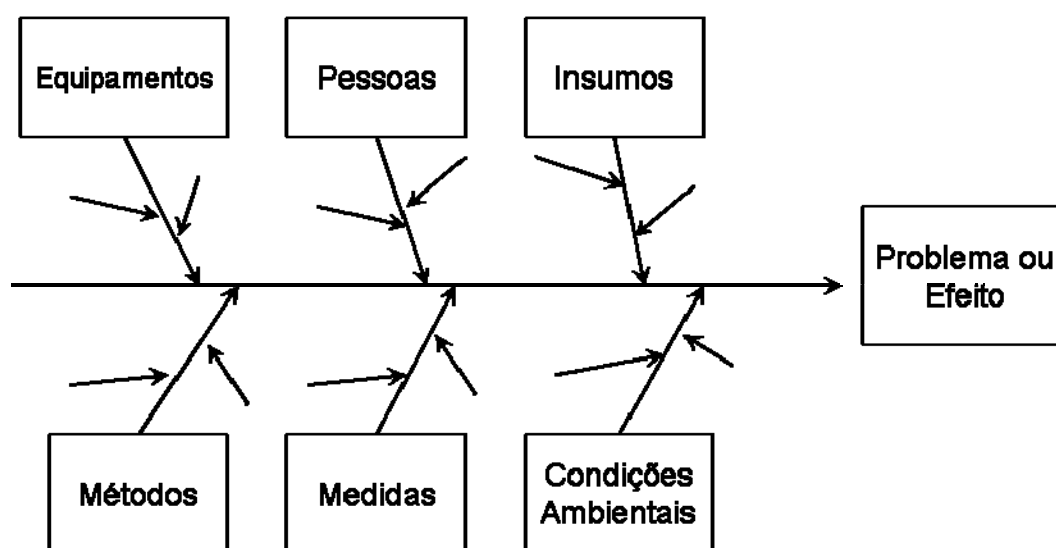


Figura 08: Estrutura esquemática do Diagrama de causa e efeito.

Fonte: adaptado de Marshall Junior *et al* (2006), Gestão da Qualidade.

Como o diagrama pronto, todas as informações que constam nele devem ser revisadas para verificar a coerência das relações de causa e efeito. Em alguns casos, quando uma causa possui muitas causas secundárias e terciárias, é interessante fazer um diagrama específico para esta causa a fim de realizar uma análise mais aprofundada dessa causa específica.

O passo final é elaborar um plano de ações para bloquear as causas fundamentais e prevenir a recorrência do problema.

2.4. Diagrama da seqüência de eventos

O diagrama de seqüência de eventos é uma ferramenta similar a uma linha do tempo, que reúne a seqüência de eventos que ocorreram relativas a um problema a ser investigado. Esse diagrama auxilia a organizar as informações coletadas no decorrer da

análise de falhas, identifica a falta de informação ou o conflito de informações, melhora o entendimento da relação entre os eventos e a partir deste diagrama já é possível visualizar as possíveis causas do problema (Moblely, 1999).

A construção desse diagrama é bastante simples e deve ser utilizada em conjunto com as outras ferramentas já descritas acima. A partir dos dados coletados devem-se selecionar os eventos relacionados ao problema estudado e organizá-los cronologicamente em uma linha do tempo, identificando cada evento de forma objetiva, constando a data e o horário de ocorrência. A descrição do evento deve ser feita de forma impessoal, não devem ser identificadas as pessoas envolvidas, somente os cargos, e como regra geral, é recomendado a utilização de um sujeito e um verbo para descrever um evento. Outros comentários ou relatos que se julguem importantes para detalhar o evento devem ser feitos fora da linha do tempo, indicados no diagrama.

Finalizada a elaboração do diagrama, deve ser feito uma revisão geral das informações reunidas no diagrama para tentar identificar alguma inconsistência da seqüência de eventos. Terminada a revisão, deve-se incluir este diagrama aos outros documentos elaborados na investigação da falhas.

3. ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÃO – 5W1H

Depois de desenvolvida a análise da falha, através dos métodos de análise descritos nos tópicos anteriores, e identificada as causas raízes do problema, deve-se elaborar um plano de ação. O principal objetivo do plano de ação é o de planejar as ações de bloqueio das causas fundamentais do problema para evitar a sua recorrência.

A ferramenta mais utilizada para elaborar um plano de ação é a 5W1H (Marshall Junior *et al*, 2006), que representa as iniciais, em inglês, das perguntas:

- O quê? (*What*);
- Quem? (*Who*);
- Quando? (*When*);
- Onde? (*Where*);
- Por quê? (*Why*);
- Como (*How*).

Existem algumas variações da ferramenta, acrescentando até mais 2H (*How much* – Quanto custa; *How many* – Quantos), criando 5W2H e 5W3H.

Essa ferramenta é muito importante na análise de falha para formalizar as ações que foram geradas das análises, os responsáveis e os prazos de conclusão, para se ter um controle do andamento de todas as ações. Quando o plano de ações não é obedecido pelos

responsáveis, as ações de bloqueio não são executadas e a falha ou problema volta a ocorrer, tornando o plano ineficaz.

O plano normalmente é apresentado em uma tabela, onde em cada coluna são inseridas as perguntas do 5W1H, conforme ilustrado na tabela 04.

Tabela 04: Modelo de Plano de Ação usando a ferramenta 5W1H.

PLANO DE AÇÃO					
O QUE	QUEM	QUANDO	ONDE	POR QUE	COMO
* Relacionar as ações a serem realizadas	* Identificar as pessoas responsáveis pelas ações	* Determinar o prazo para execução da ação	* Identificar onde será realizada a ação	* Justificar a necessidade da ação	* Descrever como será o que será feito para alcançar a ação

Fonte: adaptado de Marshall Junior *et al* (2006), de Gestão da Qualidade.

4. VERIFICAÇÃO DE EFETIVIDADE E PADRONIZAÇÃO

Para concluir o processo da análise de falhas, é necessário realizar a verificação da efetividade de todas as ações geradas pelo plano de ação. Deve ser verificado se as ações foram concluídas dentro dos prazos estipulados e se o planejado foi alcançado comparando as metas desejadas com os resultados obtidos.

No caso da análise de falhas, a meta desejada é o bloqueio da causa da falha evitando a recorrência da mesma. Se o plano de ação gerado pela análise não atingir esse objetivo, então deve-se agir sobre as causas do não atingimento da meta. Deve ser identificado o porquê do plano de ação não ter sido eficiente e elaborar um novo plano de ação ou realizar uma nova análise da falha caso a causa fundamental não tenha sido corretamente identificada.

Se o plano de ação atingir o objetivo de bloqueio da causa raiz da falha, então todas as medidas utilizadas no plano de ação devem ser adotadas como padrão operacional. A padronização é a adoção de ações que evitem o acontecimento da causa primária, impedindo que a falha ocorra. Para a padronização ser eficaz, devem ser revisados todos os padrões de operação do equipamento e os planos de manutenção, todas as modificações ocorridas devem ser comunicadas internamente e todo o pessoal envolvido com o equipamento ou processo deve ser treinado nos novos padrões adotados.

Capítulo IV

PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA MANUTENÇÃO

1. CLASSIFICAÇÃO DE CRITICIDADE DOS EQUIPAMENTOS

Para iniciar o planejamento da estratégia de manutenção adotada por uma empresa, a primeira coisa a ser feita é determinar a criticidade de todos os equipamentos envolvidos no processo produtivo. A criticidade do equipamento é uma forma de priorizar os equipamentos para assim determinar como serão desenvolvidas as atividades de manutenção. A criticidade do equipamento determina a estratégia de manutenção a ser utilizada no mesmo (Campos Junior, 2006).

Os critérios que são levados em consideração para determinar a criticidade dos equipamentos são: saúde, segurança, meio ambiente, qualidade, produtividade e custos de manutenção. O equipamento pode ser classificado como: criticidade A (equipamento crítico), criticidade B (equipamento importante) e criticidade C (equipamento auxiliar).

A avaliação da criticidade do equipamento pode ser feita através da classificação apresentada na tabela 05 e do fluxograma apresentado na figura 09.

Tabela 05: Critérios de classificação de Criticidade do equipamento.

Afeta SSMA de forma significativa	5	- Causa fatalidade ou acidentes sérios incapacitantes - Condição de saúde irreversível - Pode causar acidente com danos a médio e longo prazo e/ou espalhados ao ambiente - Equipamento controlado por Legislação ou em caso de falha pode causar descumprimento de requisitos legais ou impede monitoramento requerido pelos órgãos ambientais.
	3	- Lesões leves - Pequeno impacto financeiro sobre o negócio - Efeitos nocivos a saúde de uma ou mais pessoas - Pode Causar perturbação ecológica de baixa duração e/ou impactos restritos na área ambiental
	1	- Pequena perda financeira (primeiros socorros) - Efeitos leves a saúde - Não afeta o meio ambiente
Afeta qualidade do produto	5	Afeta qualidade do produto final (fora de especificação para o cliente externo)
	3	Afeta o produto para cliente interno (não afeta cliente externo; é passível de recuperação)
	1	Não afeta a qualidade ou especificação do produto.
Afeta a produção	5	Afeta meta anual de produção da planta (irrecuperável)
	3	Afeta a produção da planta (não afeta a meta anual, recuperável)
	1	Não afeta a produção
Custo de manutenção elevado	5	Gera um custo de manutenção igual ou superior à 5% do custo mensal de manutenção (pelo orçamento matricial)
	3	Gera um custo de manutenção entre 2% e 5% do custo mensal de manutenção (pelo orçamento matricial)
	1	Não afeta significativamente o custo de manutenção

Fonte: VOTORANTIM METAIS (2007), Manutenção Preventiva e Preditiva.

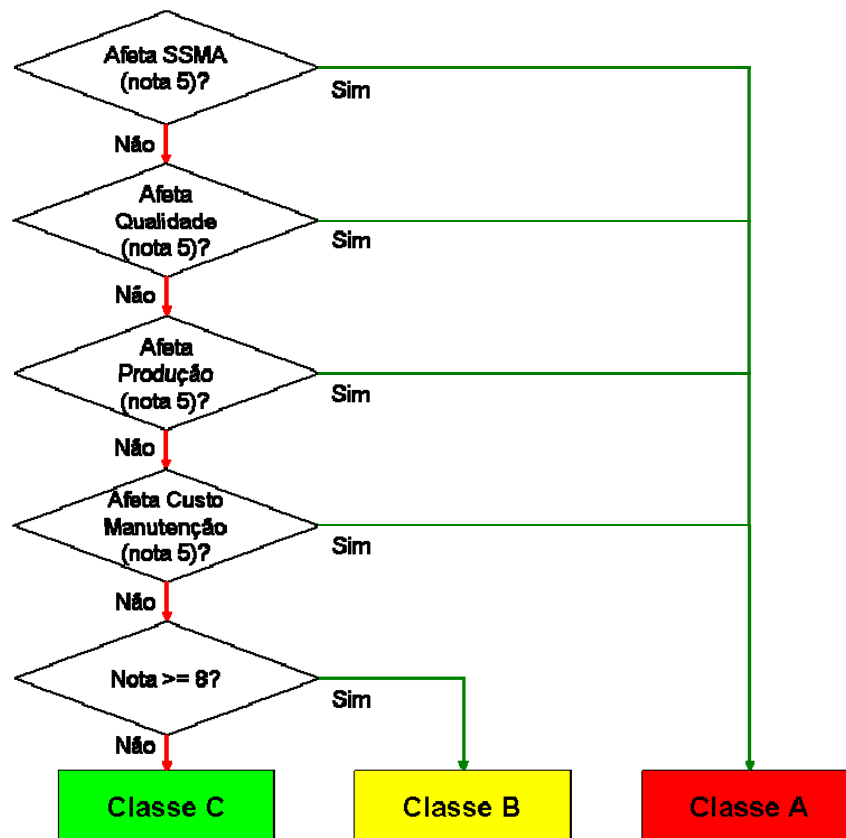


Figura 09: Fluxograma de avaliação da criticidade do equipamento.

Fonte: adaptado de VOTORANTIM METAIS (2007), Manutenção Preventiva e Preditiva.

2. DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO

Segundo Menezes e Almeida (2002) apud Campos Junior (2006), a escolha da estratégia de manutenção para cada equipamento consiste na escolha da política de manutenção mais adequada para o equipamento, visualizando-se os objetivos claros de: maior disponibilidade através do aumento da confiabilidade e manutenibilidade (MTBF máximo e MTTR mínimo), maximização da vida útil do equipamento e minimização dos custos de manutenção.

É importante a verificação dos manuais do fabricante do equipamento para identificar recomendações sobre os procedimentos de manutenção. A segurança deve ser prioridade na definição da estratégia de manutenção para a quebra do equipamento não colocar em risco a vida do trabalhador. Assim com os aspectos ambientais devem ser levados em consideração, pois, atualmente, a legislação ambiental é bastante rígida. E por fim a questão dos custos de manutenção é considerada para se obter o melhor custo-benefício da estratégia de manutenção adotada.

A estratégia de manutenção mais aceita entre as empresas é apresentada na tabela 06.

Tabela 06: Estratégia de manutenção do equipamento.

Equipamento	Tipo de Manutenção
Classe A	Adotar manutenção preditiva (ou preventiva quando não for possível a preditiva)
Classe B	Adotar manutenção preventiva e inspeções
Classe C	Adotar manutenção corretiva e inspeções

Fonte: adaptado de VOTORANTIM METAIS (2007), Manutenção Preventiva e Preditiva.

3. CRIAÇÃO DO PLANO DE ATIVIDADES DE MANUTENÇÃO

O plano de atividades de manutenção é elaborado seguindo a estratégia de manutenção definida para o equipamento. Ele apresenta as principais informações necessárias para a execução da manutenção no equipamento.

O plano de manutenção deve conter a descrição detalhada das atividades de manutenção a serem executadas no equipamento, os materiais que serão utilizados, a duração prevista para a atividade, a necessidade de mão-de-obra para executar a atividade, custo da atividade e frequência que a atividade deve ocorrer.

A criação do plano é de responsabilidade da engenharia de manutenção, porém deve ser desenvolvida com o auxílio de pessoas que possuem conhecimento profundo do equipamento e do processo que está inserido para a elaboração de um plano coeso com a estratégia de manutenção e com a necessidade do equipamento.

Normalmente as empresas utilizam *softwares* de ERP para cadastrar as informações contidas nos planos e esses softwares geram automaticamente as ordens de manutenção conforme a informação de frequência.

Para os planos de manutenção serem executados pelos mantenedores é necessário que ocorra a atuação dos planejadores, que realizam o trabalho de planejamento da força de trabalho disponível e das ordens de manutenção que devem ser executadas. Na

execução da manutenção é importante que o mantenedor realize uma análise crítica do plano de manutenção para solicitar a revisão e adequação do planejamento de recursos do plano que estiverem fora da realidade apresentada pela execução.

Capítulo V

ESTUDO DE CASO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A metalurgia é um processo produtivo que consiste em um conjunto de técnicas e procedimentos de extração, fabricação, fundição e tratamento dos metais e suas ligas. A maioria dos metais, com exceção do ouro e, eventualmente, da prata, do cobre, da platina e do mercúrio, são extraídos a partir de minérios, que são formados a partir de uma variedade de processos geológicos. A indústria metalúrgica apresenta relevante expressão no cenário econômico brasileiro, como se pode verificar nos dados econômicos nacionais. O PIB setorial, da ordem de US\$ 28,8 bilhões em 2006, representa 2,7% do PIB nacional e 9% do PIB industrial. Seu papel na economia eleva-se substancialmente quando se consideram as atividades econômicas seqüenciais à metalurgia, consumidoras de seus produtos, como a indústria automobilística, a de bens de capital e a de construção civil, entre outras (UFRGS, 2008).

A Companhia Paraibuna de Metais foi constituída em 2 de janeiro de 1975. As obras começaram em 1977 e, em março de 1980, foram iniciadas suas atividades produtivas na cidade de Juiz de Fora. A CPM foi integrada ao Grupo Paranapanema em fevereiro de 1996, recebendo uma capitalização de R\$ 60 milhões. Naquela época, sua produção de zinco estava próxima de 60 mil toneladas ao ano e, em 1998, já havia chegado a 70 mil toneladas. Sua produção de ácido Sulfúrico era de 120 mil toneladas anuais. Em 2002, a CPM foi adquirida pelo Grupo Votorantim, passando a chamar Votorantim Metais Zinco – Unidade Juiz de Fora, abrindo opções estratégicas de crescimento e fortalecimento à indústria nacional neste mercado de fortes competidores mundiais. A VMZ – JF atua em três seguimentos: galvanização contínua, galvanização geral e fundição de zamac e óxido de zinco. Para atender à demanda desses mercados, produz o zinco SHG (*Special High Grade*) com 99,995% de pureza, registrado na bolsa de metais de Londres (LME - London Metal Exchange), as ligas de zinco, o óxido de zinco, além de outros itens como cádmio, sulfato de cobre, concentrado de chumbo e prata, dióxido de enxofre líquido e ácido sulfúrico. Os principais consumidores desses produtos são as usinas siderúrgicas de aços planos e aços longos, galvanizadores, e as indústrias de pneus e borrachas, cerâmica, de artefatos e ferragens de zamac, de latão, de micro-nutrientes.

A produção de zinco na VMZ – JF utiliza quatro diferentes processos: ustulação, lixiviação, eletrólise e fundição. O processo de ustulação consiste na queima do concentrado de zinco (matéria-prima), em um grande forno, e a partir de uma reação química gera o óxido de zinco e dióxido de enxofre gasoso. Parte desse óxido é obtida em pó no leito do

forno e outra parte fica suspensa nos gases da queima. Esses gases são tratados por diversos processos para se extrair o máximo de óxido possível. Os gases seguem o processo para gerarem os subprodutos dióxido de enxofre líquido e ácido sulfúrico. O óxido de zinco produzido nesse processo é matéria-prima para o processo subsequente da lixiviação. A lixiviação é o processo de extração de uma substância sólida através de sua dissolução em um líquido e é responsável pela extração de vários metais contidos nos concentrados de zinco através da adição de solução de ácidos, cuja principal função é solubilizar o zinco e purificar a solução a ser enviada a eletrólise. A eletrólise é um processo que separa os elementos químicos de um composto através do uso da eletricidade e gera as folhas catódicas de zinco que vão ser utilizada na fundição. A fundição é o processo de transformar os cátodos de zinco em zinco líquido e conformar este metal em lingotes de Zn, ligas de Zn, grânulos de Zn, pó de Zn comum e pó para pilhas. O objetivo da Fundição é produzir zinco em lingotes com 99,995% de pureza, conhecido como extrafino, visando assim atender as especificações de exportação.

2. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO - MOINHO DE BOLAS

O equipamento objeto de estudo é chamado de moinho de bolas e sua função principal é de moer o material que for passado por ele. Sua estrutura se compõe de um grande cilindro horizontal giratório que possui dentro bilhas, que são bolas de chumbo do tamanho de um limão, daí o nome moinho de bolas. Seu funcionamento básico é o de diminuir a granulação do material que passa ao longo do cilindro pelo atrito entre as bolas e o material provocado pela rápida rotação do cilindro.

O óxido de zinco gerado na queima do concentrado no forno e na extração das partes suspensas dos gases da queima, para passar ao processo seguinte, precisa possuir uma granulometria mais fina e para isso passam pelo moinho de bolas.

O moinho de bolas é um equipamento crítico dentro desse processo, pois se ele parar a produção da área também pára. É um equipamento que também afeta diretamente na qualidade do produto, pois é determinante na especificação do produto (granulometria), além de possuir altos riscos em SSMA (saúde, segurança e meio ambiente) e altos custos de manutenção.

3. ANÁLISE DA FALHA

O moinho de bolas apresentou quatro quebras sucessivas, nos dias 4, 13, 17 e 31 de outubro de 2005, causando o não cumprimento da meta de produção da unidade e por esse motivo foi iniciado o estudo de análise da falha pela gerência da área. Foi realizada a coleta

dos dados principais para o início da análise conforme procedimentos estabelecidos pelo método de análise. A figura 11, no anexo 2, apresenta o diagrama da seqüência de eventos das falhas do moinho de bolas, que ajuda a compreender os eventos que ocorreram ao longo do período analisado.

A figura 10 mostra um desenho esquemático do sistema do moinho de bolas.

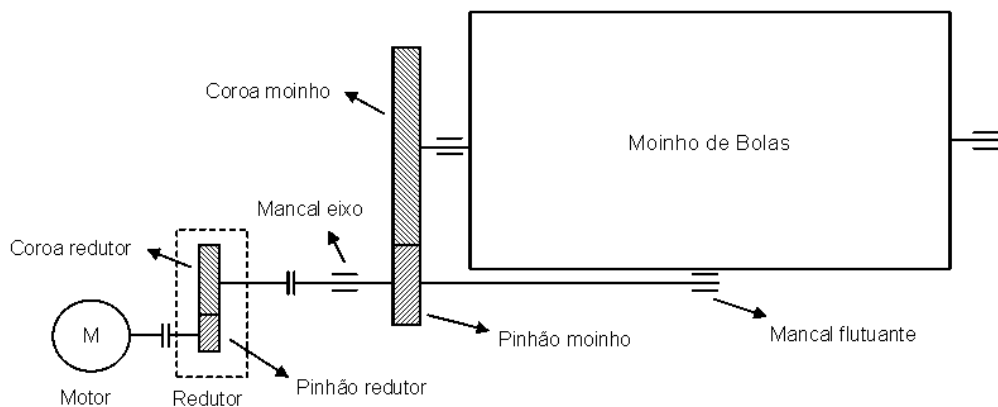


Figura 10: Desenho esquemático do sistema moinho de bolas.

Fonte: VOTORANTIM METAIS (2005).

A primeira quebra representada no diagrama ocorreu no dia 16 de outubro com um princípio de incêndio no acionamento do moinho, na qual se pôde constatar que o dente do pinhão estava quebrado, a coroa apresentava desgaste e superaquecimento das engrenagens por falha da lubrificação automática. O moinho voltou a operar no dia seguinte. Nos dias seguintes, o sistema de lubrificação automática apresentou cinco falhas e no dia 31 de agosto ocorreu a quebra do mancal. Foi constatado novamente falha no sistema de lubrificação. O moinho retornou em operação no mesmo dia com a substituição do mancal quebrado. No dia 4 de outubro, ocorreu a quebra do redutor, ocasionando produção de óxido com granulometria fora de especificação causando impactos na outras áreas subseqüentes e perda de produção da unidade. O moinho voltou a operar dois dias depois com o redutor reserva. Nova parada no dia 13 de outubro, causada pela quebra dos dois mancais e do redutor, ocorrendo danos a base civil do moinho. Não foi possível colocar o moinho em operação, pois o redutor reserva estava indisponível, sendo reparado da quebra anterior, causando perda de produção da unidade novamente. Neste dia foi iniciada a análise de falha e foi realizada uma reunião com a equipe de manutenção e produção para desenvolver um plano de ação corretiva. A tabela 08, no anexo 1, apresenta o relatório de análise de anomalia – RAA gerado pela equipe. Foi tomada uma medida paliativa para o

reductor: operação com conjunto pinhão-coroa sem tratamento térmico e o moinho entrou em operação três dias depois. No dia 17 de outubro, dia seguinte a medida paliativa, ocorreu nova parada por quebra do reductor. Medida paliativa para o reductor se mostrou inefetiva, pois a dureza inferior da engrenagem não suportou carga de trabalho causando novamente a perda de produção da unidade. Foram colocadas em práticas as ações do plano elaborado anteriormente e o moinho foi colocado em operação com a utilização do conjunto pinhão tratado. Foi iniciado o monitoramento contínuo da vibração do conjunto e diminuída a produção para observar o comportamento do moinho até o dia 27 de outubro. No dia 31 de outubro houve nova parada do moinho provocada pela quebra do reductor. O moinho voltou a operar no dia seguinte com a utilização do reductor recuperado (foi realizada uma reengenharia do reductor para aumento do fator de serviço - aumento da largura dos dentes, engrenagens interiça com o eixo, retífica pós-tratamento térmico, etc.). No dia 7 de novembro foi identificada uma tendência de aumento da vibração do conjunto, foi realizada a parada do moinho para inspeção, troca preventiva do óleo do reductor e análise de óleo, não sendo encontrada nenhuma anormalidade. Os resultados pós intervenção foram a verificação da redução drástica dos níveis de vibração.

A figura 12, no anexo 3, apresenta a árvore de falhas desenvolvida no decorrer do processo de análise.

4. PLANO DE AÇÃO, VERIFICAÇÃO DA EFETIVIDADE E PADRONIZAÇÃO

O primeiro plano de ação foi gerado no dia 13 de outubro para tomar as primeiras medidas paliativas da falha do reductor, como pode ser verificado na tabela 08. Ao longo do período de recorrência da falha, esse plano de ação inicial foi sendo revisado, visto que as medidas paliativas não estavam gerando os resultados esperados.

A verificação de efetividade desse plano foi a própria recorrência da falha, visto que as ações geradas não estavam bloqueando a falha. A revisão do plano foi sendo feita a cada nova quebra do equipamento até se obter a redução drástica dos níveis de vibração do conjunto e parar a recorrência da quebra do reductor. A tabela 09, no anexo 4, mostra a versão final do plano de ação gerado pelo processo da análise de falha.

As ações grifadas em amarelo na tabela 07 mostram as ações referentes a mudanças na estratégia do equipamento. Uma das causas do problema foi exatamente a falha no planejamento da estratégia do equipamento, pois como o moinho de bolas é um equipamento crítico, se sua estratégia de manutenção preditiva (monitoramento de vibração) tivesse sido obedecida, a quebra do reductor poderia ter sido prevista e ações poderiam ter sido desenvolvidas para prevenir a falha do equipamento e assim evitar a perda de produção.

Tabela 07: Ações referentes à mudança da estratégia de manutenção.

Plano de reestabelecimento do Moinho de Bolas - Outubro 2005

O QUE	QUEM	COMO	QUANDO	CONCLUÍDO
Definir sistemática de inspeção do moinho e lubrificação pelos operadores	Pedro	Treinar operadores da área e elaborar check list de inspeção	19/10/2005	19/10/05. Operadores orientados para fazer inspeção visual do conjunto pinhã-coroa através da porta de inspeção confeccionada
Fazer monitoramento da vibração do conjunto de acionamento	Georges	Contactar Preditec e solicitar visita do técnico para análise na partida e para medições diárias	20/10/2005	20/10/2005. Sistemática definida para 2 medições diária (início e final do dia), inclusive finais de semana. Atualmente a análise está sendo feita diariamente pelos técnicos de preditiva da Eng. de Manutenção

Fonte: VOTORANTIM METAIS (2005).

Capítulo VI

CONCLUSÃO

No cenário do mercado atual, de grande competitividade entre as empresas em nível mundial, é sempre importante buscar formas de gestão que levem as empresas a se tornarem mais atrativas e competitivas no mercado mundial. A gestão da manutenção teve uma grande mudança de conceito ao longo dos últimos trinta anos e modificou os objetivos da atividade, passando do conceito de consertar a falha para prevenir sua ocorrência. Nesse contexto vários sistemas foram criados para atingir este objetivo de melhorar a confiabilidade dos equipamentos de uma planta. Ter uma gestão da confiabilidade dos ativos de uma empresa é um fator de grande importância nesse cenário mundial. Aumentar a disponibilidade dos equipamentos de uma indústria pode trazer grandes benefícios para a empresa e principalmente garante ganhos em qualidade e produção. A análise de falhas é uma ferramenta muito importante nesse processo de melhorias, pois possibilita realização de investigação de problemas que impactam diretamente na saúde, segurança e meio ambiente bem como na qualidade, produção e custos de uma empresa. A realização de uma análise de falhas bem sucedida possibilita o bloqueio das causas da falha e impede que elas se tornem recorrentes e diminuam a disponibilidade dos equipamentos. Assim como também permite a identificação de falhas no planejamento ou execução da estratégia de manutenção.

O estudo apresentado neste trabalho possibilitou a demonstração desses benefícios para a empresa. Foi fundamental a aplicação das metodologias de análises de falha, pois em casos recorrentes como o apresentado, bem como em casos crônicos, essa metodologia se mostra muito eficiente. É interessante ressaltar também a falha de projeto identificada no estudo de caso, visto que ocorreu uma alteração de processo sem uma avaliação do projeto do equipamento. A utilização das ferramentas corretas auxilia a encontrar as causas fundamentais e atuar nelas. Nem sempre é possível realizar um bom planejamento estratégico de manutenção para os ativos da empresa, muitas vezes por falta de conhecimento das pessoas que o realizam. Mas é importante desenvolver meios para adquirir esse conhecimento pela experiência obtida no acompanhamento da performance dos equipamentos nos processos em que estão inseridos. A análise das falhas dos equipamentos é um meio para a identificação da própria falha de gestão da manutenção.

É importante salientar que esse processo de aprendizagem deve ser desenvolvido em todos os níveis da empresa. Todos os colaboradores devem ter essa cultura da gestão de manutenção e não apenas a área de manutenção. Com isso o objetivo deste trabalho de identificar como a análise de falha em equipamentos pode ser aplicada na definição do planejamento estratégico da manutenção foi atingido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462**. Rio de Janeiro, 1994.

BELMONTE, D. L.; SCANDELARI, L. **Gestão do conhecimento**: aplicabilidade prática na gestão da manutenção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006. Disponível em: <http://www.pg.cefetpr.br/ppgep/Ebook/ARTIGOS2005/E-book%202006_artigo%2054.pdf>. Acesso em: 22 mai 2008.

CAMPOS JUNIOR, E. E. **Reestruturação da área de planejamento, programação e controle na gerência de manutenção portuária**. São Luís: Universidade Federal do Maranhão, 2006.

CURSO DE ENGENHARIA METALÚRGICA. **Informações referentes à inserção do curso nos seus diversos contextos**. Plano Pedagógico do Curso, UFRGS. Disponível em: <<http://www.ct.ufrgs.br/ntcm/demet/ppc/4ppc.doc>>. Acesso em: 05 nov 2008.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas (Aplicação dos métodos de FMEA e FTA)**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

KARDEC, A.; CARVALHO, C. **Gestão estratégica e terceirização**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção**: função estratégica. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

LOBATO, D. M., MOYSÉS FILHO, J., TORRES, M. C. S., **Estratégia de empresas**. 7 ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

MARSHALL JUNIOR, I.; CIERCO, A. A.; ROCHA, A. V.; MOTA, E. B.; LEUSIN, S. **Gestão da Qualidade**. 7 ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

MOBLEY, R. KEITH. **Root cause failure analysis**. Newnes, 1999.

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

ORIBE, CLAUDEMIR. **Diagrama de árvore**. Disponível em: <http://www.aotssp.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=19&Itemid=2>. Acesso em: 18 out 2008.

Palestra de Confiabilidade. **ReliaSoft Brasil**. 2005. Disponível em: <<http://www.reliasoft.com.br/Painel/index.htm>>. Acesso em: 22 mai 2008.

PALLEROSI, C., **Confiabilidade, A quarta dimensão da qualidade**. Vol. Manutenibilidade e Disponibilidade. ReliaSoft Brasil, 2007.

QUALITY ASSOCIATES INTERNACIONAL. **FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)**. Disponível em: <<http://www.quality-one.com/services/fmea.php>>. Acesso em: 24 out 2008.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

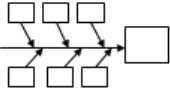
VANDEN HEUVEL, L. N.; LORENZO, D. K.; MONTGOMERY, R. L.; HANSON, W. E.; ROONEY, J. R. **Root cause analysis handbook**. Brookfield: Rothstein Associates Inc., 2005.

VOTORANTIM METAIS. **Padrão Gerencial – Manutenção Preventiva e Preditiva**. 2 ed. São Paulo: 2007.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

ANEXO 1:

Tabela 08: Relatório de análise de anomalia - RAA.

RELATÓRIOS		Unidade:	Juiz de Fora	
Ação Corretiva		Número:		
Ação Preventiva		Data:	31/10/2005	
TIPO DE AÇÃO				
<input checked="" type="checkbox"/>	RAC - Relatório de Ação Corretiva	<input type="checkbox"/>	RAP - Relatório de Ação Preventiva	
ORIGEM DA OCORRÊNCIA				
DATA:	13/10/2005	<input type="checkbox"/>	Auditoria	
SETOR:	Ustulação	<input type="checkbox"/>	Partes interessadas	
TURNO:	15:00 / 23:00	<input type="checkbox"/>	Outros	
EMITIDO POR:	Ricardo			
DESCRIÇÃO				
ASSUNTO:	Equipamento	ÁREAS ENVOLVIDAS:	Ustulação / Lixiviação / Eletrólise	
Afirmção geral:	Não cumprimento da meta de produção de catodo e da alimentação do forno em função de quebras sucessivas do moinho de bolas (dias 4, 13, 17 e 31)			
Evidência(s) objetiva(s):	Relatórios de produção e processo da unidade.			
AÇÃO DE BLOQUEIO (Tratamento Imediato)				
O funcionamento do moinho foi estabilizado à partir da aplicação de redutor readequado (maior fator de serviço) e orientação de especialista (dia 31/10). Antes desta data, a ações de bloqueio não tiveram sucesso. O alinhamento adequado na montagem do conjunto e monitoramento sistematizado da vibração completam as ações de bloqueio que foram tomadas, e que têm mostrado efetividade.				
Responsável:	Ricardo	Prazo previsto:	13/10/2005	Realizado:
				31/10/2005
INVESTIGAÇÃO DAS CAUSAS				
 <p>Vide árvore e causas e linha do tempo em anexo</p>				
5 W 1 H				
Responsável:	André	Realizado: 31/10/2005		
PLANO DE AÇÃO				
Ação	Responsável	Previsto	Realizado	Observações
Realizar estudos de engenharia para solução de problema crônico (falhas no sistema de lubrificação)	Marcelo	15/01/2006		
Readequar redutor reserva do moinho	Ricardo	25/11/2005	21/12/2005	
Buscar alternativas de fornecedores para a coroa (prazo e custos mais atrativos)	Cesar	15/11/2005	30/11/2005	
Elaborar e aprovar PI para aquisição de coroa e pinhão para o moinho de bolas em caráter de urgência	Ricardo	15/11/2005	28/11/2005	
Desenvolver plano de inspeção e limpeza periódicos para o moinho de bolas	André	25/12/2005		
Encomendar fabricação de coroa para o moinho	Ricardo	20/11/2005	25/11/2005	
Planejar e executar montagem da coroa e pinhão (novos) do moinho	André	15/03/2006		Reprogramado para a parada geral de out/06
VERIFICAÇÃO DA EFETIVIDADE				
Responsável:	Ricardo	Prazo previsto:	30/03/2006	Realizado:
NO CASO DE REPROGRAMAÇÃO DE DATAS LANÇAR AS ANTERIORES NO CAMPO OBSERVAÇÕES				

Fonte: adaptado de VOTORANTIM METAIS (2005).

ANEXO 2:

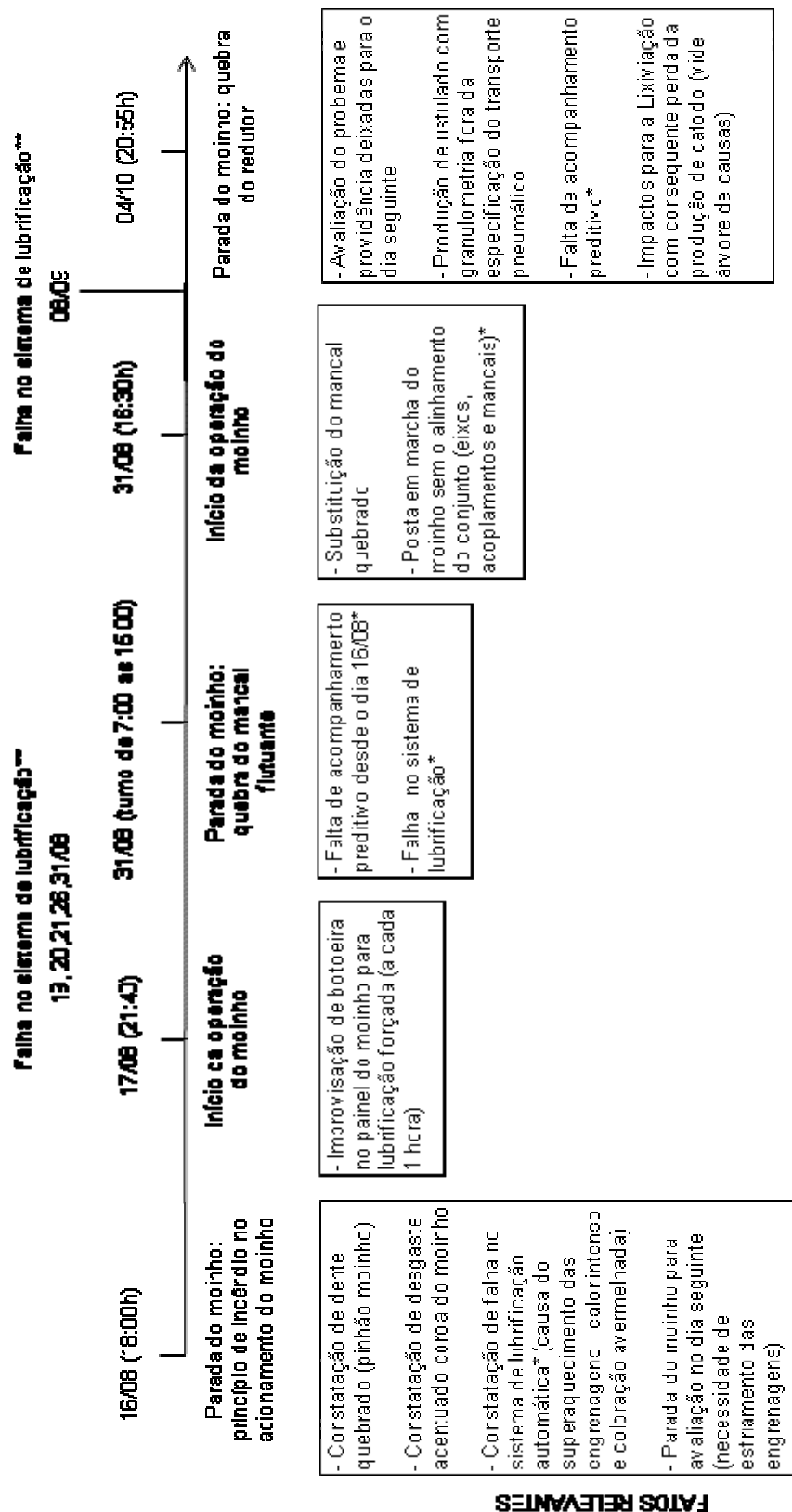


Figura 11-a: Diagrama da seqüência de eventos da falha do moinho de bolas.

Fonte: adaptado de VOTORANTIM METAIS (2005).

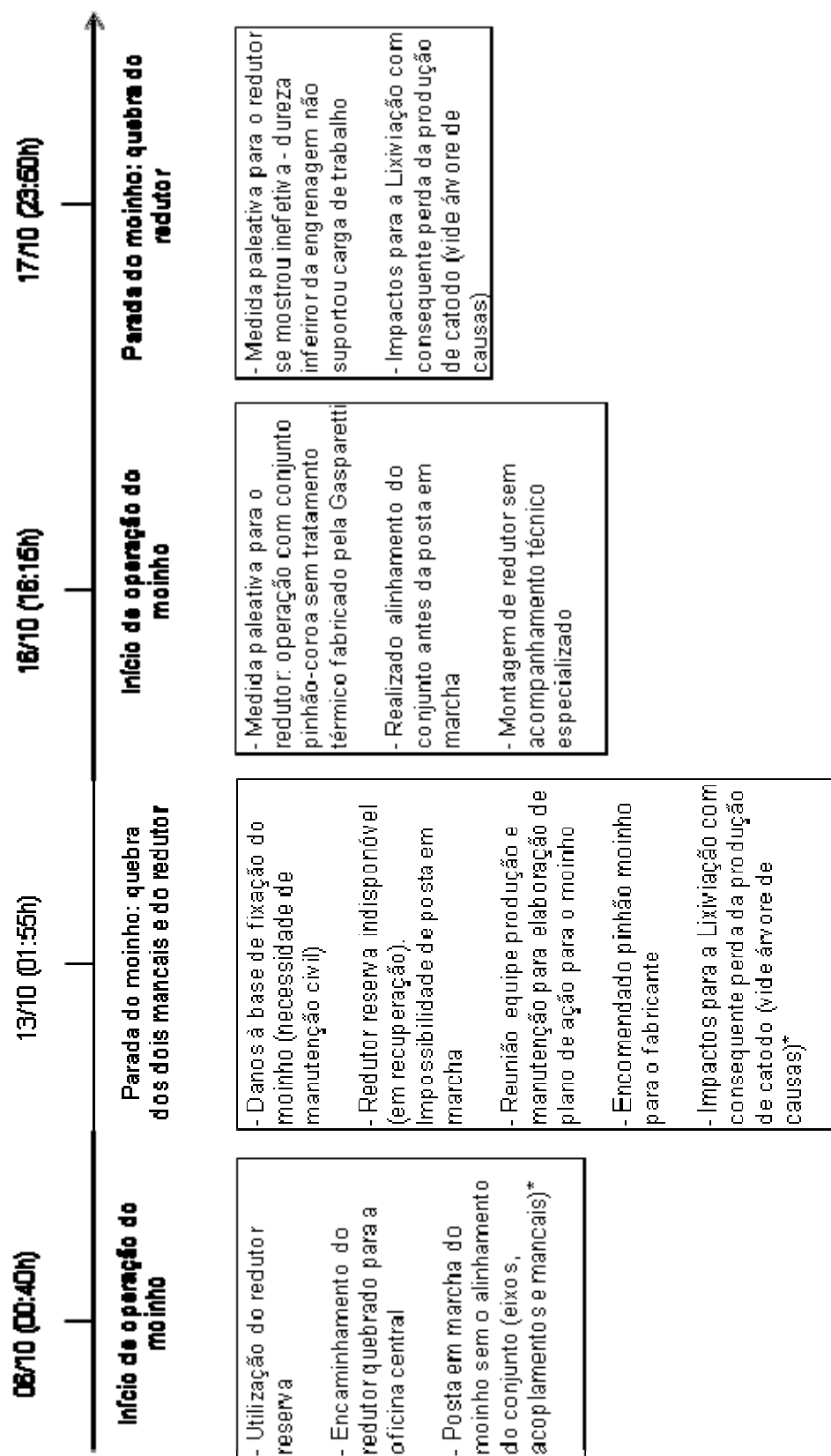


Figura 11-b: Diagrama da seqüência de eventos da falha do moinho de bolas.

Fonte: adaptado de VOTORANTIM METAIS (2005).

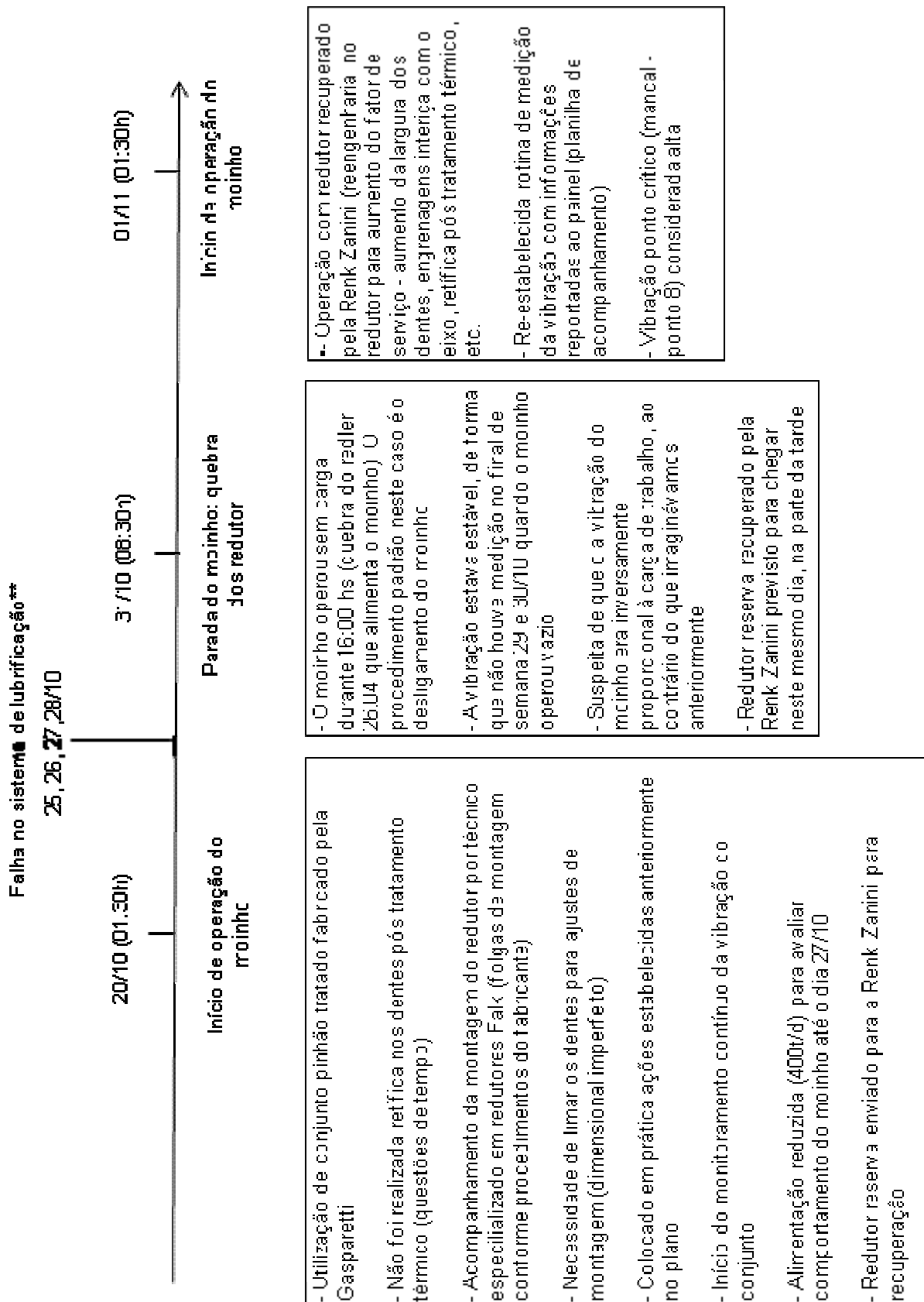


Figura 11-c: Diagrama da seqüência de eventos da falha do moinho de bolas.

Fonte: adaptado de VOTORANTIM METAIS (2005).

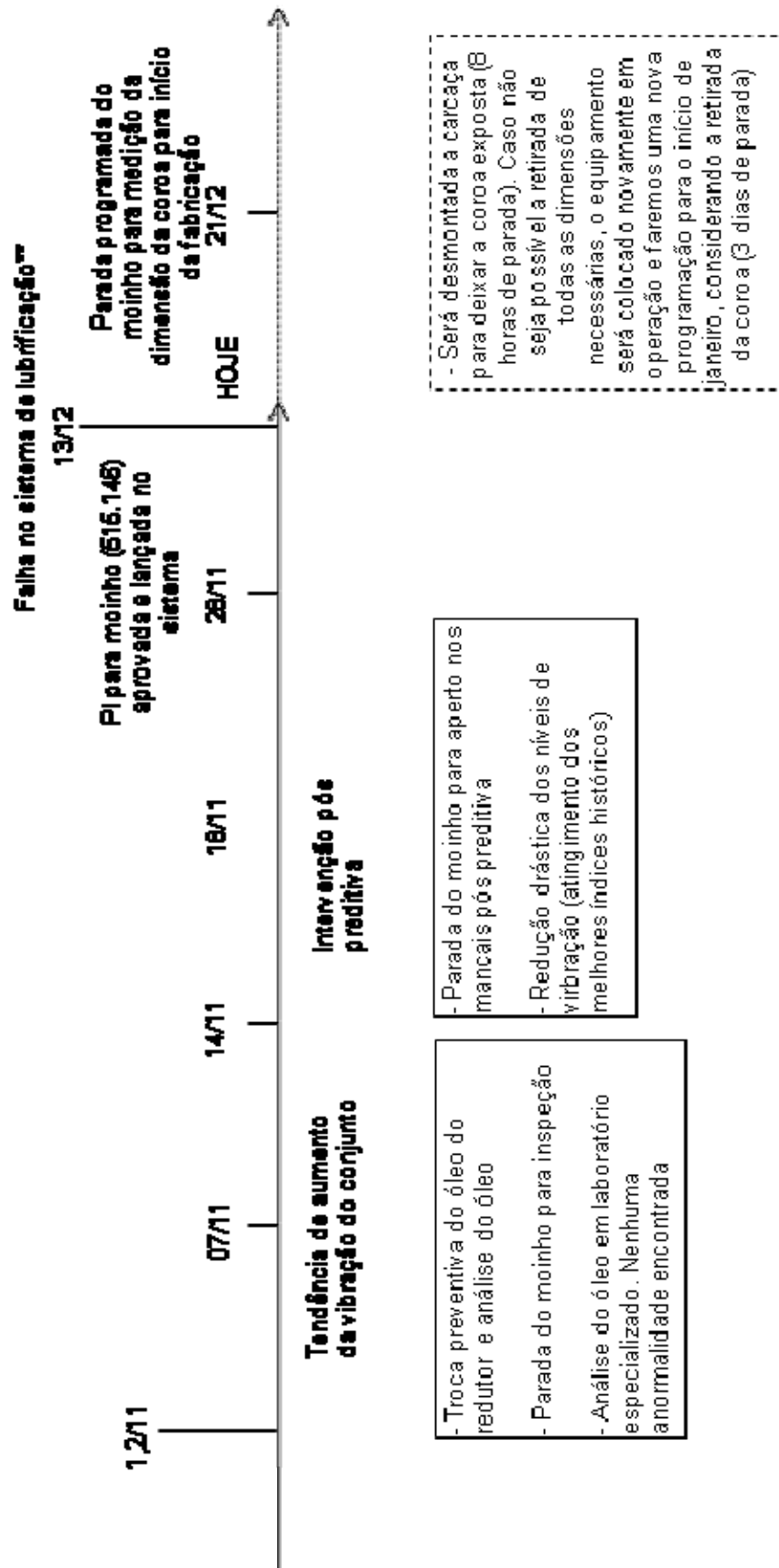


Figura 11-d: Diagrama da seqüência de eventos da falha do moinho de bolas.

Fonte: adaptado de VOTORANTIM METAIS (2005).

ANEXO 3:

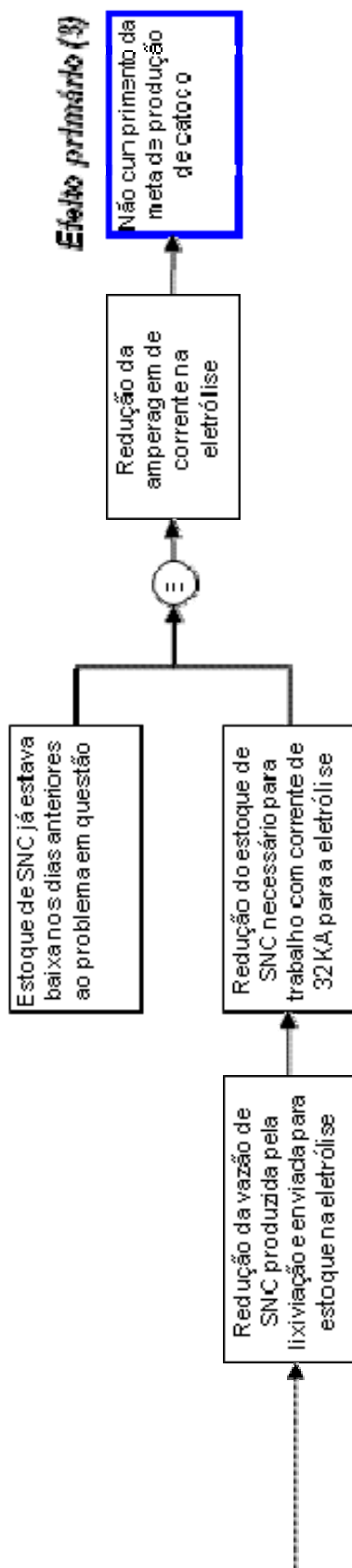


Figura 12-a: Árvore da falha do moinho de bolas.
Fonte: adaptado de VOTORANTIM METAIS (2005).

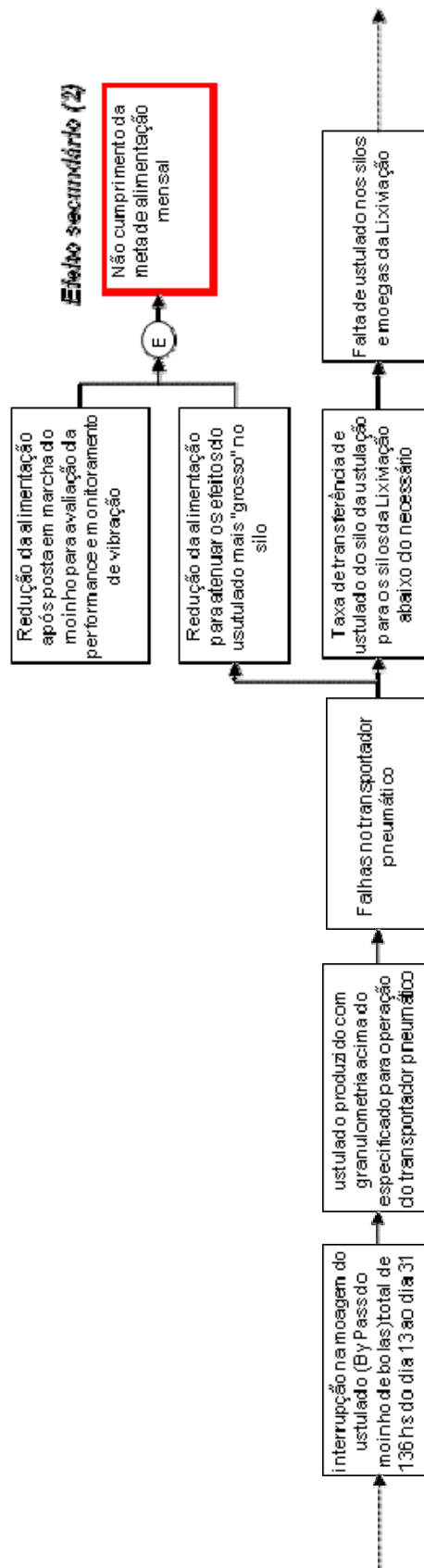


Figura 12-b: Árvore da falha do moinho de bolas.

Fonte: adaptado de VOTORANTIM METAIS (2005).

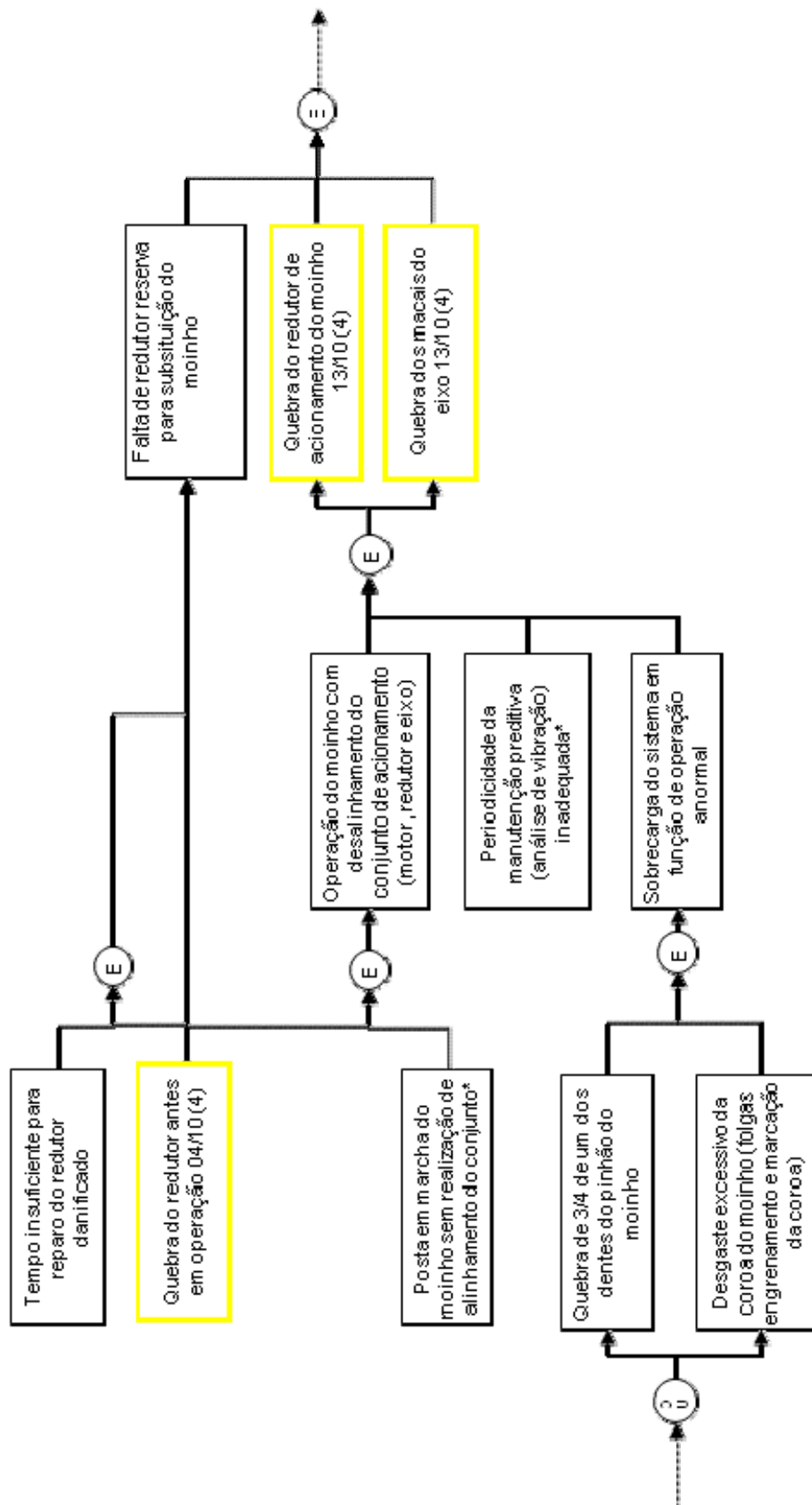


Figura 12-c: Árvore da falha do moinho de bolas.

Fonte: adaptado de VOTORANTIM METAIS (2005).

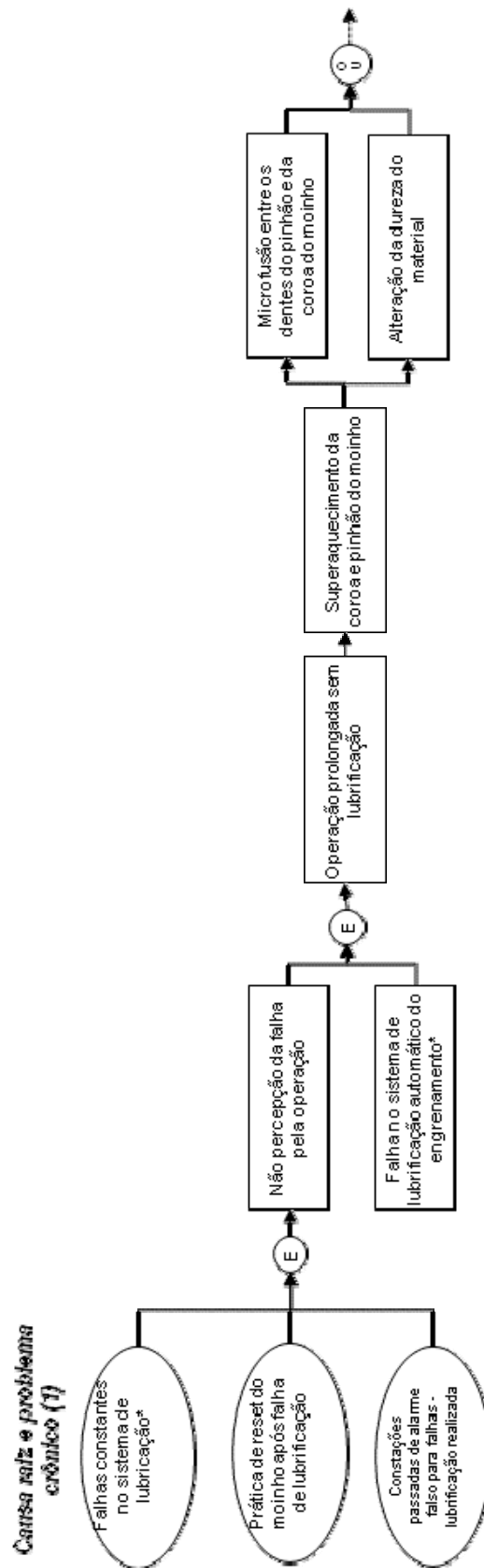


Figura 12-d: Árvore da falha do moinho de bolas.
Fonte: adaptado de VOTORANTIM METAIS (2005).

ANEXO 4:

Tabela 09-a: Plano de Ação da análise de falha do moinho de bolas.

Plano de reestabelecimento do Moinho de Bolas - Outubro 2005

O QUE	QUEM	COMO	QUANDO	CONCLUÍDO
Fechar a compra de 1 pinhão sem tratamento e 1 conjunto pinhão/coroa tratados por tempera e indução.	Baldutti	Contratar empresa Gasparete	13/10/2005	13/10/2005
Substituição dos rolamentos e mancais do pinhão acionamento do moinho.	Valtair	Efetuar a montagem do conjunto em oficina e no local.	14/10/2005	14/10/2005
Montagem de redutor na Oficina Central	Marcio	Após entrega do pinhão (sem tratamento) no sábado 15/10	15/10/2005	15/10/2005
Montagem do conjunto redutor no local.	Valtair	Montar redutor na base e alinhar	16/10/2005	16/10/2005
Acompanhar medição de preditiva e partida do moinho.	Raphael	Fazer o alinhamento do conjunto e medição da preditec.	16/10/2005	16/10/2005
Pinhão de acionamento do moinho com dente quebrado	Baldutti	Fazer enchimento e acabamento em dente.	14/10/2005	CANCELADO
Fazer instalação de conjunto novo, pinhão de acionamento e redutor, no moinho.	Valtair	Montar todo conjunto novo em nova parada do moinho.	20/10/2005	CANCELADO
Verificar condições dos mancais do eixo do moinho de bolas	Baldutti	Avaliar necessidade de substituir rolamentos e fazer programação se necessário	18/10/2005	18/10/2005
Solicitar compra de emergência para mancais reserva do eixo do moinho de bolas	Baldutti	Encaminhar pedido para suprimentos e fazer follow up	18/10/2005	Compra solicitada. Previsão de chegada 27/10
Buscar fornecedores alternativos para fabricação da coroa do moinho	César	Definir melhor alternativa para reduzir o tempo requerido pela Metso (260 dias) e fazer pedido de fabricação. No caso de fornecedor alternativo, o pinhão também deverá ser encomendado	30/10/2005	Fornecedor definido com previsão de entrega entre 60 e 75 dias: Renk Zanini. PI elaborada e em processo de aprovação na diretoria (caráter de emergência)
Coordenar logística para montagem do redutor na oficina e na área - necessidades especiais	Baldutti	Programar serviços com a Cegelec e com mecânicos VM - providenciar iluminação, horários de trabalho, transporte, etc.	19/10/2005	19/10/2005. Os mecânicos envolvidos chegaram para trabalhar às 17:30h (descanso em casa durante o dia)
Fazer montagem do conjunto pinhão-coroa na oficina	Oldair	Segundo orientações e supervisão de técnico especializado da PowerMotion. Abrir PSM	19/10/2005	19/10/2005. Montagem realizada às 10:30h conforme procedimentos indicados pelo fabricante (com supervisão de um especialista contratado)
Verificar sistema de lubrificação do engrenamento pinhão-coroa do moinho	Edson	Garantir lubrificação eficaz e funcionamento dos sinais de alerta na sala de Controle	19/10/2005	19/10/2005. Sistema de lubrificação com funcionamento normal
Orientar técnicos de painel e operadores quanto à operação do moinho e monitoramento do sistema de lubrificação	Pedro	Atentar para limitação da carga de trabalho e procedimentos (definir) em caso de falhas no sistema de lubrificação	19/10/2005	19/10/2005. Informações repassadas e reforçadas nas passagens de turno
Abrir pequena porta de visita para inspeção visual da lubrificação do conjunto pinhão-coroa do moinho e para medição de temperatura do conjunto	Jorge	Fixar porta com porca borboleta para permitir inspeção visual pelos operadores. Abrir PSM	19/10/2005	19/10/2005. Porta de visita confeccionada conforme planejamento
Definir sistemática de inspeção do moinho e lubrificação pelos operadores	Pedro	Treinar operadores da área e elaborar check list de inspeção	19/10/2005	19/10/05. Operadores orientados para fazer inspeção visual do conjunto pinhão-coroa através da porta de inspeção confeccionada
Instalar inversor de frequência no motor de acionamento do moinho	Márcio	Utilizar inversor de frequência disponível em estoque	19/10/2005	19/10/2005. Inversor de frequência instalado, e rotação de trabalho alterada de 1180 rpm para 900 rpm (conforme projeto do redutor)
Solicitar fabricação de peças ou recuperação de redutor à PowerMotion em caráter de emergência (reserva)	Baldutti	Conforme orientações do técnico da PowerMotion	19/10/2005	20/10/2005. Redutor reserva enviado para recuperação na Renk Zanini. Trabalhos já iniciados e previsão de chegada em JF no dia 27/10
Montar e alinhar redutor na área	Edson	Segundo orientações e supervisão de técnico especializado da Powemotion	20/10/2005	20/10/2005. Montagem e alinhamento concluídos às 01:00 h
Colocar o moinho de bolas em operação	Pedro	Aumentar a carga de trabalho de forma gradativa, limitada à 70% da carga normal de trabalho - "By passar" 30% de ustulado restante da alimentação	20/10/2005	20/10/05. Posta em marcha com carga às 2:00 h, com 100% moinho e ritmo de alimentação do forno 420/430 t/d
Fazer monitoramento da vibração do conjunto de acionamento	Georges	Contactar Preditec e solicitar visita do técnico para análise na partida e para medições diárias	20/10/2005	20/10/2005. Sistemática definida para 2 medições diárias (início e final do dia), inclusive finais de semana. Atualmente a análise está sendo feita diariamente pelos técnicos de preditiva da Eng. de Manutenção

Plano original
14/10/05Revisão 1
18/10/05

Fonte: VOTORANTIM METAIS (2005).

Tabela 09-b: Plano de Ação da análise de falha do moinho de bolas.

Plano de reestabelecimento do Moinho de Bolas - Outubro 2005

O QUE	QUEM	COMO	QUANDO	CONCLUÍDO
Esmerilhar extremidades dos dentes do pinhão para retirar sobressaltos formados pelo funcionamento irregular (pinhão-coroa)	Edson	Permitir "dilatação" do eixo do pinhão, já que os sobressaltos estavam conferindo rigidez ao sistema eixo-mancal do moinho	19/10/2005	19/10/2005. Necessidade da ação identificada pelo especialista em redutores, após inspeção in loco no próprio dia
Definir plano de ação em caso de vibração excessiva no mancal flutuante (ponto de maior criticidade)	Ricardo	Baseado na experiência do técnico da PowerMotion	20/10/2005	20/10/2005. Plano elaborado, para colocação em prática no caso de vibração superior 18 mm/s no mancal flutuante
Aumentar fator de serviço do redutor de acionamento do moinho (aumento robustez)	Ricardo	Enviar redutor reserva danificado para recuperação e readequação na Renk Zanini (aumento da largura dos dentes do engrenamento, e retificação pós tratamento térmico)	31/10/2005	31/10/05. Recebimento do redutor na unidade, e montagem no mesmo dia, em função da quebra do redutor em operação (engrenamento fabricado pela Gasparette) também no mesmo dia.
Aumentar fator de serviço do redutor de acionamento do moinho (aumento robustez)	Ricardo	Readequar o segundo redutor de acionamento, substituído após quebra no dia 31/10 (redutor com engrenamento fabricado pela Gasparette). Contratar serviços da Renk Zanini	25/11/2005	Redutor readequado. Entrega prevista para 21/12
Avaliar a viabilidade de desmontar o moinho e virar a coroa ainda este ano	Ricardo	A parada do moinho para o processo de inversão da coroa poderá comprometer a meta de catodo de dezembro	30/11/2005	15/12/05. A coroa não será virada este ano, para não comprometer a meta de produção.
Formalizar pedido de fabricação da coroa junto à Renk Zanini e acertar detalhes pertinentes	Ricardo	Enviar pinhão "mole" para tratamento na Renk Zanini e agendar parada do moinho para verificação das dimensões e detalhes de montagem	30/11/2005	15/12/05. O moinho será parado no dia 21/12 para medição das dimensões. Caso não seja possível retirar todas as medidas, iremos programar uma parada de 3 dias para o início de janeiro, considerando a desmontagem da coroa

Revisão 2
20/10/05Revisão 3
15/11/05**Fonte: VOTORANTIM METAIS (2005).**