

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA

FÁBIO JANUARIO DE SOUZA

MELHORIA DO PILAR “MANUTENÇÃO PLANEJADA” DA TPM ATRAVÉS DA
UTILIZAÇÃO DO RCM PARA NORTEAR AS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

Porto Alegre

2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA

FÁBIO JANUARIO DE SOUZA

OTIMIZAÇÃO DO PILAR “MANUTENÇÃO PLANEJADA” DA TPM ATRAVÉS DA
UTILIZAÇÃO DO RCM PARA NORTEAR AS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado
Profissionalizante em Engenharia como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Engenharia – modalidade
Profissionalizante – Ênfase Produção

Orientador: Prof. Flávio Sanson Fogliatto, Ph.D.

Porto Alegre

2004

Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pelo Coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Flávio Sanson Fogliatto, Ph.D
Orientador Escola de Engenharia/UFRGS

Profa. Helena Beatriz Bettella Cybis, Dra.
Coordenadora MP/Escola de Engenharia/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ph.D. César Antônio Leal
Dep. De Eng. Nuclear/UFRGS

Prof. Dr. Lori Viali
DEST/UFRGS

Prof. Dr. Tarcisio Saurin
PPGEP/UFRGS

RESUMO

O atual ambiente competitivo, onde baixo custo, alta qualidade e um grau crescente de customização são exigências para a sobrevivência das empresas, tem influenciado as ações dos profissionais de manutenção com vistas ao aprimoramento das políticas de manutenção. Como resultado, tem-se na área de manutenção industrial, uma grande quantidade de métodos, software, modelos e ferramentas de gestão disponíveis. Dentre eles, dois métodos se destacam: o RCM (Reliability Centered Maintenance ou Manutenção Centrada em Confiabilidade), de origem norte-americana, e a TPM (Total Productive Maintenance ou Manutenção Produtiva Total), de origem japonesa. A TPM promove a integração total entre homem, máquina e empresa, onde a manutenção dos meios de produção passa a constituir uma responsabilidade de todos. A utilização da TPM contempla a implementação de pilares de sustentação, sendo um deles, a manutenção planejada. Entretanto, a TPM não especifica a estratégia a ser adotada pela manutenção planejada. O RCM é uma metodologia lógica de procedimentos que objetiva estabelecer uma manutenção preditiva e preventiva para alcançar, de maneira efetiva e eficiente, os níveis de segurança e confiabilidade requeridas para cada equipamento. Considerando um ambiente com a TPM já implementada, o objetivo deste trabalho é a melhoria do pilar Manutenção Planejada da TPM através da utilização do RCM para nortear as estratégias de manutenção em empresas industriais. A sistemática proposta é ilustrada através de um estudo de caso na indústria de conformação de metais.

Palavras-Chave: Manutenção, Confiabilidade, TPM, RCM e Manutenção Preventiva.

ABSTRACT

Today's competitive business environment, in which low costs, high quality and an ever increasing degree of customization are essential for companies' survival has influenced maintenance professionals' courses of action, aiming at improving maintenance policies. As a result, in the industrial maintenance sector there is a great number of methods, software and management tools available. Among them, two stand out: the RCM (Reliability Centered Maintenance), a North American approach, and the TPM (Total productive Maintenance), a Japanese approach. TPM promotes total integration among manpower, machines and the company itself, and the maintenance of the means of production is everybody's responsibility. The introduction of TPM demands the implementation of the so called sustaining pillars, and planned maintenance is one of them. However, TPM does not specify the strategy to be followed by planned maintenance. RCM is a set of logical procedures aiming at setting up predictive and preventive maintenance in order to effectively and efficiently achieve the security and reliability standards required for each equipment. Considering an environment where TPM has already been implemented, this paper aims at optimizing Planned Maintenance of the TPM by using RCM to guide maintenance strategies in industries. The system proposed is illustrated through a case study in a metal cold roll forming factory.

Key Words: Maintenance, Reliability, TPM, RCM, and Preventive Maintenance

SUMÁRIO

1 COMENTÁRIOS INICIAIS	11
1.1 Introdução	11
1.2 Tema e Objetivos	12
1.3 Justificativa do Tema e Objetivos.....	13
1.4 Método de Trabalho.....	15
1.5 Limitação do Trabalho.....	16
1.6 Estrutura do Trabalho	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Introdução à Manutenção.....	19
2.2 Definição de Manutenção	20
2.3 Evolução da Manutenção.....	21
2.4 Tipos de Manutenção.....	24
2.4.1 Manutenção Corretiva	25
2.4.2 Manutenção Preventiva	26
2.4.3 Manutenção por Melhorias	29
2.5 <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM) ou Manutenção Produtiva Total.....	31
2.5.1 Conceito da TPM.....	32
2.5.2 Metodologia de Implantação da TPM	37
2.5.3 Índice de Eficiência Global de Equipamentos (OEE – <i>Overall Equipment Effectiveness</i>)	41
2.6 RCM (<i>Reliability Centered Maintenance</i> ou Manutenção Centrada em Confiabilidade)	42
2.6.1 Definições	44
2.6.2 Metodologia de Aplicação do RCM.....	54
2.6.3 Definição da Frequência das Tarefas.....	63
3 METODOLOGIA PROPOSTA PARA OTIMIZAR O PILAR MANUTENÇÃO PLANEJADA ATRAVÉS DO RCM (<i>RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE</i> OU MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE)	64
3.1 Seleção do Sistema e Subsistema Funcional	66
3.2 Análise das Funções e Falhas Funcionais.....	67
3.3 Seleção dos Itens Críticos dos Subsistemas.....	67
3.4 Análise dos Modos e Efeitos de Falha.....	71
3.5 Seleção das Tarefas de Manutenção Preventiva.....	71
3.6 Determinação do Plano de Manutenção Preventiva	72

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Síntese da aplicação das metodologias de manutenção	22
Figura 2: Evolução da Manutenção.....	23
Figura 3: Métodos de Manutenção Planejada	25
Figura 4: Intervalo P-F	46
Figura 5: Padrões de Falha	49
Figura 6: Etapas do Processo FMEA	53
Figura 7: Exemplo de Planilha de Funções e falhas funcionais do RCM.....	57
Figura 8: Exemplo de Planilha de Análise dos Modos de Falha e Efeitos.....	60
Figura 9: Diagrama de Decisão do RCM.....	61
Figura 10: Planilha de Decisão do RCM.....	62
Figura 11: Etapas de Implementação da Metodologia Proposta	66
Figura 12: Fluxo Decisório	69
Figura 13: Exemplo de planilha para classificação de sistemas	70
Figura 14: Processo de Produção	75
Figura 15: Os seis pilares da Manutenção Integrada	76
Figura 16: Sistemas da Trefilação.....	79
Figura 17: Índice de Interrupções de Manutenção por Área.....	80
Figura 18: Definição dos Subsistemas Funcionais da E16	81
Figura 19: Interação dos Subsistemas da E16.....	82
Figura 20: Planilha de Funções e Falhas Funcionais do Subsistema Cabeçotes Tracionadores	83
Figura 21: Planilha de Classificação do Subsistema Cabeçotes Tracionadores.....	85
Figura 22: Planilha de Análise dos Modos de Falha e Efeitos referente ao Subsistema Cabeçote Tracionador.....	86

Figura 23: Planilha de Decisão do Subconjunto Cabeçote Tracionador	87
Figura 24: Planilha de Decisão com o Plano de Manutenção do Subconjunto Cabeçote Tracionador	88
Figura 25: Comparação entre o Plano de manutenção Atual e o Proposto pelo RCM	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparação das Sistemáticas para aplicação do RCM	54
Quadro 2: Tabela de Graduação.....	68
Quadro 3: Tabela de Graduação Parametrizada.....	84

1 COMENTÁRIOS INICIAIS

1.1 Introdução

No atual ambiente competitivo, os mercados estão se tornando mais internacionais, dinâmicos e dirigidos ao consumidor. Consumidores estão demandando maior variedade e melhores serviços e qualidade de nível mundial. Desenvolvimentos tecnológicos estão ocorrendo com velocidade crescente, resultando em inovações de produtos e melhorias nos processos de manufatura. O ambiente competitivo resultante requer baixo custo e alta qualidade de produtos, além de um grau crescente de customização.

Tais mudanças instigaram alterações nos negócios e na estratégia de manufatura (VOKURKA *et al*, 2000). Para que as empresas possam sobreviver dentro deste ambiente, deve-se atentar para os três principais imperativos estratégicos, quais sejam, alta qualidade, baixo custo e maior capacidade de resposta. Como resultado, as empresas concentraram-se na redução do tempo de ciclo e na resolução dos *trade-offs* entre eficiência e flexibilidade. Uma das técnicas usadas para solucionar os *trade-offs* entre qualidade, eficiência de custos e tempo de ciclos mais curtos é o *just-in-time* (AQUILANO *et al.*, 1995).

No *just-in-time* (JIT), em um processo de fluxo, as partes corretas necessárias à montagem alcançam a linha de montagem no momento em que são necessárias e somente na quantidade necessária. O JIT, juntamente com a autonomia, formam os dois pilares básicos

do Sistema Toyota de Produção (OHNO, 1997; GHINATO, 1996). Segundo Ohno (1997), para produzir usando o JIT, os métodos convencionais de gestão não funcionam bem. Quando Ohno (1997) refere-se a métodos convencionais de gestão, podem-se incluir os métodos convencionais de manutenção, pois os estoques mínimos entre processos não são suficientes para absorver paradas por quebras que afetariam a sincronização da produção. Além disto, o funcionamento de uma máquina sob condições precárias aumentaria o risco de geração de produtos defeituosos, o que também afetaria o fluxo de produção (GHINATO, 1996).

No início dos anos 70, surgiu no Japão a TPM (*Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total) como uma alternativa à tradicional manutenção corretiva, adequando-se perfeitamente às exigências de disponibilidade integral das máquinas nos sistemas de produção sem estoques. Segundo Nakajima (1993) e Takahashi (1993), pode-se dizer que, sem a TPM, o Sistema Toyota de Produção (STP) não pode funcionar. A rapidez com que as empresas japonesas implantaram a TPM confirma a importância desta no STP. Ainda, segundo Suzaki¹ *apud* Bamber *et al.* (2000) a TPM é considerada parte essencial em qualquer sistema manufatura JIT e indispensável para o sucesso do JIT.

A TPM representa uma forma de revolução e de inovação, pois promove a integração total entre homem, máquina e empresa. A manutenção dos meios de produção passa, então, a envolver a preocupação e a ação de todos (NAKAJIMA, 1993).

1.2 Tema e Objetivos

O assunto que trata esta dissertação é a melhoria do pilar “manutenção planejada” da TPM através da utilização do RCM (*Reliability Centred Maintenance* ou Manutenção Centrada em Confiabilidade) para nortear as estratégias de manutenção.

¹ SUZAKI, K. **The New manufacturing Challenge**. New York: The Free Press, NY.

Este trabalho de conclusão tem como objetivo principal desenvolver e avaliar os resultados da utilização da ferramenta RCM para otimizar as estratégias de manutenção, a partir de um estudo de caso realizado em uma siderúrgica.

Como objetivos secundário têm-se:

- i. apresentar os conceitos, métodos e tarefas de manutenção, com ênfase no RCM e na TPM;
- ii. apresentar os conceitos, métodos e tarefas de manutenção, para implementação do RCM em uma empresa siderúrgica; e
- iii. descrever e analisar qualitativamente a implementação do RCM no setor de Endireitamento de Laminados de uma siderúrgica.

1.3 Justificativa do Tema e Objetivos

Tendo em vista as condições impostas pelo mercado, com o crescimento e aperfeiçoamento dos sistemas de manufatura, a manutenção tornou-se uma atividade estratégica dentro das organizações. Para tanto, ela precisa estar alinhada com o sistema de manufatura e prover soluções rápidas e precisas, diferentemente do passado, onde a manutenção era reconhecida como um mal necessário.

De acordo com a ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção -, as empresas estão gastando mais para manter em perfeito estado os seus equipamentos. Isso contribui para um significativo mercado de manutenção que, em 2002, movimentou cerca de US\$ 19 bilhões, equivalente a 4,27% do produto interno bruto (PIB).

Nos atuais estudos mundiais e em alguns conduzidos por consultorias no Brasil, constatou-se que 50% dos problemas de qualidade são devidos à manutenção incorreta

(MIRSHAWKA e OLMEDO² *apud* GEREMIA, 2001).

Segundo Yamashina (2000), a obtenção do status de WCM - *World Class Manufacturing* ou Manufatura de Classe Mundial - pelas indústrias japonesas deve-se, entre outros motivos, à implantação da TPM que busca obter as melhores práticas de manutenção.

Segundo Nakagima (1993), a TPM busca a quebra zero/falha zero das máquinas e equipamentos. Uma máquina sempre disponível e em perfeitas condições de uso propicia elevados rendimentos operacionais, diminuição dos custos de fabricação e redução do nível de estoques.

Tendo em vista o exposto, torna-se de fundamental importância o estudo dos temas TPM e RCM para as empresas que almejam o status de WCM, obtendo assim um diferencial competitivo.

Um dos objetivos da TPM é a busca da máxima eficiência global. Isto pode ser alcançado com a eliminação das 6 principais perdas, segundo Nakajima (1993). Estas perdas são uma tradução para a TPM das 7 grandes perdas definidas por Ohno (1997) no contexto do STP. As seis principais perdas segundo Nakajima (1993) são: (i) perda por parada acidental; (ii) perda por parada durante a mudança da linha; (iii) perda por operação em vazio ou por pequenas paradas; (iv) perda por queda de velocidade; (v) perda por defeito no processo; e (vi) perda por defeito no início da produção. Essas perdas são definidas na seção 2.5.1 deste trabalho. Para isso, faz-se necessário desenvolver uma manutenção preventiva eficiente, que mantenha os equipamentos num alto nível de eficiência (BEN-DAYA, 2000).

A manutenção autônoma, um dos pilares da TPM juntamente com a manutenção planejada, pode reduzir e postergar a deterioração dos equipamentos, mas falhas ocorrerão se nada for feito. Portanto, a manutenção planejada não pode ser excluída da TPM. Entretanto, a

² MIRSHAWKA, Victor; OLMEDO, Napoleão Lopes. **Manutenção Combate aos Custos da Não Eficácia – A vez do Brasil**. São Paulo: Makron Books, 1993, 373p.

TPM não especifica a estratégia a ser adotada pela manutenção planejada (SHERWIN, 2000; BEN-DAYA, 2000).

O RCM - *Reliability Centered Maintenance* ou Manutenção Centrada em Confiabilidade é uma técnica utilizada para otimizar as estratégias da manutenção. Esta técnica visa manter a função do equipamento para a qual ele foi projetado, com o menor custo possível (WIREMAN, 1998; KENNEDY, 2002).

Sendo assim, o objetivo desta dissertação, isto é, a melhoria do pilar “manutenção planejada” da TPM através da utilização da técnica do RCM, justifica-se amplamente. Além disso, tal objetivo pode-se justificar também em decorrência da limitada literatura existente sobre o assunto. A presente dissertação, desta forma, viria a ampliar esse referencial teórico.

1.4 Método de Trabalho

Do ponto de vista de sua natureza, a pesquisa pode ser classificada como pesquisa aplicada, já que é orientada à geração de conhecimentos dirigidos à solução de problemas específicos.

A presente dissertação utiliza, dentre seus métodos de pesquisa, um estudo de caso. Segundo Schramm *apud* Yin, 2001, a essência de um estudo de caso é tentar esclarecer uma decisão ou um conjunto de decisões, avaliando o motivo pelo qual foram tomadas, como foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados.

Segundo Godoy³ *apud* Roglio (1998), o estudo de caso constitui-se em um tipo de pesquisa que tem por objetivo a análise intensa de uma dada unidade, que pode ser um indivíduo, um grupo de indivíduos ou mesmo uma empresa. Portanto, o método mais

³ GODOY, Arilda. **Pesquisa Qualitativa: tipos fundamentais**. São Paulo: Revista de Administração de Empresas, v. 35, n. 3, p. 20-29, mai/jun. 1995.

adequado para realizar a implementação conjunta de TPM e RCM proposta neste trabalho e descrever os fatos com acuracidade é o estudo de caso.

No contexto da presente pesquisa, o estudo de caso permitirá a coleta de informações necessárias de tal forma que os resultados obtidos possam ser descritos, tabulados e analisados, permitindo, assim, um profundo e exaustivo estudo de objetivo deste trabalho, de maneira que se alcance o seu amplo e detalhado conhecimento (FACHIN *apud* ZAIONS, 2003).

A metodologia utilizada para atingir os objetivos aos quais se propõe este trabalho é uma revisão bibliográfica sobre o tema, visando conhecer o pensamento original de diversos autores. Para execução desta etapa, serão consultadas obras técnicas, didáticas, científicas e artigos em periódicos.

O trabalho de melhoria do pilar manutenção planejada utilizando o RCM na empresa desenvolveu-se nas seguintes fases: (i) preparação do estudo, (ii) classificação dos sistemas e subsistemas, (iii) análise das funções e falhas funcionais, (iv) análise de modos e efeitos de falhas, (v) definição das políticas de manutenção e, (vi) elaboração dos planos.

Por último, com base nas informações obtidas, elaboram-se as conclusões e as sugestões para futuros trabalhos sobre o tema.

1.5 Limitação do Trabalho

O foco deste trabalho é analisar a implementação do RCM para melhorar as estratégias de manutenção somente na área de Endireitamento de Laminados da Gerdau S.A.

Este trabalho não pretende esgotar a pesquisa e discussões sobre a TPM e o RCM e sim criar uma base teórica capaz de facilitar a sua implementação.

Será abordado neste trabalho somente o pilar da TPM chamado “manutenção

Planejada”. Os demais pilares não serão abordados, ou serão abordados apenas superficialmente.

Como a implementação da metodologia do RCM na sua totalidade demanda um longo período de tempo e dedicação dos profissionais envolvidos, o estudo de caso apresenta algumas alterações à metodologia RCM que visa facilitar a sua utilização.

Além disso, a falta de acuracidade das informações históricas inviabiliza a determinação estatística da periodicidade das tarefas de manutenção. Por este motivo, a opinião dos especialistas e das demais pessoas envolvidas em atividades de Manutenção da empresa será fundamental para definição da periodicidade.

1.6 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação apresenta cinco capítulos, com conteúdos delineados a seguir.

O Capítulo 1 apresenta informações relevantes para a compreensão do trabalho. São apresentadas as considerações iniciais, o tema e os objetivos, a justificativa do tema e do objetivo, o método de pesquisa empregado na realização do trabalho, as delimitações e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 apresenta um referencial bibliográfico, com a análise de vários autores nacionais e internacionais. Nesse referencial, serão abordados os conceitos da metodologia TPM (com ênfase no pilar “manutenção planejada”) e RCM, além dos procedimentos para implementação do RCM.

O capítulo 3 apresenta o método de implementação do RCM, passo a passo, aplicado no estudo de caso, visando melhorar o pilar manutenção planejada do TPM.

O capítulo 4 apresenta o estudo de caso propriamente dito, onde o RCM é aplicado

para melhorar a manutenção planejada da TPM na área de Endireitamento de Laminados na Gerdau Riograndense localizada em Sapucaia do Sul.

O capítulo 5 é reservado para a apresentação das conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta um referencial bibliográfico contendo: (i) definição e importância da manutenção; (ii) a evolução da manutenção; e (iii) tipos de manutenção. Posteriormente o capítulo traz os conceitos da TPM (*Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total) e do RCM (*Reliability Centered Maintenance* ou Manutenção Centrada em Confiabilidade) com o objetivo de facilitar o entendimento dos tópicos abordados nos capítulos 3 e 4.

2.1 Introdução à Manutenção

A manutenção surgiu com o início da indústria mecanizada no final do século XIX, sendo então realizada sem qualquer organização e planejamento (ZAIKONS, 2003). Com o início da produção seriada por Henry Ford, surgiu a necessidade de a manutenção organizar-se e ser mais elaborada (TAVARES, 1999; O'HANLON, 2002).

Segundo Moubray (2000), nos últimos quinze anos, a manutenção evoluiu talvez mais do que qualquer outra disciplina de gerenciamento. A justificativa para isto deve-se a um grande aumento no número e diversidade de itens físicos (instalações, equipamentos e construções) a serem mantidos, além do aumento na complexidade dos projetos de equipamentos e sistemas produtivos.

A manutenção também está reagindo a: (i) crescente conscientização do quanto uma falha de equipamento afeta a segurança e o meio ambiente; (ii) um aumento na conscientização da relação entre manutenção e qualidade do produto; e (iii) a uma maior pressão para se atingir alta disponibilidade da instalação e conter custos.

2.2 Definição de Manutenção

Segundo Ferreira (1994), manutenção significa: “Ato ou efeito de manter(-se). As medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa ou de uma situação”.

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, na norma NBR 5462⁴ *apud* Branco Filho (2000) define o termo manutenção “como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Sendo que *item* é qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente”.

Conforme Tavares (1999) e Xenos (1998), manutenção é o conjunto de ações e recursos aplicados aos ativos para mantê-los nas condições de desempenho de fábrica e de projeto, visando garantir o alcance de suas funções dentro dos parâmetros de disponibilidade, de qualidade, de prazos, de custos e de vida útil adequados. Pinto e Nasif (1999) salientam, ainda, que a função da manutenção também é preservar o meio ambiente.

Conforme Zaions (2003) destaca, a definição de manutenção envolve diversos aspectos enfocando-a como uma atividade gestora e executora, que visa garantir disponibilidade e confiabilidade de um item físico, de modo que as funções do sistema sejam mantidas no

⁴ ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5462. Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994. 37p.

desempenho mínimo esperado, observando a segurança humana e a integridade ambiental.

2.3 Evolução da Manutenção

Até a Primeira Guerra Mundial, a manutenção era realizada pelo próprio pessoal de produção, sem treinamento específico e com os recursos disponíveis. Já durante este período, as empresas necessitaram garantir volumes mínimos de produção e começaram a necessitar reparos nas máquinas no menor tempo possível, surgindo, então, as primeiras equipes de manutenção ou “setores de manutenção”. As manutenções eram puramente corretivas (ZAIONS, 2003; PALARCHIO, 2002).

Durante a Segunda Guerra Mundial, a carência de mão-de-obra e o aumento no consumo de bens de consumo motivaram o surgimento da manutenção preventiva e a atividade de manutenção passou a ter uma estrutura tão importante quanto a de operação (PALARCHIO, 2002).

A partir dos anos 60, as condições de funcionamento das máquinas passaram a ser inspecionadas e monitoradas regularmente, de modo a prever o fim de sua vida útil, surgindo a Manutenção Baseada na Condição ou, como é conhecida atualmente, Manutenção Preditiva. Os critérios de previsão de falhas tornaram-se viáveis a partir do desenvolvimento de algumas áreas, tais como: (i) engenharia da confiabilidade; (ii) engenharia econômica e estatística; e (iii) sistemas de informação com o surgimento dos computadores. Segundo Ebeling (1997), foi nesta época que iniciou a Manutenção Centrada em Confiabilidade ou *Reliability Centred Maintenance* (RCM).

No início dos anos 70, surgiu no Japão a TPM (*Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total), adequando-se perfeitamente às exigências de disponibilidade integral das máquinas nos sistemas de produção sem estoques. A TPM promove a integração total entre homem, máquina e empresa, onde a manutenção dos meios de produção passa a

constituir-se em preocupação e ação de todos (NAKAJIMA, 1993; WIREMAN, 1998).

Nos anos 80 e 90, computadores começaram a ser usados para planejar a manutenção preventiva através da geração de ordens de serviço, controles de inventário, informações históricas, suporte logístico, etc. Além disto, os computadores e os sistemas computadorizados de manutenção proveram um importante suporte à manutenção preditiva (MIRSHAWKA, 1991).

Nos últimos 20 anos, a necessidade pelo aprimoramento contínuo da qualidade dos produtos e serviços frente à crescente onda de globalização fez com que atividade de manutenção passasse a ser abordada como estratégica. Tal ênfase vem sendo reforçada pela preocupação crescente com a integridade ambiental por parte dos gestores de empresas (ZAIONS, 2003).

A Figura 1 ilustra a evolução temporal das técnicas de manutenção nas indústrias (LAFRAIA, 2001).

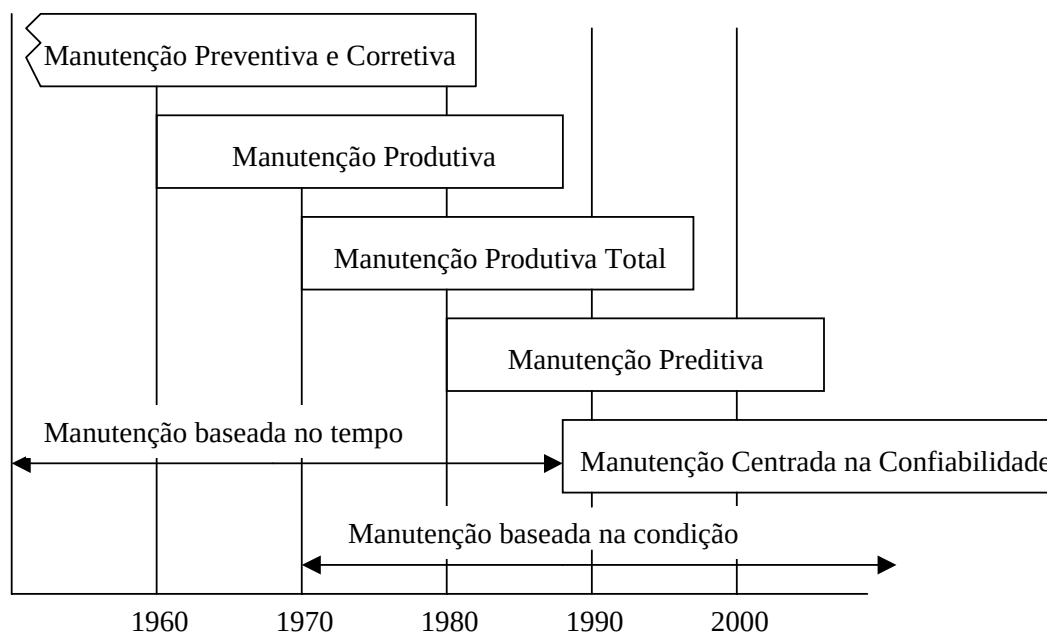


Figura 1: Síntese da aplicação das metodologias de manutenção
Fonte: Lafraia (2001, p. 238)

Segundo Moubray (2000) e Lafraia (2001), a análise do histórico dos últimos 70 anos da manutenção permite observar que o enfoque dado comporta uma divisão em três gerações, conforme ilustrado na Figura 2 (MOUBRAY, 2000).

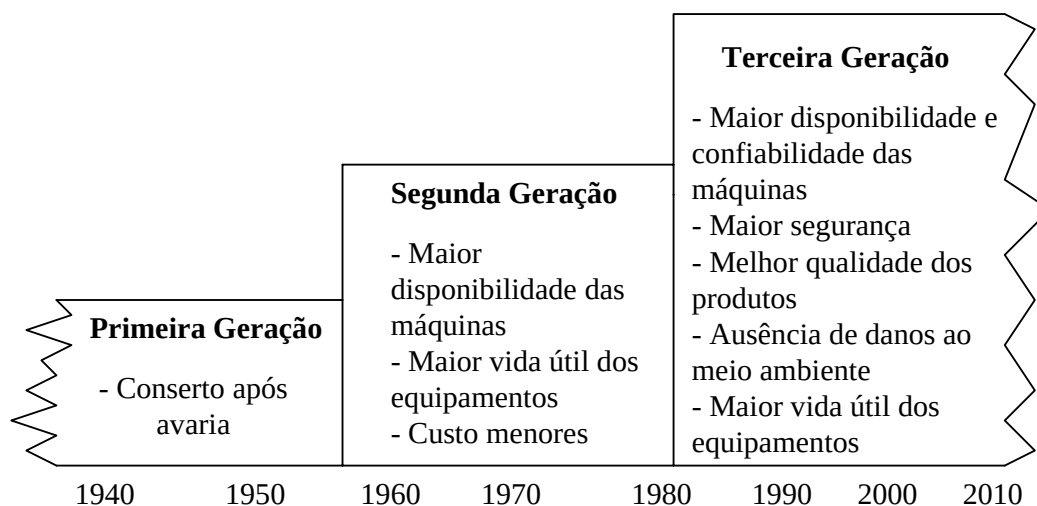


Figura 2: Evolução da Manutenção
Fonte: Moubray (2000, p. 3)

Na primeira geração da manutenção, a indústria não era altamente mecanizada, portanto, os períodos de paralisação à espera de recuperação de falhas não eram muito importantes. A maioria dos equipamentos eram simples, e muito deles superdimensionados, tornando-os confiáveis e fáceis de consertar. Conseqüentemente não era necessária uma manutenção sistemática e a necessidade de habilidades era menor do que é hoje.

Durante a Segunda Guerra Mundial, a demanda por bens de consumo aumentou significativamente, enquanto que a disponibilidade de mão-de-obra industrial diminuiu. Este fato levou a um aumento na mecanização e à chegada da segunda geração na evolução da manutenção, segundo Moubray (2000) e Lafraia (2001).

Por volta da década de 1950, máquinas de todos os tipos eram mais numerosas e complexas e a indústria começava a depender delas. Verificou-se que as falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, resultando então no conceito de manutenção preventiva.

Nessa segunda geração da manutenção, o custo de manutenção começou a se elevar muito em comparação com os outros custos operacionais, dando início aos sistemas de planejamento e controle de manutenção. O aumento do custo do capital e a quantidade de capital investida em ativos levaram à busca de meios para aumentar a vida útil dos ativos.

Na terceira geração da manutenção, os efeitos dos períodos de paralisação dos equipamentos foram se agravando na manufatura, principalmente pela tendência mundial de utilizar sistemas “*just in time*”, onde estoques reduzidos para a produção em andamento amplificavam o efeito de pequenas paradas na produção.

Segundo Moubray (2000) e Lafraia (2001), os fatores que motivaram o surgimento de uma terceira geração são: (i) novas expectativas quanto aos itens físicos como a confiabilidade, disponibilidade, integridade ambiental, segurança humana e ao aumento dos custos totais de manutenção; (ii) novas pesquisas que evidenciaram a existência de seis padrões de falhas de equipamentos; e (iii) surgimento de novas ferramentas e técnicas, tais como o monitoramento de condições dos equipamentos, projeto de equipamento com ênfase na manutenção e ênfase no trabalho em equipe.

2.4 Tipos de Manutenção

Os tipos de manutenção indicam de que maneira a intervenção nos equipamentos é realizada. Na literatura, encontram-se diversas maneiras de classificar os tipos de manutenção. Segundo Zaions (2003), a classificação mais apropriada para o enfoque do RCM é a de Patton (1995), onde existem a manutenção não planejada e a planejada.

A manutenção não planejada é estritamente corretiva e gera perdas de produção, perdas de qualidade do produto e elevados custos. A manutenção planejada é aquela na qual há diminuição ou eliminação da perda de produção, minimização do custo e do tempo de reparo.

A manutenção planejada pode ser dividida em: (i) manutenção corretiva; (ii) manutenção preventiva; e (iii) manutenção por melhorias. A Figura 3 ilustra, além dessa classificação, a subdivisão da manutenção preventiva em: (i) manutenção de rotina; (ii) manutenção periódica; e (iii) manutenção preditiva.

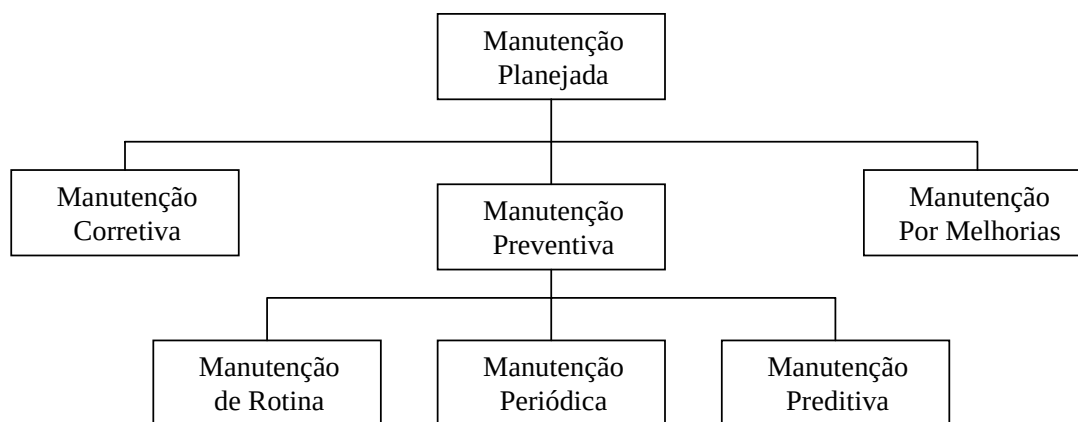


Figura 3: Métodos de Manutenção Planejada
Fonte: Zaions (2003, p. 32)

2.4.1 Manutenção Corretiva

Manutenção corretiva é aquela em que os consertos e reformas são realizados quando o objeto, máquina, equipamento ou veículo já estão quebrados. Segundo Viana⁵ *apud* Wyrebski (1997), a manutenção corretiva é a atividade que existe para corrigir falhas decorrentes dos desgastes ou deterioração de máquinas ou equipamentos. São os consertos das partes que sofreram a falha, podendo ser: reparos, alinhamentos, balanceamentos, substituição de peças ou substituição do próprio equipamento.

Para Fitch⁶ *apud* Zaions (2003), o uso do método de manutenção corretiva apresenta

⁵ VIANA, Luiz Paulo. **III Seminário de Manutenção – Trabalhos Técnicos**. Seção regional VII. Paraná e Santa Catarina. Curitiba: Abraman (Associação Brasileira de Manutenção), 1991.

⁶ FITCH, J. C. **Three-Step Implementation of Fluid Contamination Control**. Diagnostics, Inc. Tulsa, OK. 1990.

alguns aspectos negativos, dentre os quais: (i) a falha ocorre aleatoriamente e geralmente no período mais inoportuno; e (ii) a falha inesperada de um componente pode causar perigo para outros componentes, acarretando custos adicionais.

Um aspecto fundamental, mesmo no caso da manutenção corretiva, é o esforço para identificar precisamente as causas fundamentais da falha e bloqueá-las, evitando sua reincidência (XENOS, 1998).

2.4.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva consiste em atividades de manutenção repetidas num certo intervalo que pode ser definido baseado em: (i) tempo de calendário; (ii) número de horas trabalhadas; e (iii) número de partidas de um sistema qualquer (PALMER, 2000; PALARCHIO, 2002; KARDEC *et al.*, 1998). Para Monchy (1989), a manutenção preventiva é uma intervenção de manutenção prevista, preparada e programada antes da data provável do aparecimento de uma falha.

Como definição complementar, a manutenção preventiva corresponde à ação tomada para manter um item físico em condições operantes por meios de inspeções, detecção, prevenção de falhas, reformas e troca de peças (WIREMAN, 1992; XENOS, 1998).

O objetivo final da manutenção preventiva é obter a utilização máxima do equipamento nas tarefas de produção, com a correspondente redução do tempo de máquina parada e custos da manutenção (ZAIONS, 2003).

Conforme Wyrebski (1997), a manutenção preventiva apresenta as seguintes vantagens: (i) assegura a continuidade do funcionamento das máquinas, só parando para consertos em horas programadas; e (ii) a empresa terá maior facilidade para cumprir seus programas de produção. As desvantagens são: (i) requer um programa bem-estruturado; (ii) necessita de uma equipe de

mecânicos eficazes e treinados; (iii) requer um plano de manutenção; e (iv) que peças sejam trocadas antes de atingirem seus limites de vida. Possamai (2002), também cita que peças e componentes dos equipamentos são trocados ou reformados antes de atingirem seus limites de vida, tornando, assim, a manutenção preventiva uma modalidade cara de manutenção.

Conforme Smith (2002) e Palarchio (2002), a maior dificuldade para que a manutenção preventiva atinja seus objetivos é definir com qual frequência cada atividade deve ser realizada. Para Wireman (1998), existem ainda outras potenciais dificuldades, tais como: (i) pouca capacitação do pessoal envolvido; (ii) falta de atualização dos planos de manutenção ao longo da vida útil do equipamento; (iii) falta de cumprimento parcial ou total do plano de manutenção, por vários motivos, entre eles a não liberação da produção para a manutenção; (iv) falta de informações nas planilhas de manutenção preventiva para os técnicos de campo; e (v) falta de análise das intervenções anteriores no equipamento.

Conforme citado anteriormente, a manutenção preventiva se divide em manutenção de rotina, manutenção periódica e manutenção preditiva, descritas na sequência.

Conforme Mirshawka *et al.* (1993) e Branco Filho (2000), a *manutenção de rotina* é aquela normalmente associada a intervenções leves, efetuadas em intervalos de tempos predeterminados. A responsabilidade pela manutenção de rotina não é somente do pessoal de manutenção, mas também de todos os operadores dos itens físicos. As tarefas de manutenção de rotina normalmente são executadas no dia-dia para evitar a degradação dos itens físicos (XENOS, 1998; BRANCO FILHO, 2000).

A manutenção de rotina também é chamada de manutenção detectiva e é definida como a atuação efetuada em sistemas de proteção, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção (PINTO⁷ *apud* CASTELLA, 2001).

⁷ PINTO, Alan Kardec. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

A manutenção periódica constitui-se em uma evolução natural da manutenção preventiva e implica a existência histórica de registros que vão permitir a elaboração de gráficos de controle estatístico das máquinas. Através da manutenção periódica, obtém-se, teoricamente, uma melhor utilização dos equipamentos em termos de tempos necessários entre as manutenções (periodicidade), uma vez que a análise estatística permite ampliar o conhecimento sobre as falhas nos equipamentos. No entanto, geram-se custos adicionais para a execução da tomada de dados utilizados para elaborar a manutenção periódica (TAVARES⁸ *apud* POSSAMAI, 2002). É possível encontrar-se, na literatura, a conceituação de manutenção periódica como sistemática ou programada, assim como a manutenção periódica sendo a própria manutenção preventiva e não uma de suas subdivisões, a qual este trabalho se propõe a apresentar (BRANCO FILHO, 2000).

A *manutenção preditiva* enfoca um conceito moderno de manutenção em que se acompanha o comportamento de determinados elementos do equipamento ou identifica-se um componente com desempenho diferente do esperado e, uma vez constatada a anomalia, realiza-se a manutenção (WIREMAN, 1998; MIRSHAWKA, 1993).

Para Tavares (1996) e Branco Filho (2000), entende-se, por controle preditivo de manutenção, a determinação do ponto ótimo para executar a manutenção preventiva num equipamento, ou seja, o ponto a partir do qual a probabilidade de o equipamento falhar assume valores indesejáveis.

A manutenção preditiva é uma forma evoluída da preventiva, colocando o material sob supervisão contínua. Para isso, algumas das técnicas utilizadas são: (i) ferrografia para análise do desgaste de componentes via presença do ferro nos óleos de lubrificação; (ii) análise de vibrações; (iii) termografia; e (iv) análise de tensões via utilização de *strain gages*

⁸ TAVARES, Lourival Augusto. **Administração Moderna da Manutenção**. Rio de Janeiro: Novo Pólo Publicações e Assessoria, 1999. 208p.

(MONCHY, 1989; ANTUNES, 1998 e; PALMER, 2002).

Conforme Wyrebski (1997), a vantagem da manutenção preditiva é aproveitar ao máximo a vida útil dos elementos da máquina, podendo-se programar a reforma e substituição somente das peças comprometidas. As desvantagens desta manutenção são a necessidade de acompanhamento e inspeções periódicas através de instrumentos específicos de monitoração, e a necessidade de profissionais altamente especializados.

Segundo Wireman (1998), a manutenção preditiva traz ótimos resultados, mas não atinge todos os benefícios que poderia, devido principalmente aos seguintes fatores potenciais: (i) falta de um banco de dados para histórico das análises, sendo que o acompanhamento histórico é a base da manutenção preditiva; (ii) as organizações adquirem equipamentos sofisticados mas não implementam um programa consistente de manutenção, apenas casos isolados são atendidos; (iii) as organizações investem em equipamentos, porém esquecem de treinar os técnicos para realizar a sua manutenção e (iv) a área de manutenção não divulga as vantagens e potencialidades da manutenção preditiva para o resto da organização. Assim, quando a manutenção indica que um equipamento deve sair da linha de produção, pois está prestes a quebrar, a área produtiva não vê necessidade de agendar, no futuro, uma ação corretiva.

2.4.3 Manutenção por Melhorias

Na manutenção por melhorias, os equipamentos são melhorados gradativamente e continuamente para além de suas especificações originais. Por exemplo, ao invés de simplesmente retornar os equipamentos às suas condições originais após a ocorrência das falhas, é preciso melhorar continuamente os equipamentos, alterando, conforme necessário, seu projeto, seus padrões de operação e manutenção. Este é um dos pontos fracos da manutenção nas empresas brasileiras, onde geralmente a manutenção é considerada completa

ao se consertar o defeito e restituir o item à sua condição operacional (XENOS⁹ *apud* POSSAMAI, 2002; PALMER, 2000).

Palmer (2000) cita que, em algumas organizações, a área de manutenção apenas resolve emergencialmente o problema, ou seja, apenas remove o sintoma da falha, mas não corrige a causa do problema. Já outras organizações treinam os técnicos de manutenção para analisarem as causas da falha na própria ordem de atendimento do problema, e, após definirem a causa-raiz, sugerirem melhorias. Segundo Branco Filho (2000), causa raiz é a razão original para uma condição, também denominada causa básica ou causa primária.

Segundo Palmer (2000), a maioria das melhorias implementadas em equipamentos são pequenas e de baixo custo; por exemplo, uma troca de fornecedor ou a utilização de um material mais apropriado para a aplicação em questão. Em compensação, existem também melhorias que necessitam significativas mudanças no equipamento ou até mesmo no processo de produção.

Conforme Lima¹⁰ *apud* Zaions (2003), a manutenção por melhoria é aplicável nos seguintes casos: (i) quando a vida útil do equipamento é curta, com alta frequência de falhas e alto custo de manutenção; (ii) quando o tempo de reparo é elevado e há possibilidade de propagação da falha; e (iii) quando a dispersão do tempo médio entre falhas é grande, acarretando dificuldades de avaliação e inspeção.

Palmer (2000) sugere que uma forma de reduzir problemas simples que gerarão um grande volume de falhas e necessidade de melhorias é envolver a área de manutenção no projeto de fabricação das máquinas quando possível, e ser rigoroso na especificação técnica e escolha dos fornecedores.

⁹ XENOS, Harilaus G. **Gerenciamento da Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

¹⁰ LIMA, Rubens S. **TPM – Total Productive Maintenance – Curso de Formação de Facilitadores**. Belo Horizonte: Advanced Consulting & Training, 2000. 218p.

2.5 *Total Productive Maintenance (TPM)* ou *Manutenção Produtiva Total*

Segundo Wireman (1998), a TPM é um dos conceitos mais mal entendidos e mal aplicados nas organizações modernas. A TPM não é apenas uma iniciativa da manutenção ou um programa de melhorias, mas uma filosofia operacional estratégica e que envolve toda a organização, desde os operadores até o nível hierárquico mais alto.

Atividades de pequenos grupos, uma característica peculiar no Japão, tais como atividades de Círculo de Controle da Qualidade (CCQ), atividades dos grupos ZD (Zero Defeito) e atividades JK (*Jishu Kanri* – Controle Autônomo) passaram a ser amplamente definidas, consolidando a idéia de que o serviço deve ser autocontrolado. Em outras palavras, tais iniciativas deram origem à proposta da “manutenção autônoma”, uma das características da TPM (NAKAJIMA, 1989).

A TPM surgiu no Japão no início dos anos 70, como uma alternativa à tradicional manutenção corretiva, adequando-se perfeitamente às exigências de disponibilidade integral das máquinas nos sistemas de produção sem estoques (GHINATO, 1996; YAMASHINA, 2000; KENNEDY, 2002)

Os Estados Unidos sempre desempenharam papel de destaque na inovação tecnológica. A partir da observação e evolução dos princípios de manufatura americanos, o Japão passou a produzir automóveis, eletrodomésticos e relógios, e a exportá-los para todos os países do Mundo. Assim, o estilo japonês de administração passou a ser almejado por países que buscam a excelência em qualidade e produtividade (POSSAMAI, 2002).

Os primeiros contatos das empresas japonesas com técnicas americanas de manutenção ocorreram no início da década de 1950, com a apresentação e adoção da manutenção preventiva. Na década subsequente, a manutenção preventiva evoluiu para o sistema de manutenção da produção à maneira japonesa, a TPM (NAKAJIMA, 1989).

Aperfeiçoado pelo JIPM – “*Japan Institute of Plant Maintenance*”, a TPM foi implementado na indústria japonesa a partir de 1971, na Nippon Denso (pertencente ao grupo Toyota). Os conceitos da TPM foram trazidos para o Brasil em 1986 (WYREBSKI, 1998; KENNEDY, 2002).

De acordo com Nakajima (1993), a evolução do sistema de manutenção, no Japão, se processou em 4 fases distintas: (i) Manutenção Corretiva, (ii) Manutenção Preventiva; (iii) Manutenção do Sistema de Produção e (iv) TPM.

A TPM dirigiu sua atenção para a redução de custos do equipamento no seu ciclo de vida, combinando manutenção preventiva com melhorias sustentáveis e projeto de manutenção preventiva.

2.5.1 Conceito da TPM

Segundo Tavares (1996), o conceito básico da TPM é a reformulação e a melhoria da estrutura empresarial a partir da reestruturação e melhoria das pessoas e dos equipamentos, com envolvimento de todos os níveis hierárquicos e a mudança da postura organizacional.

Conforme Banker (1995), a TPM cria um autogerenciamento no local de trabalho, uma vez que os operadores assumem a propriedade de seu equipamento e passam a mantê-los. A TPM se baseia no respeito à inteligência e ao potencial de conhecimento de todos os empregados da empresa.

Segundo Branco Filho (2000), a TPM é um sistema de organização do trabalho, no qual parte da manutenção é realizada pelo operador do equipamento ou máquina. Dentre as atividades realizadas pelo operador, pode-se citar: (i) limpezas; (ii) lubrificações; (iii) ajuste e troca de ferramentas; (iv) pequenos reparos; e (v) verificações e inspeções visuais.

Conforme Nakajima (1993), a definição da TPM, proposta em 1971 pela JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*), foi revista em 1989, estabelecendo-se uma nova

exposição, que se constitui dos cinco itens descritos a seguir: (i) a busca da maximização do rendimento operacional das máquinas e equipamentos; (ii) sistema total que engloba todo o ciclo de vida útil da máquina e do equipamento; (iii) um sistema onde participam a gerência, a produção e a manutenção; (iv) um sistema que congrega a participação de todos, desde a alta direção; e (v) movimento motivacional na forma de trabalho em grupo, através da condição das atividades voluntárias.

Cada uma das letras da TPM possui um significado próprio, como descrito a seguir (NAKAJIMA, 1993):

- “T” significa “*TOTAL*”, no sentido de eficiência global, de ciclo total de vida útil do sistema de produção e na participação de todos os departamentos;
- “P” significa “*PRODUCTIVE*”. Trata-se da busca do sistema de produção até o limite máximo da eficiência, atingindo “zero acidente, zero defeito e quebra/falha zero”, ou seja, a eliminação de todos os tipos de perda até chegar ao nível zero;
- “M” significa “*MAINTENANCE*”, isto é, manutenção no sentido amplo, tendo como objeto o ciclo total de vida útil do sistema de produção.

Para Takahashi (1993), a TPM pode ser definida como uma manutenção preventiva mais ampla, baseada na aplicabilidade econômica vitalícia de equipamentos, matrizes e gabaritos que desempenham os papéis mais importantes na produção.

De acordo com Nakasato¹¹ *apud* Bormio (2001) e Ben-Daya (2000), os benefícios da TPM são: (i) multifuncionalidade dos operadores e mecânicos; (ii) envolvimento dos operadores na rotina de manutenção, criando um senso de responsabilidade; (iii) redução no tempo de reparo; e (iv) integração entre operadores e mecânicos.

Segundo Nakajima (1989), os principais objetivos da TPM são o aumento da

¹¹ NAKASATO, K. **XX Evento Internacional de TPM**. 4º Curso de facilitadores TPM. São Paulo, 1996.

confiabilidade dos equipamentos, a eliminação das quebras e melhorias do índice de disponibilidade das máquinas. Asseguram-se, assim, o fluxo contínuo do processo de manufatura e a garantia de qualidade dos produtos através de um gerenciamento integrado homem e máquina para a melhoria da produtividade industrial e, conseqüentemente, para o aumento da lucratividade e a competitividade. Para Yamashita¹² *apud* Possamai (2002), o objetivo da TPM é a melhoria estrutural da empresa através da melhoria de pessoas e equipamentos.

Para atingir os objetivos da TPM citados acima, investe-se no treinamento das pessoas de maneira a capacitá-las tecnicamente e conscientizá-las sobre a importância do desempenho do equipamento e as conseqüências para elas e para a empresa.

Os treinamentos estão orientados basicamente para os seguintes focos: (i) capacitar os operadores para, de forma espontânea e autônoma, cuidarem da conservação das máquinas; (ii) capacitar os operadores e a equipe de manutenção para que cuidem das atividades de manutenção em equipamentos com base na Mecatrônica (mecânica + eletrônica); e (iii) capacitar os engenheiros para projetarem e desenvolverem equipamentos que não exijam intervenções de manutenção (SEELING, 2000).

Após o desenvolvimento das pessoas, o próximo passo é a melhoria dos equipamentos existentes, introduzindo modificações que aumentem o seu desempenho e confiabilidade. A melhoria dos equipamentos abrange os seguintes pontos: (i) atingir a eficiência global mediante melhoria da qualidade dos equipamentos em uso; e (ii) elaborar o projeto LCC (*Life Cycle Cost* ou Custo do Ciclo de Vida) de novos equipamentos e promover a sua entrada imediata na produção (NAKAJIMA, 1989).

Para *atingir a eficiência global do equipamento*, a TPM visa à eliminação das perdas que a

¹² YAMASHINA, H. **JOT: Just On Time, no Tempo Certo, Quantidade Certa e Qualidade Certa, com Sincronismo Total**. IMC Internacional, São Paulo, 1995.

prejudicam, corrigindo as deficiências do equipamento, do operador, dos materiais e dos métodos.

Nakajima (1989) apontou seis grandes perdas responsáveis pela redução do rendimento operacional global dos equipamentos e que são o foco da atuação da TPM. Este grupo de perdas é uma tradução particular ou desdobramento das 7 grandes perdas do STP (Sistema Toyota de Produção), definidas por Ohno (1997), entre outros.

As seis grandes perdas da TPM, citadas por Nakajima (1989), são:

1. Perda por parada accidental

As perdas por parada accidental podem ser divididas em dois tipos: perda total da capacidade, quando a máquina quebra e não opera mais, e perda parcial de capacidade, quando o desgaste da máquina começa a reduzir as condições originais do equipamento.

2. Perda por parada durante a mudança da linha

Essa perda surge sempre que há uma mudança de produto na linha. São as perdas originadas quando um equipamento é utilizado para produzir vários produtos e, a cada mudança de produtos, necessitar de regulagens e ajustes.

3. Perda por operação em vazio ou por pequenas paradas

São as paradas momentâneas resultantes de um problema qualquer que não constitui quebras. São as interrupções devido aos controles existentes na máquina e que bloqueiam seu funcionamento. Normalmente, com a intervenção do operador, basta dar reinício ao ciclo e o equipamento volta a operar normalmente.

4. Perda por queda de velocidade

Essa perda se dá quando ocorre a queda da velocidade normal de trabalho ocasionada por problemas mecânicos, problemas relativos à qualidade ou a outros fatores que obrigam a produzir com velocidade reduzida.

5. Perda por defeito no processo

Compreende todas as operações relativas a retrabalhos ou mesmo à eliminação de produtos defeituosos gerados durante o processo de fabricação.

6. Perda por defeito no início da produção

Esse tipo de perda é também denominado de perda para entrada em regime de produção. Pode ser considerado como o tempo gasto para que a produção inicie o processo normal e pode ser ocasionado pela instabilidade da própria operação, por ferramentas inadequadas, falta de manutenção, problemas de domínio técnico do operador ou falta de matérias-primas.

O JIPM (*Japan institute of Plant Maintenance*) cita 11 novas perdas em adição às aquelas descritas acima, totalizando 17 grandes perdas (COUSSEAU, 2003). São elas: (i) perdas por manutenção planejada; (ii) perdas por paradas curtas; (iii) perdas por falhas administrativas; (iv) perdas por falhas operacionais; (v) perdas por desorganização; (vi) perdas de logística; (vii) perdas de utilização da mão-de-obra; (viii) perdas por espera; (ix) perdas de energia; (x) perdas de eficiência de matrizes e gabaritos; e (xi) perdas de rendimento.

O segundo ponto para melhoria dos equipamentos, citado por Nakajima (1989), é a *elaboração do LCC de novos equipamentos*. Segundo Branco Filho (2000) e Wireman (1998), o LCC descreve o custo total de um item, equipamento, componente ou peça ao longo de sua vida, incluindo as despesas de aquisição, montagem, testes, operação, manutenção, melhorias, modificação, remoção e alienação.

Segundo Nakajima (1989), de acordo com os princípios da Engenharia de Confiabilidade, as causas das falhas nos equipamentos variam ao longo do tempo, fazendo com que as contramedidas também sejam modificadas ao longo do tempo. A elaboração do LCC objetiva obter o máximo retorno econômico do equipamento, na medida em que o tempo de vida do equipamento aumenta.

2.5.2 Metodologia de Implantação da TPM

Para eliminação das grandes perdas da TPM, sugere-se a implementação de atividades designadas “pilares de sustentação do desenvolvimento da TPM” (SUZUKI, 1992).

A TPM foi concebida segundo Nakajima (1989) com cinco pilares ou atividades, estabelecidos como básicos para dar sustentação ao desenvolvimento da metodologia. Nakasato¹³ *apud* Cousseau (2003) cita que o JIPM introduziu mais três pilares aos cinco de Nakajima (1989) com o objetivo de aumentar o envolvimento da TPM nas empresas e potencializar a capacidade de ganhos e redução de custos. Os oito pilares são descritos a seguir.

1. Melhoria individual dos equipamentos para elevar a eficiência

Nessa etapa, busca-se elevar ao máximo a eficiência do processo produtivo, eliminando as 17 grandes perdas. Deverão ser estruturados grupos de trabalho, de modo a incorporar todas as possíveis soluções e promover a quebra zero/falha zero como uma meta atingível (WILLIAMSON, 2000; COUSSEAU, 2003).

Venkatesh (2003) define este pilar através da palavra *kaizen*, que indica a prática de melhorias contínuas obtidas por pequenas mudanças nos processos existentes, através de criatividade das pessoas que trabalham na empresa. Normalmente essas pequenas melhorias tornam o ambiente de trabalho melhor e não requerem investimentos significativos.

2. Elaboração de uma estrutura de manutenção autônoma do operador

Segundo Tavares (1996), as principais atividades de manutenção autônoma realizadas pelos operadores são: (i) limpeza; (ii) lubrificação; (iii) inspeção; (iv) pequenos ajustes; e (v) medições. Segundo Venkatesh (2003), com os operadores executando essas

¹³ NAKASATO, Koichi. **Seminário Internacional: Gestão Inovadora de Perdas e Custos**. São Paulo, 2000.

atividades básicas, os grupos de manutenção poderão executar trabalhos mais técnicos e complexos, agregando mais valor à empresa.

Segundo Nakajima (1989), existem sete passos para consolidação da manutenção voluntária ou autônoma. A sua conclusão significa um domínio perfeito de todos os itens. Os passos são descritos a seguir.

Primeiro Passo – *Limpeza inicial* – através da limpeza, o operador passará a conhecer todos os detalhes da máquina. Neste passo, são eliminados resíduos, sujeira e poeira; além disso, o equipamento é lubrificado e reapertado.

Segundo Passo – *Eliminação dos locais de difícil acesso e combate aos causadores de problemas* – trata-se da eliminação de fontes de sujeira que dificultem a limpeza e exijam menores intervalos de lubrificação. Uma vez eliminados os fatores geradores, o tempo consumido para efetuar a limpeza da máquina será menor.

Terceiro Passo – *Elaboração de padrões de limpeza e de lubrificação* – segundo Bormio (2000), a elaboração dos padrões de limpeza, lubrificação e inspeção sobre o equipamento deve ser feita pelos próprios operadores. As pessoas envolvidas devem decidir com base em suas próprias observações, entender o seu papel, estabelecer seus padrões e entender a importância da lubrificação.

Quarto Passo – *Inspeção geral* – segundo Shirose (1994), neste passo os operadores recebem treinamentos básicos de forma a executar inspeções nos equipamentos e identificar anomalias. Entre os treinamentos básicos, podem-se citar: lubrificação, pneumática, hidráulica, circuitos elétricos, sistema de transmissão e prevenção de incêndio.

Quinto Passo – *Inspeção voluntária ou autônoma* – antes da conclusão do quarto passo, a equipe deverá elaborar o cronograma das manutenções e os padrões a serem seguidos, considerando pontos de inspeção, critérios a serem seguidos nas inspeções,

substituição, normas para desmontagem, etc. A inspeção voluntária busca a adequação do tempo consumido e a efetividade dos resultados, anotando os desvios que forem constatados, fazendo os ajustes necessários.

Sexto Passo – *Organização e gerenciamento do local de trabalho* – neste passo, se propõe uma revisão do papel reservado ao operador no que diz respeito à organização e ao gerenciamento do posto de trabalho. A postura do operador em relação às quebras, falhas, a produtos defeituosos e perdas diversas deve ser discutida e analisada, para verificar as carências e as necessidades de aprimoramento (COUSSEAU, 2003).

Sétimo passo – *Consolidação do autocontrole* – busca-se conciliar a capacitação do homem, seu desenvolvimento intelectual e um ambiente para desenvolver essas qualidades. O autocontrole acontece quando as pessoas adquirem autoconfiança.

3. Estruturação do setor de manutenção para condução da manutenção planejada

Segundo Williamson (2000), a manutenção deve-se estruturar em vários aspectos, tais como: (i) estoque de sobressalentes; (ii) sistema de manutenção computadorizado; (iii) sistema de manutenção preventiva; (iv) sistema de manutenção preditiva; (v) sistema de ordem de serviço; (vi) programação da manutenção; e (vii) histórico dos equipamentos. Venkatesh (2003) cita que os métodos reativos de manutenção devem ser substituídos por métodos pró-ativos e que a equipe de manutenção deve ser utilizada para treinar os operadores na manutenção de seus equipamentos.

4. Capacitação técnica e busca de novas habilidades tanto para as equipes de manutenção como da produção

As pessoas envolvidas devem ser treinadas constantemente para aprimorar suas habilidades. Um programa para educação, treinamento e preparação do operador equivale a

um investimento. Todo o sistema participativo, como a TPM, baseia-se na atividade do homem e depende dele para o bom desenvolvimento e a obtenção dos resultados. Conferir ao operador os conhecimentos básicos de manutenção é essencial para que o mesmo seja capaz de executar a manutenção autônoma (COUSSEAU, 2003).

Williamson (2000) salienta a importância dos treinamentos básicos de TPM para as pessoas envolvidas, facilitando o entendimento de todos sobre o sistema e a importância da TPM para a organização.

5. Estruturação para controle dos equipamentos já na fase inicial do funcionamento

Quando da concepção de um equipamento, seja desenvolvimento de um equipamento novo ou modificação de um equipamento existente, deve-se envolver a operação e a manutenção, visando facilitar a operacionalidade e manutenibilidade do equipamento.

6. Manutenção da qualidade

Foram introduzidas neste pilar as ferramentas necessárias ao desempenho da qualidade no posto de trabalho, a fim de garantir aos equipamentos as condições para que não se produzam itens deficientes em qualidade.

7. Áreas administrativas

As áreas administrativas são consideradas uma fábrica de informações. As perdas neste ambiente se manifestam a todo instante, refletem no setor produtivo e reduzem a sua produtividade.

8. Segurança, Higiene e Meio Ambiente

As atividades deste pilar são orientadas à detecção e principalmente à prevenção de acidentes do trabalho e poluição antes que eles ocorram. Para isso, é necessário o

gerenciamento correto dos equipamentos tanto na fase de projeto como de operação, além de uma manutenção correta e eficaz (COUSSEAU, 2003).

2.5.3 Índice de Eficiência Global de Equipamentos (OEE – *Overall Equipment Effectiveness*)

Segundo Nakajima (1989), a eficiência global dos equipamentos (OEE) permite a medição objetiva do progresso da TPM. O OEE resulta da multiplicação dos índices de disponibilidade, desempenho e qualidade dos equipamentos. Segundo Dal *et al.* (2000), o OEE não deve ser tratado somente como uma medida operacional, mas como um indicador de melhoria de processo e do ambiente de manufatura.

O OEE é um indicador que procura revelar custos ocultos, permitindo visualizar todas as perdas resultantes das variabilidades existentes no equipamento e ao seu redor. Deste modo, é possível avaliar a capacidade dos equipamentos, levando em conta a influência de perdas relativas à disponibilidade, desempenho e qualidade. Antes do desenvolvimento do OEE, somente a disponibilidade era considerada na utilização dos equipamentos, resultando freqüentemente em um superdimensionamento de capacidade (LJUNGBERG, 1998).

O OEE é calculado a partir das seguintes formulas:

$$DISPONIBILIDADE = \frac{TEMPO DE CARGA - TEMPO DE PARADAS}{TEMPO DE CARGA} \quad (1)$$

$$DESEMPENHO = \frac{CICLO TEÓRICO \frac{peças}{hora} \times QUANTIDADE PRODUZIDA}{TEMPO DE OPERAÇÃO} \quad (2)$$

$$QUALIDADE = \frac{PRODUÇÃO TOTAL - REFUGOS - RETRABAHLO}{PRODUÇÃO TOTAL} \quad (3)$$

$$OEE = DISPONIBILIDADE \times DESEMPENHO \times QUALIDADE$$

Nakajima (1989) indica os seguintes valores como sendo ideais para o cálculo do índice de rendimento global: (i) o índice de disponibilidade deve estar acima de 90%; (ii) o índice de desempenho deve estar acima de 95%; e (iii) o índice de qualidade deve estar acima de 99%. Atingindo esses limites, o resultado do OEE dos equipamentos ficará em torno de 85%, o que pode ser considerado satisfatório.

2.6 RCM (*Reliability Centered Maintenance* ou *Manutenção Centrada em Confiabilidade*)

O RCM teve suas origens durante os anos 50, como resultado de vários estudos de confiabilidade desenvolvidos pela indústria da aviação civil americana. Entretanto, foi na década de 60 que os conceitos do RCM foram desenvolvidos pela indústria aérea americana como resposta a um novo cenário que surgia, ou seja, um crescente aumento dos custos de manutenção e a baixa confiabilidade na tradicional manutenção preventiva baseada no tempo (KENNEDY, 2002; MOUBRAY, 2000).

A indústria aérea americana desenvolveu uma metodologia estratégica inovadora para assegurar que ativos continuem desempenhando a sua função. Esta metodologia ficou conhecida dentro da indústria da aviação como MSG3 e, fora dela, como RCM (KENNEDY, 2002; WESTBROOK *et al.*, 2001).

Durante os últimos anos, interpretações e variações da lógica de decisão do RCM foram propostas na literatura. Porém, segundo Moubray (2000), as variações mais utilizadas são: (i) a versão original de Nowlan e Heap (1978); (ii) a versão oficial do MSG3 usada pelas companhias aéreas civis; (iii) a versão militar US MIL-STD-2173 usada pelo Comando dos Sistemas Navais dos Estados Unidos; e (iv) a versão RCM2, com uma abordagem diferente da de Nowlan e Heap (1978) com relação à segurança ambiental, elaborada por Moubray e seus associados.

Segundo Branco Filho (2000), RCM é o procedimento usado na Engenharia da Confiabilidade para análise das falhas de equipamentos e seus efeitos, e as providências a serem tomadas para adequar a manutenção a esta análise que visa reduzir tarefas de manutenção e adequar programas de manutenção preventiva a realidade.

Segundo Moubray (2000), o RCM é um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que seus usuários esperam em seu contexto operacional presente. O RCM é uma metodologia lógica de procedimentos que pretende estabelecer uma manutenção preditiva e preventiva para alcançar, de maneira efetiva e eficiente, os níveis de segurança e confiabilidade requeridas para cada equipamento (GAUDINO, 2003).

Segundo Ben-Daya (2000), o RCM é uma sistemática que tem como objetivo otimizar as estratégias da manutenção preventiva. Em muitos casos, a manutenção preventiva é desnecessária porque é aplicada em itens com pouco impacto na continuidade da operação; em outros casos, é aplicada de maneira mais freqüente do que o necessário.

As quatro características que definem e caracterizam o processo RCM são (BEN-DAYA, 2000; WESTBROOK *at al.*, 2001; KENNEDY, 2002): (i) preservar a função do sistema; (ii) definir as falhas funcionais e especificar os modos de falha; (iii) priorizar por importância cada modo de falha; e (iv) escolher a manutenção mais efetiva para os modos de falha prioritários.

Conforme Moubray (2000), os resultados esperados com a implementação do RCM são: (i) maior segurança humana e proteção ambiental; (ii) melhoria do desempenho operacional em termos de quantidade, qualidade do produto e serviço ao cliente; (iii) maior efetividade do custo de manutenção; (iv) aumento da vida útil dos itens físicos mais dispendiosos; (v) criação de um banco de dados completo sobre a manutenção; (vi) maior motivação do pessoal envolvido com a manutenção; e (vii) melhoria do trabalho em equipe.

2.6.1 Definições

Conforme Zaions (2003), o processo de RCM e a utilização das ferramentas de apoio exigem, inicialmente, um perfeito entendimento de uma série de definições associadas a falhas e desempenhos dos itens físicos. Nesta seção, são apresentadas as definições e informações fundamentais para o desenvolvimento do RCM. Tais definições vêm grafadas nos parágrafos que se seguem.

Segundo Branco Filho (2000), **função** é a finalidade para a qual um dispositivo, um equipamento, um sistema ou uma instalação foi desenhada, projetada ou montada. Conforme Moubray (2000), uma definição de função deve consistir de um verbo, um objeto e o padrão de desempenho desejado.

As funções podem ser divididas em funções principais e funções secundárias. A função principal de um item físico está associada principalmente à razão pela qual o ativo foi adquirido. Na maioria das vezes, os itens físicos realizam outras funções além das funções principais, as quais são chamadas de secundárias, podendo ser divididas nas seguintes categorias: (i) integridade ambiental; (ii) segurança/integridade estrutural; (iii) controle, contenção e conforto; (iv) aparência; (v) economia e eficiência; e (vi) supérfluas.

O objetivo da manutenção é assegurar que os ativos continuem fazendo o que seus usuários desejam deles. A expectativa do usuário em relação ao ativo pode ser definida como um mínimo **padrão de desempenho**. Dessa forma, qualquer máquina ou componente que for colocado em operação deverá ser capaz de produzir mais do que o padrão mínimo de desempenho desejado pelo usuário (MOUBRAY, 2000).

O **contexto operacional** está associado às condições nas quais o ativo físico irá operar. O contexto operacional se insere inteiramente no processo de formulação estratégica da manutenção. A perfeita compreensão do contexto operacional requer que os seguintes fatores

sejam considerados: (i) tipo de processo em lote ou em fluxo; (ii) redundância; (iii) padrões de qualidade; (iv) padrões ambientais e de segurança; (v) turnos de trabalho; (vi) trabalho em processo; (vii) tempo de reparo e peças de reposição; e (viii) demanda de mercado.

Falha é definida como a incapacidade de qualquer ativo de desempenhar aquilo que dele espera o usuário. Esta definição é vaga porque não distingue claramente entre o estado de falha (falha funcional) e os eventos que causam o estado de falha (modos de falha). Para descrever estados de falha ao invés de falha, é necessário saber que a fronteira entre desempenho satisfatório e falha é especificado pelo padrão de desempenho. Portanto, ***falha funcional*** é definida como a incapacidade de qualquer ativo de cumprir uma função para um padrão de desempenho que é aceitável pelo usuário (MOUBRAY, 2000; BRANCO FILHO, 2000).

Falha potencial é uma condição identificável que indica se a falha funcional está para ocorrer ou em processo de ocorrência. Segundo Xenos (1998), o conceito de falha funcional leva em conta o fato de que muitas falhas não acontecem repentinamente, mas se desenvolvem ao longo do tempo.

A Figura 4 permite identificar a relação entre falha potencial e falha funcional. Na figura, pode-se identificar três períodos de tempos distintos na ocorrência de uma falha: (i) um período de tempo entre uma condição normal de operação até o início da falha; (ii) um segundo período de tempo entre o início da falha até o aparecimento de um sinal da falha; (iii) um terceiro período de tempo que se estende desde o aparecimento do sinal da falha até a sua ocorrência. Moubray (2000) define o ponto “P” no processo de falha, onde é possível detectar se a falha está ocorrendo ou está para ocorrer, correspondendo ao conceito de falha potencial. O ponto “F” representa o ponto de falha funcional. Assim, o intervalo P-F corresponde ao intervalo entre o ponto onde a falha torna-se detectável até a sua ocorrência.

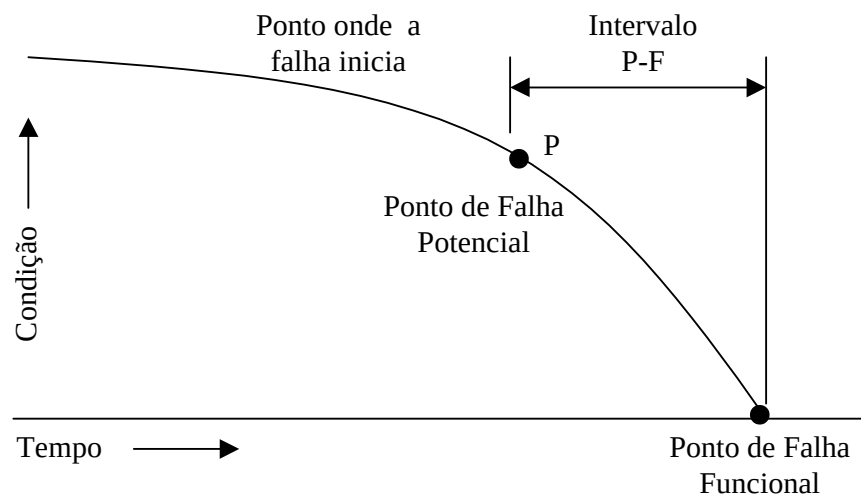


Figura 4: Intervalo P-F
Fonte: Moubray (2000, p. 144)

Segundo Branco Filho (2000) e Hoyland *et al.* (1993), **modo de falha** é a maneira como a falha pode ocorrer, ou seja, a maneira como pode ocorrer uma perda de função. Segundo Moubray (2000), modo de falha é qualquer evento que causa uma falha funcional. A melhor maneira de mostrar a conexão e a distinção entre estados de falha e os eventos que podem causar é listar primeiro as falhas funcionais e depois enumerar os modos de falha que poderiam causar cada falha funcional.

Segundo Netherton (1999), os seguintes aspectos devem ser considerados na identificação dos modos de falha: (i) todos os modos de falha possíveis que causam cada falha funcional devem ser identificados; (ii) os modos de falha devem ser identificados até o nível que possibilite a escolha de uma política adequada de manutenção; (iii) a lista deve incluir modos de falha que já ocorreram antes, modos de falha que estão sendo prevenidos pela manutenção preventiva e modos de falha que nunca ocorreram mas são possíveis de ocorrer; e (iv) a lista de modos de falha deve incluir qualquer evento ou processo que cause uma falha funcional, incluindo os modos de falha típicos: deterioração, fratura, deformação, corrosão, desbalanceamento, rugosidade, desalinhamento, má montagem, etc.

A **causa da falha** representa os eventos que geram (provocam, induzem) o aparecimento do modo de falha, e que pode ser detalhada em diferentes níveis para diferentes situações. A causa da falha pode estar associada (BLOCH e GEITNER¹⁴ *apud* ZAIONS, 2003): (i) à falha de projeto; (ii) aos defeitos do material; (iii) às deficiências durante o processamento ou fabricação dos componentes; (iv) aos defeitos de instalação e montagem; (v) às condições de serviço não previstas ou fora de projeto; (vi) às deficiências da manutenção; ou (vii) à operação indevida.

Conforme Moubrey (2000), os **efeitos de falhas** descrevem o que acontece quando um modo de falha ocorre. Alguns efeitos típicos em máquinas e equipamentos em geral são: (i) esforço de operação excessivo; (ii) vazamento de ar; (iii) desgaste prematuro; (iv) consumo excessivo, etc.

A descrição dos efeitos da falha deve incluir todas as informações necessárias para a avaliação das conseqüências da falha. Especificamente quando descrever os efeitos de uma falha, devem ser lembrados (MOUBRAY, 2000; NETHERTON, 1999): (i) evidência (se alguma) que a falha tenha ocorrido; (ii) de que modo (se algum) a falha pode ameaçar a segurança do meio ambiente; (iii) de que maneira (se alguma) a falha afeta a produção ou a manutenção; (iv) que dano físico (se algum) é causado pela falha; e (v) o que precisa ser feito para reparar a falha.

Cada vez que uma falha ocorrer, a empresa que usa o item é afetada de alguma forma. Algumas falhas afetam a produção, a qualidade do produto ou o serviço de atendimento ao usuário. Outras afetam a segurança ou o meio ambiente. Algumas aumentam os custos operacionais, como, por exemplo, aumento no consumo de energia elétrica.

A natureza e a severidade destes efeitos orientam a maneira como é vista a falha pela empresa. O impacto preciso em cada caso depende do contexto operacional, dos padrões de desempenho que se aplica a cada função e os efeitos físicos de cada modo de falha. Se as

¹⁴ BLOCH, Heinz P.; GEITNER, Fred K. **Machinery failure Analysis and Troubleshooting**, v. 2. Houston: Gulf Publishing Company, 1997. 667p.

consequências da falha forem muito severas para a empresa, grandes esforços deverão ser realizados para evitar ou reduzir a falha. Porém, falhas que provocam pequenas consequências não requerem que medidas pró-ativas sejam tomadas. Nesses casos, é mais sensato corrigir a falha após a ocorrência (MOUBRAY, 2000).

A análise da manutenção por essa ótica sugere que as consequências da falha são muito mais importantes do que suas características técnicas. Dessa forma, qualquer tarefa só deve ser aplicada se tratar com sucesso as consequências da falha e os meios de evitá-las. A análise das consequências da falha requer que essas sejam divididas em falhas evidentes e ocultas (ZAIONS, 2003).

Uma ***falha evidente*** é aquela que, quando ocorrer, torna-se aparente para o grupo de operação ou manutenção sob condições normais. Essas falhas podem provocar a parada da máquina, a perda da qualidade do produto ou ainda podem estar acompanhadas de efeitos físicos como odor incomum, ruído elevado, escape de vapor, gotejamento de água ou óleo, dentre outros. As falhas evidentes são classificadas em três categorias (MOUBRAY, 2000): (i) com consequências sobre a segurança humana e ambiental; (ii) com consequências operacionais; e (iii) com consequências não operacionais.

Segundo Possamai *et al.* (2001), ***falha oculta*** se refere a uma função cuja falha não se torna evidente para o operador ou o profissional de manutenção. As falhas ocorrem de tal modo que não é possível perceber que determinado item está em estado de falha, a menos que outra falha ocorra.

As falhas ocultas não têm impacto direto na produção, mas expõem a instalação à possibilidade de ocorrências de falhas múltiplas, normalmente com consequências sérias para o processo produtivo, pois a maioria destas falhas estão associadas a dispositivos de proteção (tais como sensores, dispositivos de supervisão, botoeiras de comando, relés de proteção, sistemas anti-incêndio e equipamentos *stand-by*) (POSSAMAI *et al.*, 2001).

Os ***padrões de falha*** representam a frequência de ocorrência das falhas em relação à

idade operacional de um equipamento. O RCM adota um modelo no qual seis padrões de falha são utilizados para caracterizar a vida dos equipamentos. Os seis padrões são ilustrados na Figura 5 e designados pelas letras A, B, C, D, E, e F (MOUBRAY, 2000; SMITH, 1993; LAFRAIA, 2001; PINTO e NASIF, 1999; KENNEDY, 2002; ZAIONS, 2003).

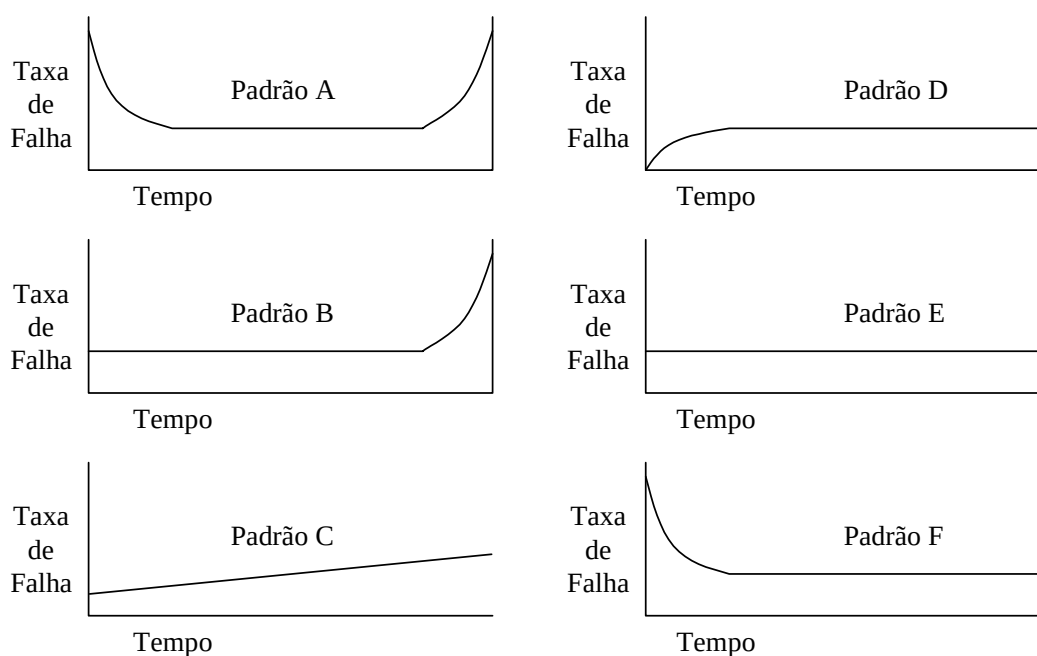


Figura 5: Padrões de Falha

Fonte: Lafraia (2001 p. 77)

O padrão A é conhecido como curva da banheira, assim designada devido ao seu formato característico. Nesse padrão, há uma elevada ocorrência de falhas no início de operação do item físico (mortalidade infantil), seguido de uma frequência de falhas constante e, posteriormente, de um aumento na frequência devido à degradação ou desgaste do equipamento.

O padrão B apresenta uma taxa de falha constante, seguida de uma zona de acentuado desgaste no fim da sua vida útil. Esse padrão descreve falhas relacionadas com a idade dos componentes. Componentes em equipamentos podem se comportar dessa maneira, principalmente aqueles que deterioram naturalmente com o tempo, que estão sujeitos a esforços cíclicos e repetitivos ou que entram em contato direto com a matéria prima ou produto final.

O padrão C apresenta um aumento lento e gradual da taxa de falha, porém sem uma zona definida de desgaste. Uma possível causa para a ocorrência de padrões de falha tipo C é a fadiga. O padrão D mostra baixa taxa de falha quando o item é novo e sofre posteriormente um rápido aumento da taxa de falha para um nível constante. O padrão E mostra uma taxa de falha constante em qualquer período.

A forma da curva do padrão F de falhas indica que uma maior taxa de falhas ocorre quando o componente é novo ou imediatamente após restauração. O padrão F inicia com uma alta mortalidade infantil, que eventualmente cai para uma taxa de falha constante. Pode apresentar também um aumento lento e gradual em vez de taxa de falha.

Pode-se concluir, pela análise dos parágrafos anteriores, que os padrões de falha A,B e C podem estar geralmente associados à fadiga e corrosão. Os padrões A e B são típicos de componentes ou peças de máquinas individuais e simples. Já os padrões D, E e F são típicos de itens mais complexos (NASA¹⁵ *apud* ZAIONS, 2003).

A diferenciação entre os padrões de falhas de itens simples e complexos tem importância significativa na manutenção. Peças e itens simples freqüentemente apresentam relação direta entre confiabilidade e idade, particularmente quando fatores como a fadiga e o desgaste mecânico estão presentes ou quando os itens são descartáveis. Já os itens complexos apresentam algum tipo de mortalidade infantil, seguida de um aumento gradual na taxa de falha ou de uma taxa e falha estacionária.

Segundo Moubray (2000), as ações a serem tomadas para tratar as falhas podem ser divididas em duas categorias: (i) tarefas pró-ativas; e (ii) ações *default*. As categorias são definidas a seguir.

¹⁵ NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment**. Disponível em: <<http://www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx/>> Acesso em: 15 jan. 2002.

As ***tarefas pró-ativas*** são aquelas executadas antes de ocorrer a falha com a intenção de prevenir o ativo de entrar em um estado de falha. Compreendem o que é tradicionalmente conhecido como manutenção preditiva e preventiva, embora o RCM use o termo restauração planejada, descarte planejado e manutenção sob condição. Já as ***ações default*** tratam do estado da falha e são escolhidas quando não é possível identificar uma tarefa pró-ativa efetiva. Ações *default* incluem busca de falha, reprojeção e rodar até falhar.

Segundo Moubray (2000) e Smith (1993), uma tarefa somente é adequada se for útil e tecnicamente viável. Nesse contexto, uma tarefa pró-ativa é útil se reduzir as consequências da falha o suficiente para justificar os custos diretos e indiretos associados à sua realização. Segundo a SAE JA-1011¹⁶ *apud* Zaions (2003), o principal critério empregado na seleção de tarefas preventivas é que sejam aplicáveis e eficazes. O termo aplicável designa tarefas que possibilitem prevenir ou mitigar uma falha, descobrir o início de um processo de falha ou descobrir uma falha oculta. O termo eficaz designa tarefas que sejam econômicas dentre as tarefas consideradas aplicáveis.

A seguir serão definidos os três tipos de manutenção pró-ativa e os requisitos necessários para a viabilidade técnica de cada uma delas (MOUBRAY, 2000).

A *restauração programada* implica restaurar a capacidade inicial de um ativo ou componente existente antes ou no limite de tempo especificado, sem considerar sua condição aparente no momento. Os requisitos para a viabilidade técnica desse tipo de restauração são: (i) há uma idade identificável na qual o ativo mostra um rápido crescimento na probabilidade de falha; (ii) a maioria dos ativos sobrevivem a esta idade; e (iii) a tarefa restabelece o ativo à capacidade original.

As *tarefas de descarte programado* implicam descartar um ativo ou componente antes ou no limite especificado de idade, sem considerar a sua condição no momento da análise. Os

¹⁶ SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. **SAE JA 1011: Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance (RCM)**. Processes Warrendale, 1999. 10p.

requisitos para a viabilidade técnica desse tipo de iniciativa são: (i) há uma idade identificável na qual o ativo mostra um rápido crescimento na frequência da falha; e (ii) a maioria dos ativos sobrevivem a esta idade. Neste caso, não há necessidade de saber se a tarefa restabelece o ativo à capacidade original, já que o ativo é substituído por um novo.

As *tarefas sob-condição* são inspeções que verificam as condições das falhas potenciais, para que uma ação possa ser tomada para prevenir a falha funcional ou evitar as suas conseqüências. Os requisitos de viabilidade técnica dessa iniciativa são: (i) ser possível definir uma condição de falha potencial clara; (ii) o intervalo P-F é razoavelmente consistente; (iii) ser viável monitorar o item a intervalos menores que o intervalo P-F; e (iv) o intervalo P-F ser suficientemente longo para a ação ser tomada para reduzir ou eliminar as conseqüências da falha funcional.

Se não existir uma tarefa pró-ativa que reduza o risco de falha para um nível aceitável, a tarefa de busca de falha periódica deve ser realizada. Se uma tarefa de busca apropriada não puder ser encontrada, então a decisão *default* secundária é a de que o item deve ser reprojeto. A ação *busca de falha* programada consiste em verificar uma função a intervalos regulares para descobrir a falha. Os requisitos para a ação busca da falha são: (i) é possível fazer a tarefa; (ii) a tarefa não aumenta o risco de falha múltipla; e (iii) é prático fazer a tarefa no intervalo requerido.

A **Análise de Modos e Efeitos de Falhas**, traduzido do inglês FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), é uma ferramenta utilizada para efetuar uma análise de como uma máquina ou sistema pode falhar, ao enumerar todas as possibilidades de falhas, todas falhas possíveis, e todos os graus de reações adversas que podem resultar de tais falhas analisadas. É uma técnica que visa melhorar a confiabilidade de uma máquina ou sistema com a indicação de procedimentos para atenuar o efeito de uma falha (BRANCO FILHO, 2000).

Segundo Smith (1993), a FMEA é reconhecida como uma das ferramentas mais empregadas na Engenharia de Confiabilidade, devido, principalmente, à sua praticidade e

aplicação quantitativa. Hoyland e Rausand¹⁷ *apud* Zaians (2003) mencionam os seguintes objetivos da FMEA: (i) assegurar que todos os modos de falha e seus efeitos sobre o sistema sejam considerados; (ii) listar potenciais falhas e a magnitude de seus efeitos; e (iii) prever bases para estabelecer prioridades nas ações corretivas.

Para a condução de uma análise de um sistema ou subsistema utilizando a FMEA, algumas etapas devem ser seguidas. O processo de análise deve ser realizado por uma equipe multidisciplinar, com conhecimento sobre o sistema a ser estudado. O processo da FMEA resume-se nas atividades listadas na Figura 6.

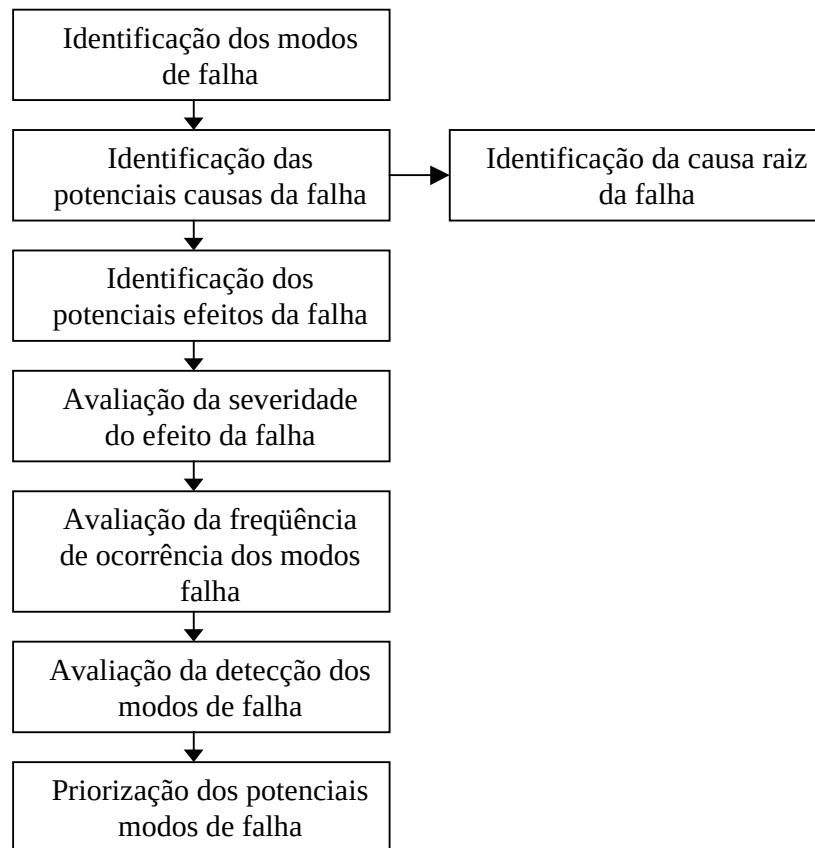


Figura 6: Etapas do Processo FMEA
Fonte: Lafraia (2001)

¹⁷ HOYLAND, Arnljot; RAUSAND, Marvin. **System Reliability Theory, Models and Statistical Methods**. Wiley-Interscience Publication. Wiley & Sons, Inc. 1993.

2.6.2 Metodologia de Aplicação do RCM

As metodologias de aplicação do RCM mais conhecidas, dentre aquelas apresentadas na literatura, são as de Moubray (2000), Smith (1993) e Nowland & Heap (1978). As idéias principais em cada abordagem são basicamente as mesmas. Zaions (2003) apresenta uma comparação dos modelos de implementação descritos por Smith (1993), Moubray (2000), NASA (2000) e Rausand *et al.* (1998), conforme Quadro 1.

O processo de implementação do RCM compreende basicamente 7 etapas associadas ao item físico ou sistema sob manutenção. Tais etapas, elaboradas a partir das abordagens no Quadro 1, são detalhadas nas próximas seções.

Etapas	Smith (1993)	Moubray (2000)	NASA (2000)	Rausand et al. (1998)
1	Seleção do sistema e coleta de informações	Definição das funções e padrões de desempenho	Identificação do sistema e suas fronteiras	Preparação do estudo.
2	Definição das fronteiras do sistema.	Definição da forma como o item falha ao cumprir suas funções.	Identificação dos sub-sistemas e componentes.	Seleção do sistema.
3	Descrição do sistema	Descrição da causa de cada falha funcional	Exame das funções	Análise das Funções e Falhas Funcionais - AFF
4	Funções e falhas funcionais	Descrição das consequências de cada falha.	Definição das falhas e dos modos de falha.	Seleção dos itens críticos
5	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas	Definição da importância de cada falha.	Identificação das consequências da falha.	Coleta e análise de informações
6	Análise da árvore lógica.	Seleção de tarefas preditivas e preventivas para cada falha.	Análise do diagrama lógico de decisão.	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas
7	Seleção das tarefas preventivas.	Seleção de tarefas alternativas.	Seleção das tarefas preventivas	Seleção das tarefas de manutenção.
8				Determinação da frequência das tarefas de Manutenção.

Quadro 1: Comparação das Sistemáticas para aplicação do RCM

Fonte: Zaions (2003)

2.6.2.1 Seleção do Sistema

Segundo Rausand *et al.* (1998), dois aspectos devem ser consideradas para seleção do sistema; são eles: (i) quais sistemas são mais prováveis de se beneficiar do processo RCM, se comparado com a manutenção tradicional; e (ii) qual nível será analisado: planta industrial, sistema, itens físicos ou componentes.

Segundo Smith (1993), a seleção do sistema deve-se basear nos seguintes critérios: (i) sistemas com elevado volume de tarefas de manutenção preventiva ou elevados custos de manutenção preventiva; (ii) sistemas que sofreram um grande número de intervenções corretivas nos últimos anos; (iii) sistemas com elevada contribuição nas paradas da produção nos últimos anos; e (iv) sistemas que apresentam risco à segurança humana e ambiental.

2.6.2.2 Definição das Funções e Falhas Funcionais

Segundo Rausand *et al.* (1998) e Smith (1993), os principais objetivos desta etapa são: (i) identificação das interfaces de entrada e saída do sistema; (ii) identificação e descrição das funções do sistema; (iii) descrição dos padrões de desempenho; e (iv) definição de como o sistema pode falhar.

Para a melhor realização desta etapa, Smith (1993) e Westbrook *et al.* (2001) sugerem a elaboração do diagrama de blocos do sistema. Esse diagrama permite subdividir o sistema em partes menores para facilitar a análise nas etapas seguintes do processo. Os diagramas de blocos ilustram a operação, inter-relações e interdependência das unidades funcionais do sistema. São diagramas construídos para gerar conhecimentos para a definição das funções dos diversos níveis do sistema.

Segundo Zaions (2003), existem dois tipos de diagrama de blocos: diagramas de blocos funcionais e diagramas de blocos de confiabilidade. No entanto, a literatura associada ao RCM indica com mais frequência a utilização do diagrama de blocos funcionais.

O diagrama de blocos funcionais do sistema permite, além de identificar as referidas funções do sistema, interligar as entradas e saídas com suas respectivas funções. Essas interfaces de entrada e saída cruzam as fronteiras do sistema. As interfaces de entrada podem ser sinais de calor, potência, fluidos, gases, etc., que entram pelas fronteiras do sistema, auxiliando na operação de suas funções. Já as interfaces de saída constituem-se naquelas que são o motivo da existência do sistema e, dessa forma, tornam-se o foco do princípio da preservação da função do sistema (ZAIONS, 2003).

Uma vez transformadas em funções e associadas aos seus respectivos padrões de desempenho, as interfaces de saída devem ser listadas apropriadamente nas Planilhas de Funções e Falhas Funcionais, conforme sugere Moubray (2000) e ilustrado na Figura 7.

Após definidas as funções e os padrões de desempenho, podem-se definir as falhas funcionais. Segundo Smith (1993), preservar as funções do sistema significa evitar falhas funcionais. Nunes¹⁸ *apud* Zaions (2003) cita que falhas funcionais podem ser encaradas como uma negação das funções anteriormente definidas, ou seja, a incapacidade ou inabilidade de um item físico em atender ao desempenho desejado em relação ao contexto operacional.

Conforme Moubray (2000) sugere, as falhas funcionais devem ser listadas na segunda coluna da Planilha de Funções e Falhas Funcionais e codificadas em ordem alfabética, como ilustrado na Figura 7.

¹⁸ NUNES, Enon Laércio. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): análise da implementação em um sistema consolidado**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Dissertação de Mestrado (Engenharia). Florianópolis: UFSC, 2001.

RCM		PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAS			
		SISTEMA:	TURBINA DE 5MW		
		SUB-SISTEMA:	SISTEMA DE EXAUSTÃO		
		DATA:	22/11/2000	EQUIPE:	
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL (Perda de função)			
1	Canalizar todo o gás quente da turbina sem restrições a um ponto fixo de 10m acima do telhado	A	Incapaz de canalizar o gás		
		B	Fluxo de gás restrito		
		C	Falha para conter o gás		
		D	Falha para levar o gás a 10m acima do telhado		
2	Reduzir os níveis de ruído até a taxa de ruído da ISO 30 a 150m	A	O nível de ruído excede a taxa de ruído da ISO 30 a 150m		
3	Assegurar que a temperatura superficial da tubulação na sala da turbina não passe de 60°C	A	A temperatura superficial da tubulação passa de 60°C		

Figura 7: Exemplo de Planilha de Funções e falhas funcionais do RCM

Fonte: Moubray (2000, p. 52)

2.6.2.3 Seleção dos Itens Físicos Críticos

Segundo Rausand *et al.* (1998), o objetivo desta etapa é identificar os itens físicos que são potencialmente críticos com relação às falhas funcionais identificadas na etapa anterior. Segundo Smith (1993), a separação em itens físicos críticos não deve ser feita, pois pode excluir alguns itens físicos importantes do foco de atenção. Paglia e Barnard¹⁹ *apud* Rausand *et al.* (1998) afirmam que a seleção de itens críticos é importante para direcionar a análise a itens que trarão um retorno financeiro significativo.

Nas etapas de implementação definidas por Moubray (2000), não consta a etapa de seleção dos itens críticos. O autor, porém, cita, na etapa de preparação, que um dos elementos

¹⁹ PAGLIA, A. M.; BARNARD, D. E. Sonnett. **A Case Study of the RCM Project at V.C. Summer Nuclear Generating Station.** 4th International Power generation Exhibition and Conference, Tampa, Florida, US, 5:1003-1013, 1991.

chave do processo de planejamento é decidir quais ativos são mais prováveis de se beneficiar do processo RCM, havendo assim uma forma de seleção dos itens críticos.

Segundo Castro *et al.* (2003) e Santos *et al.* (2003), os equipamentos críticos devem ser escolhidos considerando a sua relevância no processo, seu grau de redundância e impacto nos custos de manutenção, além da experiência dos especialistas. Westbrook (2001) cita que a Boeing selecionou os sistemas com maior potencial de melhoria nas práticas de manutenção e utilizou a regra do 80-20, onde 80% das perdas da produção e custos de manutenção são gerados por 20% dos sistemas.

A regra 80-20 também é conhecida como Princípio de Pareto. Este princípio foi desenvolvido por Vilfredo Pareto, economista e sociólogo do século XIX. Pareto notou que 80% dos recursos de um povo pertence a 20% das pessoas. Posteriormente, este princípio foi intensamente utilizado na indústria japonesa através de J.M. Juran. Em linha gerais, esta regra diz que 80% dos problemas se devem a 20% das causas (ISHIKAWA, 1985).

Smith²⁰ *apud* Zaions (2003) sugere a elaboração de uma planilha que correlacione falhas funcionais e itens físicos. A matriz de equipamentos *versus* falhas funcionais visa relacionar as falhas funcionais com os equipamentos e classificá-los em ordem de criticidade, a fim de estabelecer prioridades para aplicar a metodologia do RCM. Essa conexão entre as falhas funcionais e os itens físicos é avaliada pela opinião dos especialistas que definem a criticidade levando em consideração os seguintes aspectos: (i) conseqüências na segurança humana; (ii) conseqüências na integridade ambiental; (iii) conseqüências econômicas e operacionais; e (iv) dificuldade de realizar a manutenção.

²⁰ SMITH, Anthony M. **Reliability Centered Maintenance**. Boston: McGraw-Hill, Inc. 1993, 216p.

2.6.2.4 Coleta e Análise de Informações

De acordo com Rausand *et al.* (1998), as informações para a análise do RCM podem ser divididas em três categorias: informações de projeto, informações operacionais e informações de confiabilidade.

Em algumas situações, têm-se poucas informações sobre os equipamentos, principalmente quando os equipamentos são novos. Nesses casos, devem-se procurar informações com os fabricantes de máquinas ou através de máquinas similares. O sucesso da implantação do RCM depende muito do volume de informações disponíveis, tanto qualitativamente como quantitativamente. Segundo Wireman (1998), para obter sucesso na implantação do RCM, é fundamental dispor de históricos dos tipos de falhas, frequência das falhas e as causas básicas das falhas, para que a implantação não seja baseada em suposições.

2.6.2.5 Definição dos Modos e Efeitos de Falha

Esta etapa visa identificar os modos de falha que são provavelmente a causa de cada falha funcional e apurar os efeitos da falha associados a cada modo de falha. Isto é feito realizando as análises de modos e efeitos de falha (MOUBRAY, 2000; RAUSAND *et al.*, 1998).

Segundo Zaions (2003), há no mínimo três fontes de informações às quais o analista poderá recorrer para determinar os modos de falha de um item físico: (i) histórico dos equipamentos; (ii) experiência das pessoas envolvidas com o equipamento; e (iii) a FMEA de projeto ou literatura especializada que contenha informações sobre os modos de falha normalmente associados ao item em estudo.

Smith (1993) e Moubray (2000) sugerem a utilização de uma planilha similar a da Figura 8, denominada Planilha de Análise dos Modos de falha e Efeitos, onde os modos e efeitos das falhas são listados e correlacionados a funções e falhas funcionais.

RCM		PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS					
		SISTEMA:		TURBINA DE 5MW			
		SUB-SISTEMA:		SISTEMA DE EXAUSTÃO			
		DATA:		22/11/2000	EQUIPE:		
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA		EFEITO DA FALHA	
1	Canalizar todo o gás quente da turbina sem restrições a um ponto fixo de 10m acima do telhado	A	Incapaz de canalizar o gás	1	Suportes do silencionador corroídos	O conjunto do silenciador desmorona e cai no fundo da chaminé. A pressão faz a turbina subir violentamente e parar. O tempo de paralisação para repor o silenciador, até quatro semanas.	
				1	Parte do silenciador solta-se devido à fadiga	Dependendo da natureza do bloqueio, a temperatura de exaustão pode subir até desligar a turbina. Parte da turbina pode ser danificada.	
				1	Os parafusos que prendem a chaminé são cisalhados pela corrosão	A chaminé fica escorada por cabos antes de cair, mas pode inclinar-se um pouco. Se cair, há uma grande probabilidade de atingir uma estrutura onde há pessoas. Tempo de reparo alguns dias a algumas semanas.	

Figura 8: Exemplo de Planilha de Análise dos Modos de Falha e Efeitos

Fonte: Moubray (2000, p. 89)

2.6.2.6 Seleção das Tarefas de Manutenção Preventiva

Esta etapa descreve o Diagrama de Decisão do RCM, que integra todos os processos de decisão em uma estratégia única. Com esse diagrama, busca-se responder às seguintes questões (MOUBRAY, 2000): (i) que rotina de manutenção (se houver alguma) deve ser adotada; (ii) quais falhas são suficientemente sérias para justificar um reprojeto; e (iii) casos onde uma decisão deliberada tem de ser tomada para deixar a falha acontecer.

O Diagrama de Decisão para seleção de tarefas é utilizado para especificar as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas. A Figura 9 mostra um diagrama sugerido por Moubray (2000), que consiste em uma série de perguntas. As respostas dadas pelos analistas conduzem à especificação de uma tarefa ou de uma nova pergunta (SMITH, 1993). As perguntas buscam identificar modos de falha (i) ocultos para o operador, (ii) com potencial impacto à segurança humana, (iii) que têm impacto sobre o meio ambiente e (iv) que têm impacto sobre a produção,

qualidade ou custo do produto. Após esta identificação, as demais questões têm o objetivo de identificar qual tarefa é a mais adequada para tratar a falha.

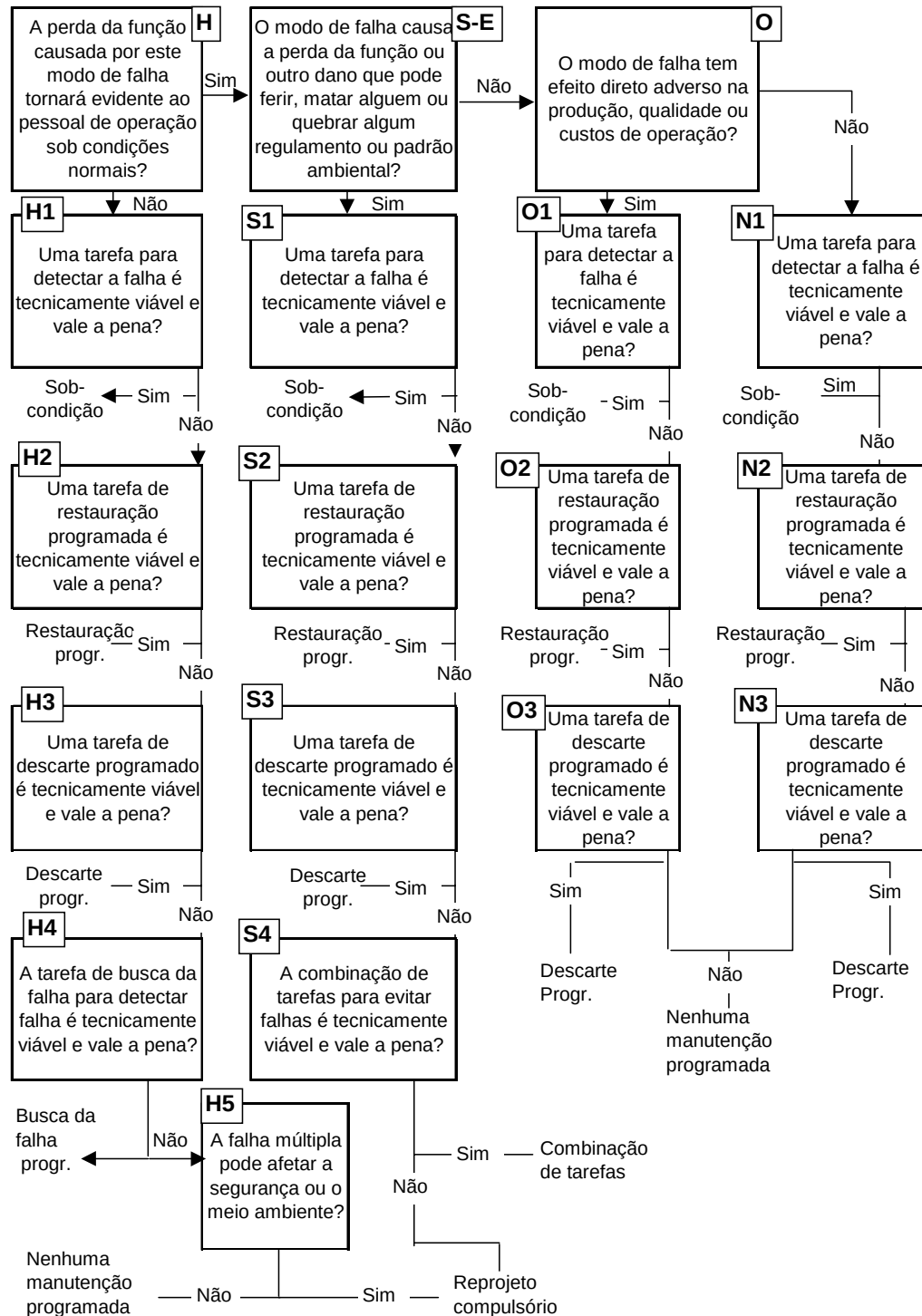


Figura 9: Diagrama de Decisão do RCM

Fonte: Moubray (2000, p. 200)

As respostas são registradas na Planilha de Decisão, conforme modelo na Figura 10. Tal planilha visa armazenar todas as informações e decisões realizadas durante o processo de seleção de tarefas (MOUBRAY, 2000).

PLANILHA DE DECISÃO DO RCM																
RCM		SISTEMA: TURBINA DE 5MW														
		SUBSISTEMA: SISTEMA DE EXAUSTÃO														
		DATA: 22/11/2000 EQUIPE:														
Referência Informação			Avaliação de Consequências			Tarefa Pro Ativa			Ação default			Tarefa Proposta	Frequência	Responsável		
F	FF	FM	H	S-E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4					
						S1	S2	S3								
						O1	O2	O3								
						N1	N2	N3								
			Indica a função													
			Indica a falha funcional													
			Indica o modo de falha													

Figura 10: Planilha de Decisão do RCM

Fonte: Moubray (2000, p. 199)

A Planilha de Decisão está dividida em dezesseis colunas. As colunas F, FF e FM identificam o modo de falha em consideração e são usadas para cruzar referências entre as Planilhas de Análise dos Modos da Falha e Efeitos e de Decisão. As colunas H, S, E e O são usadas para registrar as respostas às questões referentes às consequências de cada modo de falhas. A questão H objetiva identificar se a falha é oculta; as demais questões (S, E e O) são referentes, respectivamente, à segurança, meio ambiente e capacidade operacional. As respostas possíveis são negativas ou afirmativas, grafadas com os símbolos “S” e “N”, respectivamente.

O intervalo da oitava até a décima coluna da Planilha de Decisão é usado para registrar se uma tarefa pró-ativa foi selecionada. A coluna H1/S1/O1/N1 é usada para registrar se uma tarefa *sob-condição* pode ser encontrada para antecipar o modo de falha a tempo de evitar as consequências. A coluna H2/S2/O2/N2 é usada para registrar se uma tarefa adequada

de *restauração programada* pode ser encontrada para prevenir as falhas. A coluna H3/S3/O3/N3 é usada para registrar se uma tarefa adequada de *descarte programado* pode ser encontrado para prevenir as falhas. As colunas H4, H5 e S4 são usadas para registrar as respostas às três questões relativas às ações *default*. As últimas três colunas registram a tarefa selecionada, a frequência com que é feita e quem foi selecionado para fazê-la. A coluna “tarefa proposta” é também usada para registrar os casos onde o reprojeto é exigido ou onde foi decidido que o modo de falha não necessita de manutenção programada.

2.6.3 Definição da Frequência das Tarefas

Para a definição da periodicidade deve-se levar em consideração o tipo de tarefa sendo considerada. Segundo Moubray (2000), a periodicidade deve ser baseada nos intervalos de tarefa sob-condição, regidos pelo intervalo P-F, e nos intervalos de tarefa de descarte programado e restauração programada, os quais dependem da vida útil do item em consideração.

Para determinação do intervalo P-F deve-se entender como cada modo de falha se comporta, ou seja, definir quanto tempo decorre do momento que a falha potencial começa ser detectável até o momento que atinge a funcionalidade do estado de falha. Na análise de vibrações, por exemplo, acompanha-se a tendência dos níveis de vibração em relação aos níveis de alarme.

3 METODOLOGIA PROPOSTA PARA OTIMIZAR O PILAR MANUTENÇÃO PLANEJADA ATRAVÉS DO RCM (*RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* OU MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE)

Conforme descrito no Capítulo 2, o pilar Manutenção Planejada do TPM (*Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total) deve estruturar a manutenção em vários aspectos, tais como: (i) estoque de sobressalentes; (ii) sistema de manutenção computadorizado; (iii) sistema de manutenção preventiva; (iv) sistema de manutenção preditiva; (v) sistema de ordem de serviço; (vi) programação da manutenção; e (vii) histórico dos equipamentos.

No Capítulo 2, é citado, também, que o RCM é uma metodologia lógica de procedimentos que pretende estabelecer uma manutenção preventiva e preditiva para alcançar de maneira efetiva e eficiente os níveis de segurança e confiabilidade requeridas para cada equipamento. Os objetivos do RCM são: (i) preservar as funções do sistema; (ii) identificar os modos de falha que comprometem as funções do sistema; (iii) priorizar funções; (iv) selecionar tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas; e (v) elevar quantitativamente e qualitativamente a confiabilidade do sistema.

A partir dos conceitos acima expostos e dos demais apresentados na revisão bibliográfica, apresenta-se a seguir uma metodologia que visa melhorar o pilar Manutenção Planejada do TPM através da utilização do RCM.

Para atender tais objetivos, procura-se, no âmbito do sistema ou subsistema, determinar as funções, falhas funcionais, modos de falha, causa e efeito da falha e as estratégias de manutenção, a fim de preservar as funções dos sistemas. Para tanto, é essencial o entendimento dos fluxos de produção que compõem o sistema onde o trabalho será realizado, além da caracterização dos itens físicos e dos sistemas ou subsistemas funcionais em que esses estão inseridos.

Inicialmente, deve-se constituir a equipe de profissionais que trabalhará na implementação do RCM. Essa equipe deve ser formada pelo chefe de produção e de manutenção, mecânicos com experiência nos itens físicos da área e os operadores dos equipamentos, sendo que um analista com conhecimento na metodologia do RCM deverá guiar a equipe durante o processo.

A implementação do RCM em uma planta de produção é realizada seguindo as seguintes etapas: (i) seleção do sistema e subsistema funcional; (ii) análise das funções e falhas funcionais; (iii) seleção dos itens críticos do sistema; (iv) análise dos modos de falha e seus efeitos; (v) seleção de tarefas de manutenção preventiva; e (vi) determinação do plano de manutenção.

A seguir são descritos os procedimentos utilizados para realização de cada etapa conforme metodologia proposta, ilustrada na Figura 11.

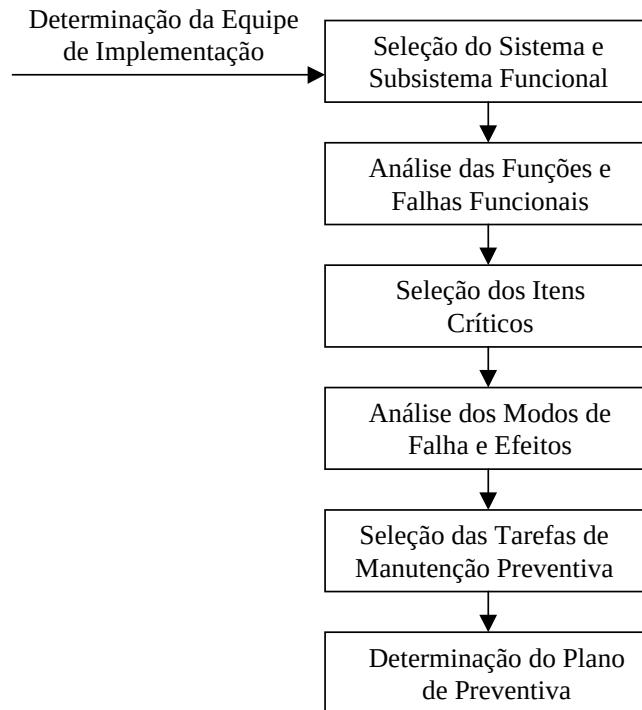


Figura 11: Etapas de Implementação da Metodologia Proposta
Fonte: Lafraia (2001)

3.1 Seleção do Sistema e Subsistema Funcional

Nesta etapa, deve-se estudar e compreender o fluxo produtivo, a fim de definir os sistemas e subsistemas funcionais que melhor caracterizam o processo produtivo. O trabalho deverá ser conduzido através da elaboração de diagramas de blocos funcionais dos diversos sistemas funcionais.

A equipe deverá direcionar os trabalhos futuros no sistema que apresenta elevado risco de parada parcial ou total do processo. Para definir tal sistema, deverão ser analisados os históricos de equipamentos e seus índices de parada corretiva, de forma a identificar os itens físicos críticos, para então identificar os subsistemas nos quais esses itens encontram-se alocados.

3.2 Análise das Funções e Falhas Funcionais

Nesta etapa, serão analisadas as funções e as respectivas falhas funcionais dos subsistemas a serem inicialmente abordadas na aplicação do RCM. A descrição das funções deve ser concisa e clara, fazendo o uso de um verbo para descrever a ação. Será conveniente associar sempre um padrão de desempenho às funções.

A análise das funções deve iniciar com o preenchimento da Planilha de Funções e Falhas Funcionais, ilustrada na Figura 7. Para um melhor entendimento do processo, cada sistema funcional a ser abordado na aplicação do RCM, deverá ser lançado na planilha, onde serão indicadas as funções do sistema e seus padrões de desempenho.

Após a definição das funções e a descrição do sistema, elaboram-se os diagramas de blocos funcionais que objetivam mostrar como as diferentes partes do subsistema interagem, facilitando o entendimento do sistema. Devem-se, ainda, indicar as interfaces de entrada e de saída dos subsistemas.

Finalmente pode-se preencher a segunda coluna da Planilha de Funções e Falhas Funcionais, ilustrada na Figura 7, com as falhas funcionais para cada função e seus respectivos subsistemas funcionais. A planilha deverá ser preenchida conforme recomendações na seção 2.6.2.2 deste trabalho.

3.3 Seleção dos Itens Críticos dos Subsistemas

O objetivo desta etapa é identificar os itens físicos que são potencialmente críticos com relação às falhas funcionais identificadas na etapa anterior. Como citado na seção 2.6.2.3, os autores sugerem alguns métodos para selecionar os itens críticos. Tais métodos buscam direcionar a análise à itens que trarão um retorno financeiro significativo. Este

trabalho apresenta um fluxo decisório adaptado para este estudo de caso, que visa facilitar a definição dos itens críticos.

Os equipamentos críticos devem ser analisados, considerando os seguintes aspectos:

- (i) conseqüências na integridade ambiental e na segurança humana; (ii) conseqüência na qualidade dos produtos; (iii) regime de trabalho (integral, metade do período ou ocasional); (iv) conseqüência da falha no processo produtivo; (v) freqüência com que cada falha ocorre; e (vi) custos envolvidos no reparo.

Considerando os seis fatores acima, deve-se graduar cada item físico através do Quadro 2 em relação aos graus 1, 2 ou 3, e seguir o fluxo decisório ilustrado na Figura 12.

FATORES DE AVALIAÇÃO	GRADUAÇÃO		
	GRAU 1	GRAU 2	GRAU 3
SEGURANÇA Riscos potenciais para as pessoas, meio ambiente e instalações	A falha provoca graves efeitos sobre o homem, o meio ambiente ou instalações	A falha acarreta riscos para o homem, o meio ambiente ou instalações	A falha não produz conseqüências
QUALIDADE Efeito da falha dos equip. sobre a qualidade dos produtos	A falha afeta muito a qualidade, gerando produtos fora de especificações	A falha faz variar a qualidade do produto	A falha não produz efeito sobre a qualidade do produto
REGIME de TRABALHO Tempo de operação do equipamento quando programado	É exigido em tempo integral	É exigido aproximadamente a metade do período	Uso ocasional
ATENDIMENTO Efeito da falha sobre as interrupções do processo produtivo	A falha provoca interrupções maior que _____ horas no processo produtivo	A falha provoca interrupções de até _____ horas no processo produtivo ou cria restrições operacionais	A falha não provoca interrupções do processo produtivo ou existe componente reserva
FREQÜÊNCIA Quantidade de falhas por período de utilização	Muitas paradas devido às falhas (mais de _____ por ano)	Paradas ocasionais (entre _____ e _____ por ano)	Paradas pouco freqüentes (menos de _____ por ano)
CUSTO Mão-de-obra e materiais envolvidos no reparo	Custos elevados (mais de R\$_____)	Custos Médios (entre R\$_____ e R\$ _____)	Custo baixos (menos de R\$_____)

Quadro 2: Tabela de Graduação

Fonte: Gerdau

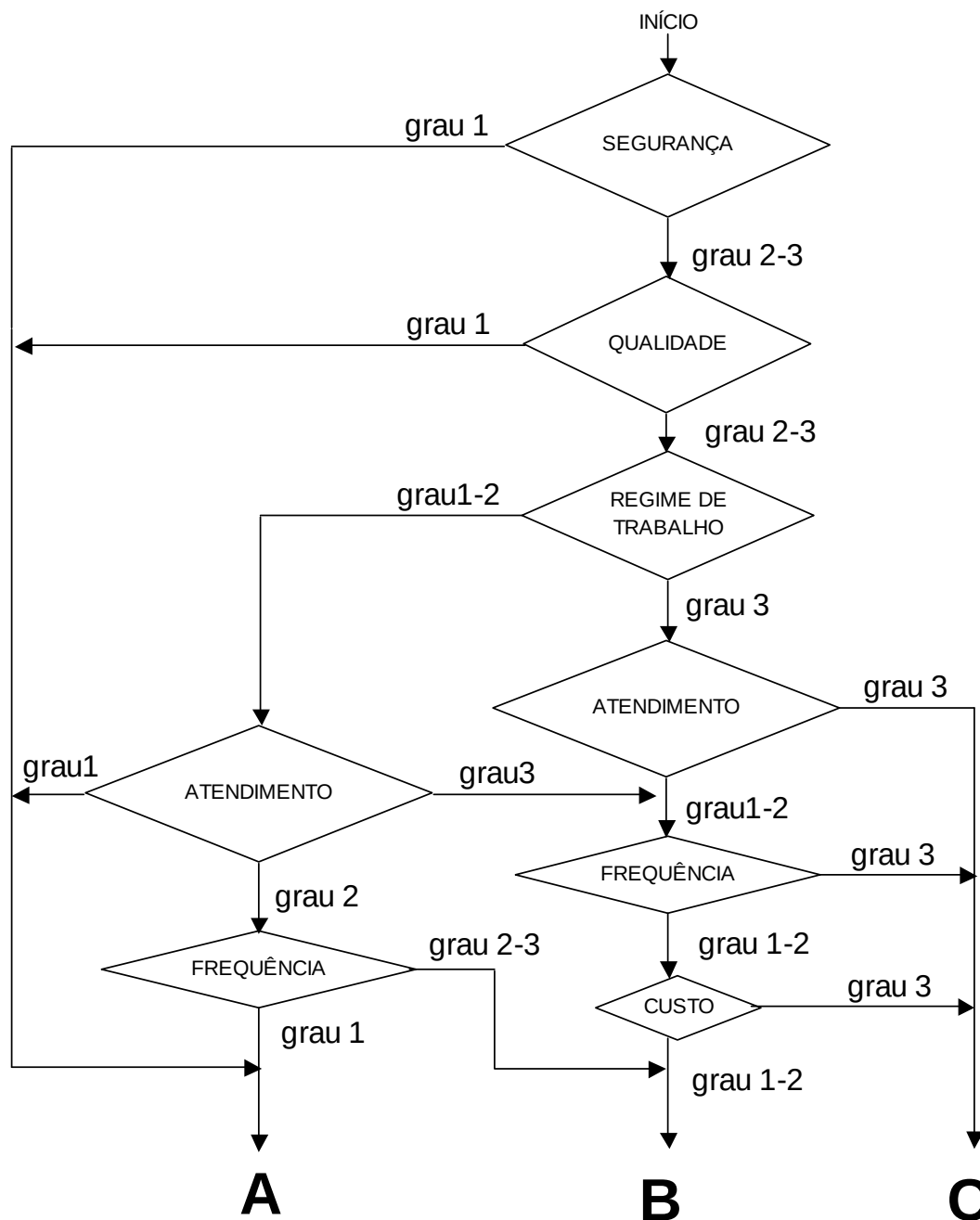


Figura 12: Fluxo Decisório
Fonte: Gerdau

Cada processo produtivo possui as suas particularidades e peculiaridades, fazendo com que as necessidades sejam diferentes. Portanto, antes de definir qual o grau de cada item físico, a equipe deve definir os parâmetros para os graus 1, 2 e 3 referentes aos fatores *atendimento*, *frequência* e *custo*. Esta definição é baseada no nível de impacto ao meio produtivo em relação à

continuidade do processo produtivo (atendimento e frequência) e ao custo envolvido com o reparo.

Posteriormente, a equipe deverá avaliar qual é o grau mais adequado para cada falha funcional em termos dos seis fatores, e classificar os itens físicos em A, B ou C, conforme o fluxo decisório da Figura 12. Estas informações devem ser registradas na planilha exemplificada na Figura 13.

No fluxo decisório da Figura 12, tem-se a tomada de decisão para cada fator conforme o grau definido na tabela de graduação do Quadro 2. Por exemplo, se uma falha funcional possui falha de grau 1 em relação ao fator segurança, classifica-se este item físico como sendo “A”, independente dos outros fatores. Se a falha funcional possuir falha de grau 2 ou 3 em relação ao fator segurança, deve-se seguir o fluxo para os demais fatores.

RCM		PLANILHA PARA CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS									
		SISTEMA:		TURBINA DE 5MW							
		SUB-SISTEMA:		SISTEMA DE EXAUSTÃO							
		DATA:		22/12/2000				EQUIPE:			
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		FATORES DE AVALIAÇÃO						CLASSE	OBSERVAÇÕES
S	Q	RT	A	F	C						
1	Canalizar todo o gás quente da turbina sem restrições a um ponto fixo de 10m acima do telhado	A	Incapaz de canalizar o gás	1	x	x	x	x	x	A	Conforme o diagrama de decisão, a falha funcional é de classe A devido ao fator segurança independente dos demais fatores.
		B	O gás flui com restrições	2	2	1	2	2	x	B	Conforme o diagrama de decisão, a falha funcional é de classe B devido a frequência de ocorrência da falha.
		C	Falha para levar o gás de 10 m acima do teto								
2	Canalizar todo o gás quente da turbina sem restrições a um ponto fixo de 10m acima do telhado	A	0 nível de ruído excede ao indicado								

Figura 13: Exemplo de planilha para classificação de sistemas

Fonte: Gerdau

3.4 Análise dos Modos e Efeitos de Falha

Esta etapa visa identificar os modos de falha que são provavelmente a causa de cada falha funcional e apurar os efeitos da falha associados a cada modo de falha. Essa etapa é feita utilizando-se a ferramenta FMEA –Análise de Modos e Efeitos de Falha.

Existem no mínimo três fontes de informações às quais a equipe poderá recorrer para determinar os modos de falha de um item físico: (i) histórico dos equipamentos; (ii) experiência das pessoas envolvidas com o equipamento; e (iii) literatura especializada que contenha informações sobre os modos de falha associados ao item em estudo.

A análise FMEA será realizada para todas as falhas funcionais definidas anteriormente. Utiliza-se a planilha ilustrada na Figura 8, onde os modos e efeitos das falhas são listados e correlacionados às funções e falhas funcionais.

3.5 Seleção das Tarefas de Manutenção Preventiva

O objetivo dessa etapa é selecionar as tarefas de manutenção preventiva aplicáveis aos modos de falha definidos na etapa anterior. Para isso, utiliza-se a Planilha de Decisão, ilustrada na Figura 10, que visa armazenar todas as informações e decisões realizadas durante o processo de seleção de tarefas.

A ferramenta básica para o desenvolvimento dessa etapa é o Diagrama de Decisão do RCM, ilustrado na Figura 9, que irá permitir, de forma lógica e estruturada, atingir o objetivo do RCM, qual seja, a definição das tarefas de manutenção.

3.6 Determinação do Plano de Manutenção Preventiva

A última etapa para finalização do RCM é elaborar o plano de manutenção. Para tanto, deve-se associar a cada item físico as tarefas de manutenção recomendadas para os modos de falha definidos na etapa anterior. O plano contempla ainda a frequência de realização das tarefas. Para elaboração do plano e definição da periodicidade, utiliza-se a mesma planilha da etapa anterior, ilustrada na Figura 10.

Após definido o plano de manutenção, deve-se comparar o plano de manutenção elaborado com o plano atualmente utilizado pela empresa onde a implantação está sendo realizada. Esta comparação das tarefas antigas com as novas propostas pelo RCM visa permitir que todos conheçam as diferenças entre as duas propostas.

Conforme é citado na seção 2.5 deste trabalho, a TPM possui dois objetivos básicos: (i) a busca da maximização do rendimento operacional das máquinas e equipamentos; e (ii) um sistema onde todos os níveis hierárquicos da empresa participam. Para atingir o objetivo de maximizar o rendimento operacional, é imperativo que o pilar “Manutenção Planejada” da TPM tenha um programa de manutenção preventiva eficiente.

Entretanto, na TPM não existe um critério ou definição de quais as estratégias de manutenção preventiva devem ser adotadas para cada equipamento ou sistema. Com a metodologia de RCM proposta neste trabalho, pode-se definir qual a estratégia mais adequada conforme a necessidade de cada equipamento, sistema ou subsistema.

4 ESTUDO DE CASO

A implementação da metodologia do RCM (*Reliability Centered Maintenance* ou Manutenção Centrada em Confiabilidade), conforme descrita no capítulo 3, foi realizada na empresa Gerdau S.A., localizada em Sapucaia do Sul na Grande Porto Alegre. A empresa é uma usina siderúrgica que produz aços longos, comuns para os segmentos da construção civil, indústria e agropecuária.

A Usina da Gerdau em Sapucaia do Sul é dividida em três áreas, que possuem processos básicos e distintos, chamados de: (i) Aciaria, (ii) Laminação e (iii) Trefilação. A abordagem deste trabalho é realizada na área de Trefilação, porém, tendo em vista que os demais processos interagem com a área abordada, será feita uma breve descrição dos processos de Aciaria e Laminação. Os processos são descritos a seguir, e ilustrados na Figura 14.

Na Aciaria é realizada a fusão da carga metálica através de um forno elétrico a arco. A corrente elétrica de alta amperagem circula pela carga metálica, abrindo arcos voltaicos e gerando calor para fusão da carga a uma temperatura em torno de 1600°C. A carga metálica é composta principalmente por sucata metálica, ferro-gusa e cal. Após a fusão, o aço é vazado para o forno-panela que tem a função de corrigir a composição química específica para cada tipo de aço. Após, o aço ainda no estado líquido é transformado em tarugos sólidos para serem enviados para Laminação, num processo chamado Lingotamento Contínuo.

No processo de *Laminação*, o tarugo obtido no processo anterior sofrerá uma

deformação plástica à quente do aço até se chegar à conformação desejada, que é a barra redonda laminada. Isto acontecerá através da passagem do tarugo por vários estágios compostos por cilindros paralelos em rotação. A última etapa da Laminação é o bobinamento. Esta etapa corresponde à formação de espiras que dão ao produto, à barra redonda laminada, o aspecto de bobina ou rolo. A Laminação possui dois tipos de produto, ambos em forma de rolo ou bobina, que são chamados de Fio Máquina e Rolo Laminado. Os dois produtos são enviados para o processo de Trefilação.

A *Trefilação* é um processo de conformação mecânica a frio, responsável pela redução da seção do Fio Máquina através da passagem do material por orifícios calibrados, denominados fieiras, aplicando-se um esforço na ponta do arame que sai da fieira. Este arame é entalhado através de rolos entalhadores e, após, endireitado em máquinas endireitadeiras. Estas máquinas também cortam o arame em barras dando assim a forma final ao produto, chamado de Barras de CA60, que será utilizado na construção civil.

Outro processo que integra a Trefilação é o Endireitamento de Laminados. Neste processo, diferentemente do Fio Máquina, o rolo laminado proveniente da laminação é apenas endireitado e cortado em barras dando a forma final ao produto Vergalhão CA50 ou GG50. Nestes processos de endireitamento, o aço é flexionado vertical e horizontalmente não apenas com o objetivo de endireitar o material, mas também de ajustar as características mecânicas do produto como, por exemplo, tensão de escoamento e ruptura.

A trefilação possui 19 equipamentos, entre máquinas de trefilar e de endireitar. Atualmente são produzidas 6500 toneladas/mês de barras CA60 e 6000 toneladas/mês de vergalhões GG50. Para garantir essa produção, a área de trefilação conta com 90 funcionários e as atividades são realizadas em 2 turnos, de segunda a domingo, com uma parada diária das 17h 30 às 21h 30.

Não serão abordadas, neste trabalho, outras áreas da usina como laminação de barras

e perfis, galvanização, fabricação de arames farpados e pregos, por não terem relação com a área deste trabalho.

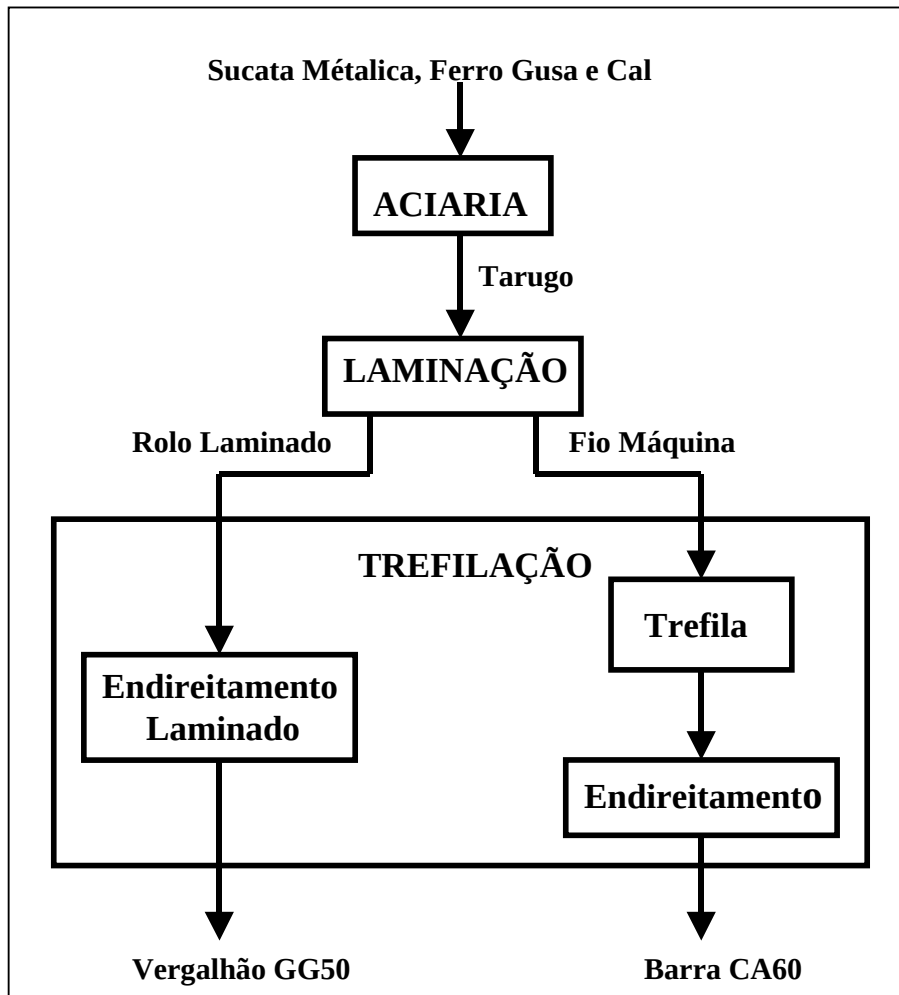


Figura 14: Processo de Produção
Fonte: Gerdau

Na seção 2.5.2, foi citado que, para a eliminação das grandes perdas da TPM (*Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total), sugere-se a implementação de atividades designadas “pilares de sustentação do desenvolvimento do TPM”. A TPM foi originalmente proposta com base em cinco pilares ou atividades estabelecidos como básicos para dar sustentação ao desenvolvimento da metodologia. Posteriormente, o JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*) introduziu mais três pilares com o objetivo de aumentar o

envolvimento do TPM nas empresas e potencializar a capacidade de ganhos.

A empresa abordada neste estudo de caso adota a TPM, porém com adaptações em relação aos pilares de sustentação. A versão adaptada é designada na empresa por Manutenção Integrada, possuindo 6 pilares ilustrados na Figura 15 e descritos a seguir.

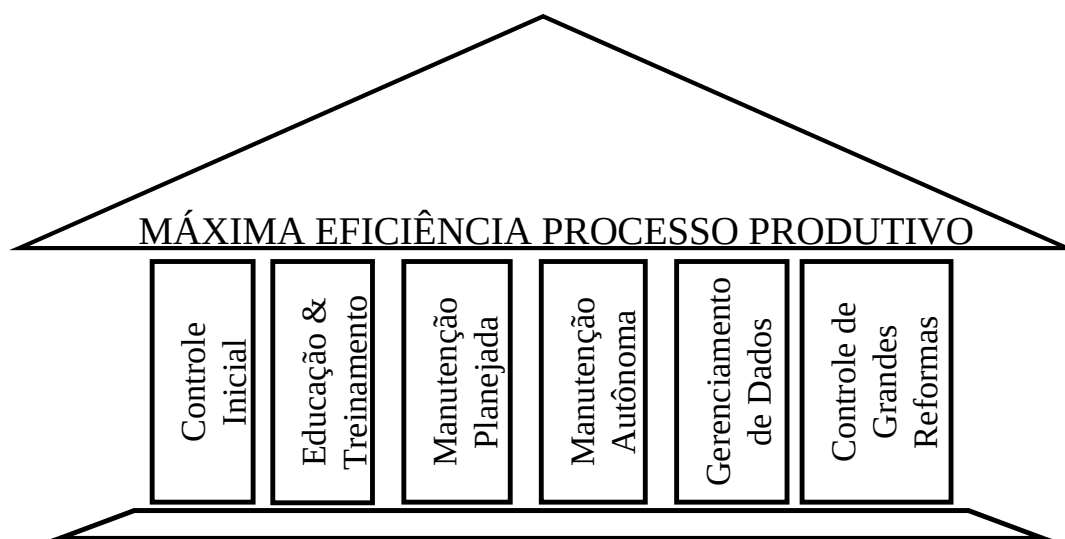


Figura 15: Os seis pilares da Manutenção Integrada
Fonte: Gerdau

O pilar de *controle inicial* visa envolver a Operação, Manutenção e Engenharia quando da concepção de um equipamento novo ou modificação de um equipamento existente. O objetivo deste pilar é facilitar a operacionalidade e manutenibilidade do equipamento.

O pilar *educação e treinamento* consiste em um plano global de treinamentos para desenvolvimento da manutenção e operação. Este plano global contempla treinamentos técnicos e sistêmicos. Um das formas de treinamento é o Q1, ou Qualidade em um ponto, exemplificado no Anexo A.

No pilar *manutenção autônoma*, os operadores executam pequenos reparos, lubrificação e limpeza dos equipamentos. Além disto, realizam uma inspeção junto ao equipamento com a ajuda de um *check list* denominado “Rotina de Inspeção Operacional”.

Quando é constatada qualquer anormalidade, a qual o operador não consegue solucionar, este emite uma etiqueta para que o mecânico ou eletrônico responsável providencie o reparo. As etiquetas emitidas são analisadas trimestralmente e, através de gráfico de Pareto, as principais anormalidades são tratadas em reunião entre as áreas de manutenção e operação.

No pilar *gerenciamento de dados*, as informações provenientes de quebras (corretiva), anormalidades (etiquetas de manutenção autônoma) e ações executadas na preventiva são compiladas, fornecendo informações que realimentam o sistema, seja para efetuar uma melhoria, programar uma manutenção preventiva ou para o planejamento de peças reservas. Todo o gerenciamento de dados é efetuado pelo sistema corporativo da empresa (R3/SAP). Por ser integrado com todas as áreas da empresa, o sistema possibilita o controle de custos por equipamento.

O pilar *controle de grandes reformas* visa identificar o momento no qual um equipamento necessita de uma grande reforma e cria uma sistemática para controlá-la, a fim de que seja efetuada no menor tempo e custo possíveis, e com a melhor atualização tecnológica disponível.

No pilar da *manutenção planejada*, foram definidos os planos de manutenção preventiva, preditiva e de lubrificação. Os planos são definidos com base na experiência dos mecânicos e engenheiros da área. O sistema é controlado pelo R3/SAP que gera as ordens de manutenção, conforme as frequências pré-definidas.

A implantação da Manutenção Integrada atingiu diversos objetivos almejados pela TPM, dentre os quais destacam-se: (i) aumento na motivação e interação entre produção e manutenção; (ii) melhora no índice global dos equipamentos; (iii) maior participação dos operadores na indicação e correção de anomalias; (iv) redução nas intervenções corretivas nos equipamentos; (v) melhor gerenciamento dos dados de manutenção; e (vi) melhor adaptação de operadores, eletroeletrônicos e mecânicos quando da instalação de um novo equipamento,

conforme previsto no pilar *controle inicial*.

Entretanto, mesmo atingindo tais objetivos, a demanda para a área de manutenção cresceu significativamente em decorrência das anormalidades registradas pelos operadores (pilar *manutenção autônoma*) e principalmente pelos extensos programas de manutenção preventiva (pilar *manutenção planejada*).

Quando da criação dos planos de manutenção preventiva, não foi utilizada nenhuma sistemática para definir e priorizar as intervenções preventivas, sendo estas baseadas exclusivamente na experiência das pessoas envolvidas. Como resultado, obtiveram-se planos extensos e de difícil cumprimento, gerando a necessidade de implementação de uma ferramenta que otimizasse os recursos da área de manutenção. A seguir são descritos os passos para implementação do RCM no pilar *manutenção planejada*.

4.1 Implementação do RCM para Melhorar o Pilar Manutenção Planejada

Para a implementação da metodologia do RCM na área de Trefilação, foram seguidas as etapas descritas no Capítulo 3 deste trabalho. Os resultados da implementação encontram-se descritos na seqüência.

Para iniciar o trabalho, foi constituída uma equipe de profissionais composta por técnicos de manutenção, operadores de máquinas, facilitadores de produção e manutenção, e um analista com profundo conhecimento em RCM.

4.1.1 Seleção do Sistema e Subsistema Funcional

O processo de estudo para implantação do RCM na trefilação iniciou com a estruturação funcional que melhor caracteriza o processo produtivo da fábrica. Na Figura 16, são apresentadas

as três áreas da Trefilação: (i) Trefila; (ii) Endireitamento CA60 e (iii) Endireitamento Laminados. Em cada área, são apresentados os equipamentos, os quais são denominados por sistemas no processo de implementação do RCM. Cada sistema apresenta um agrupamento de subsistemas funcionais associados às suas respectivas funções principais. A nomenclatura utilizada na Figura 16 pode ser traduzida da seguinte maneira: a letra “E” refere-se a máquinas endireitadeiras, a letra “T” refere-se a máquinas de trefila, assim como “SP” e “BM” também integram o conjunto de máquinas de trefila, porém utilizam as iniciais dos seus fabricantes.

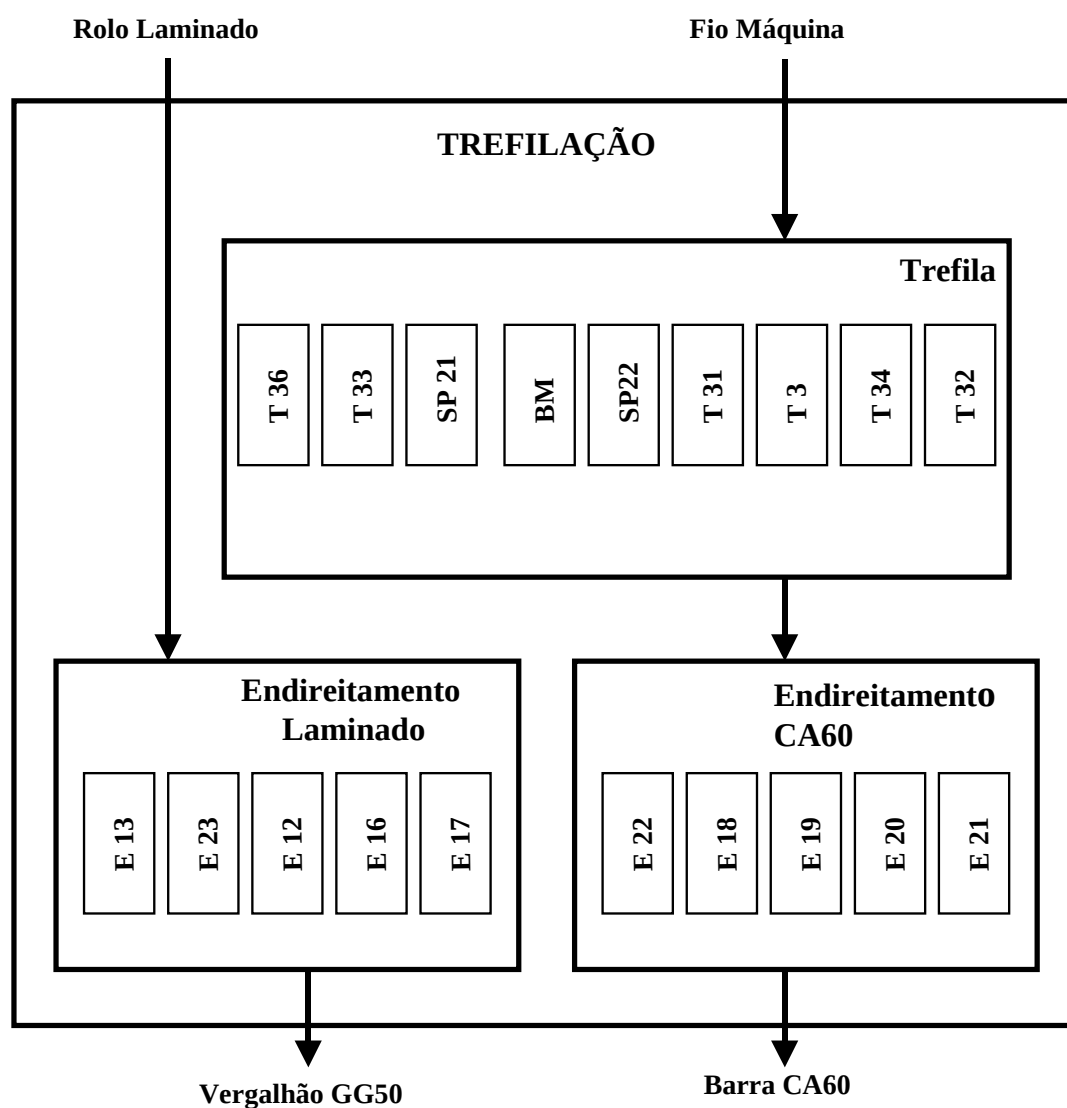


Figura 16: Sistemas da Trefilação
Fonte: Gerdau

Os sistemas produzem independentemente uns dos outros, tendo como principais diferenças as seguintes características: velocidade de Trefila ou Endireitamento, bitola máxima de entrada do Fio Máquina e de saída da Barra, e tipo de aço em relação à potência máxima do sistema.

Para implementar a metodologia do RCM, foi escolhido o sistema E16 (Endireitadeira 16) do Endireitamento Laminados. A iniciativa de implementar a metodologia nesse sistema decorreu dos seguintes fatores: (i) o Endireitamento de Laminados é a área com maior índice de paradas por manutenção, conforme apresentado na Figura 17; (ii) no Endireitamento Laminados, o sistema E16 apresenta o maior índice de paradas para manutenção; (iii) o Endireitamento de Laminados possui o custo de manutenção mais alto da trefilação.

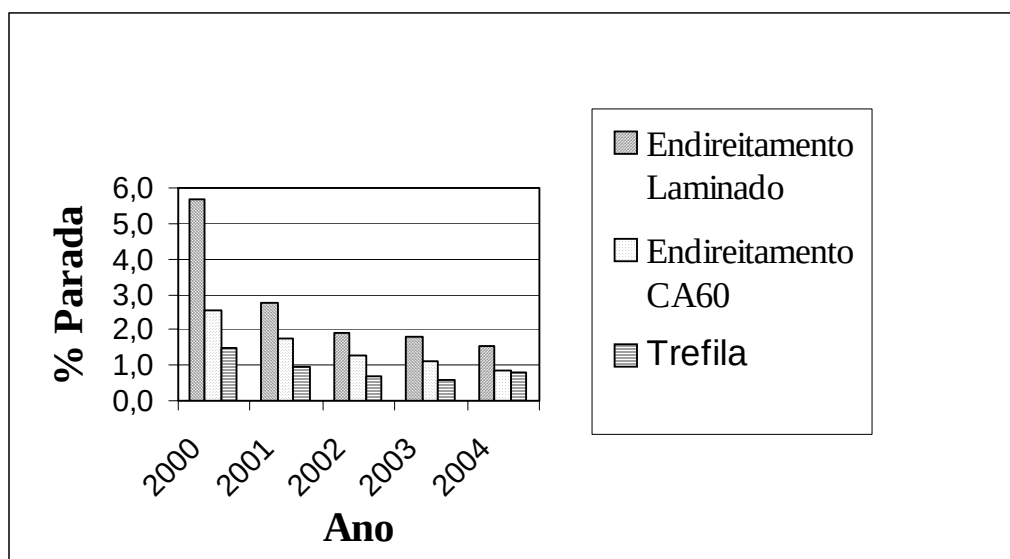


Figura 17: Índice de Interrupções de Manutenção por Área
Fonte: Gerdau

Após a definição do sistema, foram definidos os subsistemas, apresentados na Figura 18. Esses subsistemas são compostos por itens mecânicos e eletroeletrônicos. Devido ao sistema apresentar diversos itens físicos, componentes e acessórios, este trabalho limitou-se aos itens físicos mecânicos dos subsistemas.

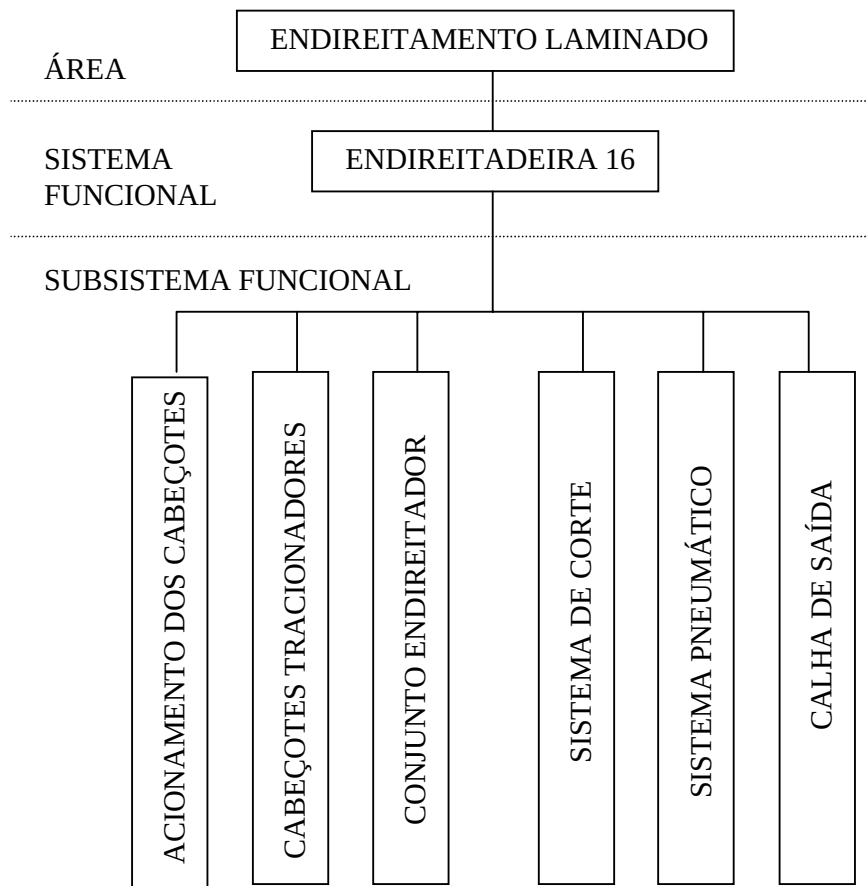


Figura 18: Definição dos Subsistemas Funcionais da E16

Fonte: Gerdau

4.1.2 Definição das Funções e Falhas Funcionais

Para realização desta etapa, utilizou-se o diagrama funcional da Figura 19 que indica os subsistemas e permite visualizar como as diferentes partes dos subsistemas interagem entre si.

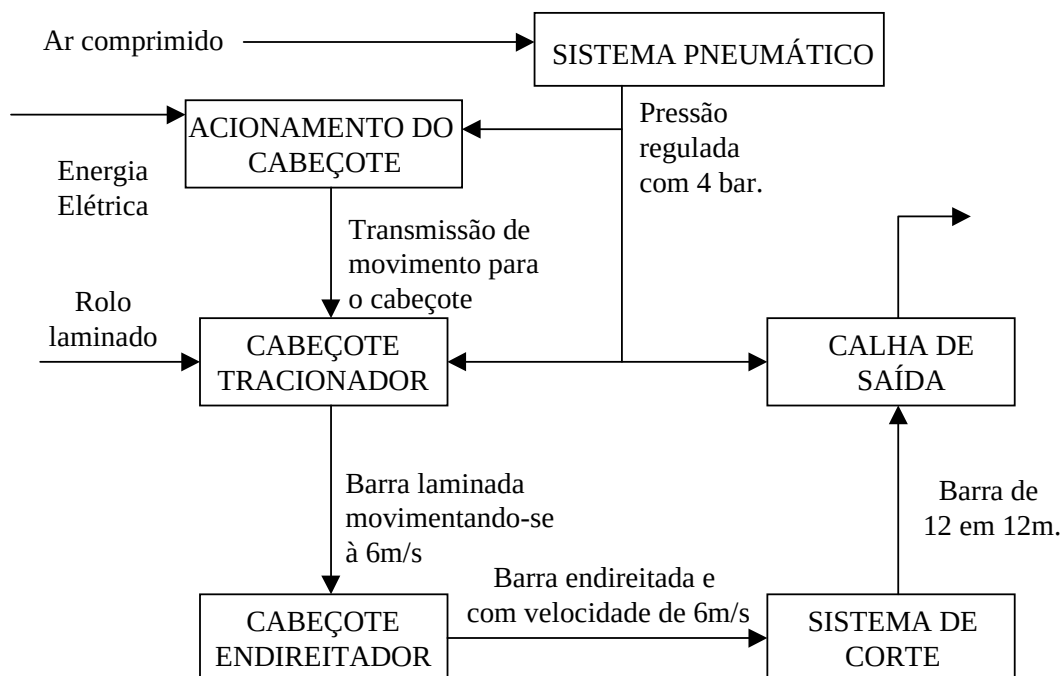


Figura 19: Interação dos Subsistemas da E16

Fonte: Gerdau

Com base no diagrama funcional, foi preenchida a Planilha de Funções e Falhas Funcionais, ilustrada na Figura 20 com o exemplo do subsistema Cabeçote Tracionadores. Nesta planilha, foram identificadas todas as funções e seus contextos operacionais, e as falhas funcionais para cada subsistema. As planilhas completas para cada subsistema encontram-se no Anexo B. Desta análise, resultaram onze funções e dezenove falhas funcionais para os seis subsistemas estudados.

RCM		PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAS			
		SISTEMA:	ENDIREITADEIRA 16		
		SUB-SISTEMA:	CABEÇOTES TRACIONADORES		
		DATA:	15/4/2004	EQUIPE:	
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL (Perda de função)			
1	Tracionar a barra laminada de 6 ou 8 mm a 6m/s sem danificar a barra	A	Não tracionar a barra		
		B	Tracionar a barra com velocidade inferior a 6m/s		
		C	Tracionar a barra danificando o material		

Figura 20: Planilha de Funções e Falhas Funcionais do Subsistema Cabeçotes Tracionadores

Fonte: Gerdau

4.1.3 Seleção dos Itens Críticos dos Subsistemas

Esta etapa objetiva identificar os subsistemas potencialmente críticos com relação às falhas funcionais identificadas na etapa anterior. Os subsistemas serão analisados considerando os seguintes aspectos: (i) segurança; (ii) impacto na qualidade do produto; (iii) regime de trabalho (integral, meio período ou ocasional); (iv) consequência da falha no processo produtivo; (v) frequência com que cada falha ocorre; e (vi) custo envolvido no reparo.

Para identificar os subsistemas críticos, foi seguida a sistemática descrita na seção 3.3 deste trabalho, a qual recomenda classificar os subsistemas em A,B ou C, seguindo o fluxo decisório ilustrado na Figura 12. Para seguir o fluxo decisório, deve-se graduar os subsistemas em relação aos seis fatores de avaliação descritos na Tabela de Graduação (Quadro 2). Como indicado na seção 3.3, a tabela de graduação deve ser parametrizada para os fatores *atendimento*, *frequência* e *custo* conforme o impacto de cada um na área na qual os subsistemas estão inseridos. No Quadro 3, é apresentada a Tabela de Graduação com esses parâmetros definidos.

FATORES DE AVALIAÇÃO	GRADUAÇÃO		
	GRAU 1	GRAU 2	GRAU 3
SEGURANÇA Riscos potenciais para as pessoas, meio ambiente e instalações	A falha provoca graves efeitos sobre o homem, o meio ambiente ou instalações	A falha acarreta riscos para o homem, o meio ambiente ou instalações	A falha não produz consequências
QUALIDADE Efeito da falha dos equip. sobre a qualidade dos produtos	A falha afeta muito a qualidade, gerando produtos fora de especificações	A falha faz variar a qualidade do produto	A falha não produz efeito sobre a qualidade do produto
REGIME de TRABALHO Tempo de operação do equipamento quando programado	É exigido em tempo integral	É exigido aproximadamente a metade do período	Uso ocasional
ATENDIMENTO Efeito da falha sobre as interrupções do processo produtivo	A falha provoca interrupções maior que 2 horas no processo produtivo	A falha provoca interrupções de até 2 horas no processo produtivo ou cria restrições operacionais	A falha não provoca interrupções do processo produtivo ou existe componente reserva
FREQUÊNCIA Quantidade de falhas por período de utilização	Muitas paradas devido às falhas (mais de 6 por ano)	Paradas ocasionais (entre 3 e 6 por ano)	Paradas pouco frequentes (menos de 3 por ano)
CUSTO Mão-de-obra e materiais envolvidos no reparo	Custos elevados (mais de R\$1000)	Custos Médios (entre R\$ 500 e R\$ 1000)	Custo baixos (menos de R\$ 500)

Quadro 3: Tabela de Graduação Parametrizada

Fonte: Gerdau

Posteriormente, a equipe seguiu o fluxo decisório ilustrado na Figura 12 e registrou as informações na Planilha de Classificação dos Equipamentos, conforme exemplificado para o subsistema Cabeçote Tractionador na Figura 21. As Planilhas de Classificação dos demais subsistemas encontram-se no Anexo C.

As decisões tomadas no fluxo decisório foram baseadas em: (i) registros de manutenção preventiva; (ii) registros de manutenção corretiva; (iii) registros de manutenção autônoma; e (iv) experiência dos integrantes da equipe.

Dessa análise, resultaram cinco falhas funcionais de classe A, cinco de classe B e nove de classe C. Para as próximas etapas da implementação do RCM, foi definido que somente os subsistemas que possuem falhas funcionais de classe A seriam analisados. Como o subsistema *Sistema Pneumático* não possui nenhuma falha funcional de classe A, este não será analisado nas próximas etapas. Os seguintes aspectos justificam-se nessa definição:

disponibilidade da equipe e utilização da regra estatística 80-20, onde 80% dos problemas costumam estar concentrados em 20% dos itens.

RCM		PLANILHA DE CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS									
		SISTEMA:		ENDIREITADEIRA 16							
		SUB-SISTEMA:		CABEÇOTES TRATORES							
		DATA:		10/5/2004			EQUIPE:				
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		FATORES DE AVALIAÇÃO					CLASSE	OBSERVAÇÕES	
				S	Q	RT	A	F			C
1	Tracionar a barra laminada de 6 ou 8mm a 6m/s sem danificar a barra	A	Não tracionar a barra	3	3	1	1	X	X	A	Conforme o diagrama de decisão, a falha funcional é de classe A devido ao fator Atendimento
		B	Tracionar a barra com velocidade inferior a 6 m/s	3	3	1	3	3	3	C	Conforme o diagrama de decisão, a falha funcional é de classe C considerando todos os fatores.
		C	Tracionar a barra danificando o material	3	2	1	2	2	X	B	Conforme o diagrama de decisão, a falha funcional é de classe B devido a frequência de ocorrência da falha.

Figura 21: Planilha de Classificação do Subistema Cabeçotes Tracionadores

Fonte: Gerdau

4.1.4 Análise dos Modos e Efeitos de Falha

Esta etapa objetiva identificar os modos de falha que provavelmente são a causa de cada falha funcional e apurar os efeitos da falha associados a cada modo de falha. Para os cinco itens críticos selecionados na etapa anterior, foram identificados modos e efeitos de falha utilizando o FMEA. Por tratar-se de uma aplicação piloto e de um pequeno número de modos de falha, decidiu-se por conduzir todos os modos de falha à etapa seguinte da implementação do RCM.

A Figura 22 ilustra a Planilha de Análise dos Modos de Falha e Efeitos preenchida com o subsistema Cabeçote Tracionador. As Planilhas dos demais subconjuntos encontram-se no Anexo D.

PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS				
RCM	SISTEMA:		ENDIREITADEIRA 16	
	SUB-SISTEMA:		CABEÇOTES TRACIONADORES	
	DATA:		22/15/2004	EQUIPE:
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	
1 Tracionar a barra laminada de 6 ou 8mm a 6m/s sem danificar a barra	A Não tracionar a barra	1 Quebra de rolamentos	Pára completamente o cabeçote. 3 horas de paralisação para troca e instalação de outro cabeçote.	
		2 Desgaste dos dentes da engrenagem	Quebra dos dentes das engrenagens e pára completamente o cabeçote. 3 horas de paralisação para troca e instalação de outro cabeçote.	
		3 Vazamento interno do cilindro pneumático de pressão dos roletes	Os roletes tracionadores não são pressionados na barra fazendo com que a barra não seja tracionada. 30 minutos para troca do cilindro.	
		4 Mangueira de ar furada	O cilindro não tem força para pressionar os roletes tracionadores na barra fazendo com que a barra não seja tracionada. 10 minutos para troca da mangueira.	
		5 Vazamento nas conexões de ar	O cilindro não tem força para pressionar os roletes tracionadores na barra fazendo com que a barra não seja tracionada. 10 minutos para troca das conexões.	
		6 Válvula direcional trancada	O cilindro não é acionado. Os roletes não são pressionados na barra fazendo com que a barra não seja tracionada. 20 minutos para troca da válvula	

Figura 22: Planilha de Análise dos Modos de Falha e Efeitos referente ao Subsistema Cabeçote Tracionador
Fonte: Gerdau

4.1.5 Seleção das Tarefas de Manutenção Preventiva

Para definir as tarefas de manutenção preventiva aplicáveis aos modos de falha definidos na etapa anterior, foi utilizado o Diagrama de Decisão do RCM, ilustrado na Figura 9. As informações coletadas foram registradas na Planilha de Decisão do RCM, exemplificada na Figura 10.

Na Figura 23, pode-se verificar a Planilha de Decisão do RCM para o subconjunto Cabeçote Tracionador. Para um melhor entendimento desta planilha, no campo “Tarefa Proposta”, ilustrado na Figura 23, foi identificado qual tipo de manutenção foi selecionado através do Diagrama de Decisão. Os tipos de manutenção e os requisitos para a aplicabilidade

ou não de cada um dos tipos foram definidos na seção 2.6.1. As siglas utilizadas nesta planilha foram definidas na seção 2.6.2.6.

RCM	PLANILHA DE DECISÃO DO RCM														
	SISTEMA:			ENDIREITADEIRA 16											
	SUBSISTEMA:			CABEÇOTE TRACIONADOR											
	DATA:			22/5/2004				EQUIPE:							
Referência Informação			Avaliação de Consequências			Tarefa Pro Ativa			Ação default			Tarefa Proposta	Frequência	Responsável	
F	FF	FM	H	S-E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
						S1	S2	S3							
						O1	O1	O3							
						N1	N2	N3							
1	A	1	S	N	S	S	X	X	X	X	X	X	Tarefa Sob-condição		
1	A	2	S	N	S	S	X	X	X	X	X	X	Tarefa Sob-condição		
1	A	3	S	N	S	S	X	X	X	X	X	X	Tarefa Sob-condição		
1	A	4	S	N	S	S	X	X	X	X	X	X	Tarefa Sob-condição		
1	A	5	S	N	S	S	X	X	X	X	X	X	Tarefa Sob-condição		
1	A	6	S	N	N	N	N	N	X	X	X	X	Nenhuma manutenção programada		

Figura 23: Planilha de Decisão do Subconjunto Cabeçote Tracionador

Fonte: Gerdau

4.1.6 Determinação do Plano de Manutenção Preventiva

A última etapa de implementação do RCM é a elaboração do plano de manutenção. Para tanto, foram considerados os tipos de manutenção recomendados para os modos de falha definidos na etapa anterior. A Figura 24 ilustra a Planilha de Decisão com o plano de manutenção para o subconjunto Cabeçote Tracionador. As planilhas de decisão com a definição dos planos de manutenção dos demais subconjuntos encontram-se no Anexo E.

Observa-se, na Figura 24, que, para cada modo de falha, foram elencadas uma ou mais tarefas de manutenção. Para alguns modos de falha, foi definido o tipo de tarefa chamado “nenhuma manutenção programada ou operar até a falha”, e isto deve-se à facilidade de manutenção desses modos de falha, bem como do pequeno impacto econômico e operacional que causam.

A periodicidade foi definida com base nas informações de histórico dos

equipamentos e na opinião de especialistas, dentre eles mecânicos, operadores e facilitadores de produção e de manutenção. Com o histórico dos equipamentos arquivados no sistema R3/SAP pôde-se determinar a vida útil de alguns componentes.

As tarefas propostas na Planilha de Decisão do RCM apenas exemplificam as atividades a serem realizadas. Os planos de manutenção implantados no sistema R3/SAP contemplam parâmetros de controle que indicam a necessidade de atuação ou não. Por exemplo, na tarefa “verificar folga dos rolamentos superiores e inferiores dos cabeçotes”, consta no plano de manutenção no sistema R3/SAP que a folga máxima é de 0,5mm.

RCM		PLANILHA DE DECISÃO DO RCM																	
		SISTEMA:					ENDIREITADEIRA 16												
		SUBSISTEMA:					CABEÇOTE TRACIONADOR												
		DATA:					22/5/2004				EQUIPE:								
Referência Informação			Avaliação de Consequências			Tarefa Pro Ativa			Ação default			Tarefa Proposta				Frequência		Responsável	
F	FF	FM	H	S-E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4								
						S1	S2	S3											
						O1	O1	O3											
						N1	N2	N3											
1	A	1	S	N	S	S	X	X	X	X	X	X	1	Verificar folga dos rolamentos superiores e inferiores dos cabeçotes	Mensal	Preventiva			
													2	Inspecionar o nível de óleo do cabeçote	Mensal	Lubrificador			
1	1	2	S	N	S	S	X	X	X	X	X	X	1	Inspecionar através da janela de inspeção o estado dos dentes das engrenagens	Trimestral	Preventiva			
													2	Verificar através da janela de inspeção folga na chaveta entre as engrenagens e os eixos	Trimestral	Preventiva			
													3	Coletar amostra de óleo para análise	Trimestral	Lubrificador			
1	A	3	S	N	S	S	X	X	X	X	X	X	1	Verificar a existência de vazamento interno no cilindro	Mensal	Padrinho			
1	A	4	S	N	S	S	X	X	X	X	X	X	1	Verificar a existência de mangueiras furadas	Diário	Operador			
1	A	5	S	N	S	S	X	X	X	X	X	X	1	Verificar a existência de vazamento nas conexões pneumáticas	Diário	Operador			
1	A	6	S	N	N	N	N	N	X	X	X	X	1	Operar até ocorrer a falha de trancamento da válvula	—	—			

Figura 24: Planilha de Decisão com o Plano de Manutenção do Subconjunto Cabeçote Tracionador

Fonte: Gerdau

4.2 Análise dos Resultados

O plano de manutenção preventiva atual foi montado a partir do histórico dos equipamentos e pela experiência dos especialistas. Devido à baixa confiabilidade das informações, a periodicidade das tarefas foi definida pelo menor intervalo encontrado.

Observa-se que a ênfase atual da manutenção é direcionada à preservação do componente físico. Já o RCM visa preservar a função do sistema, o que conduz a uma quantidade maior de tarefas de manutenção em comparação com aquelas efetuadas pelo plano de manutenção tradicional. Essas tarefas geralmente são pró-ativas e não aumentam significativamente o custo de manutenção, pois grande parte são rotinas de inspeção.

No Quadro 3, pode-se verificar uma comparação entre o plano de manutenção atual e o plano proposto pelo RCM para o subsistema Calha Dupla de Saída. Analisando os dois planos, nota-se que o enfoque da manutenção tradicional é substituir componentes físicos, enquanto que a manutenção baseada no RCM visa preservar as condições das funções do sistema. Além da manutenção preventiva, o RCM utiliza outros tipos de manutenção para preservar as funções do sistema, como por exemplo: a manutenção preditiva, de melhorias e opção de operar até a falha.

Além disso, o RCM identificou também potenciais modos de falha que não eram contemplados no plano de manutenção atual. Algumas tarefas indicadas pelo RCM já eram contempladas na manutenção autônoma.

Modo de Falha		Plano Proposto pelo RCM			Plano Atual de Manutenção		
		Tarefa	Frequência	Responsável	Tarefa	Frequência	Responsável
1	Folga na bucha de giro do desviador	Verificar desgaste das buchas	Bimensal	Equipe Preventiva	Trocar as buchas do desviador	Trimestral	Equipe Preventiva
2	Desgaste do funil	Verificar desgaste do canal interno do funil	Semestral	Equipe Preventiva	Não contemplado no plano antigo	–	–
3	Vazamento interno do cilindro do desviador	Verificar a existência de vazamento interno no cilindro	Mensal	Padrinho	Não contemplado no plano antigo	–	–
4	Mangueira de ar furada	Verificar a existência de mangueiras furadas	Diário	Operador	Contemplado na Manutenção Autônoma	–	–
5	Vazamento nas conexões de ar	Verificar a existência de vazamento nas conexões pneumáticas	Diário	Operador	Contemplado na Manutenção Autônoma	–	–
6	Válvula direcional trancada	Reprojeto	–	Engenharia	Não contemplado no plano antigo	–	–
7	Desgaste da chapa de desgaste	Verificar desgaste das chapas de desgaste	Trimestral	Equipe Preventiva	Trocar chapas de desgaste	Semestral	Equipe Preventiva
8	Desgaste da cantoneira	Verificar desgaste das chapas das cantoneiras	Trimestral	Equipe Preventiva	Trocar chapas das cantoneiras	Semestral	Equipe Preventiva
9	Folga nos mancais	Verificar folga dos mancais da calha	Trimestral	Equipe Preventiva	Trocar os mancais de bronze	Semestral	Equipe Preventiva

Figura 25: Comparação entre o Plano de manutenção Atual e o Proposto pelo RCM

Fonte: Gerdau

Nesta implementação piloto realizada no sistema Endireitadeira 16, pode-se verificar que, para as onze funções avaliadas, foram identificadas dezenove falhas funcionais, que indicaram trinta e seis modos de falha. Também foram definidas 46 tarefas de manutenção.

Das 46 tarefas de manutenção propostas, doze referem-se a modos de falha que não estavam contemplados no plano de manutenção atual. Em três tarefas propostas, definiu-se operar até a falha, e em um caso, a metodologia proposta pelo RCM não encontrou nenhuma tarefa de manutenção adequada, sugerindo então um reprojeto.

Os resultados da aplicação do RCM, baseados na metodologia proposta no capítulo 3, mostram-se adequados para implementação em uma máquina Endireitadeira, mesmo limitando-se à definição das tarefas e dos planos de manutenção. A metodologia também

mostrou-se eficiente para resgatar e documentar o conhecimento acumulado dos profissionais envolvidos no processo de manutenção.

5 CONCLUSÕES

O atual ambiente competitivo, que requer baixo custo, alta qualidade e um grau crescente de customização, tem influenciado as ações dos profissionais de manutenção para o aprimoramento das políticas de manutenção. Como resultado, atualmente tem-se no universo da manutenção, uma quantidade muito grande de métodos, *software*, modelos e ferramentas de gestão. Entretanto, dois processos se destacam: o RCM, de origem americana, e a TPM, de origem japonesa.

Conforme é citado na seção 2.5 deste trabalho, a TPM possui dois objetivos básicos: (i) a busca da maximização do rendimento operacional das máquinas e equipamentos; e (ii) um sistema onde todos os níveis hierárquicos da empresa atuem conjuntamente. Para atingir o objetivo de maximizar o rendimento operacional, é imperativo que o pilar “Manutenção Planejada” da TPM tenha um programa de manutenção preventiva eficiente.

Na TPM não existe um critério ou definição de quais as estratégias de manutenção preventiva devem ser adotadas para cada equipamento ou sistema. Já com a metodologia de RCM proposta neste trabalho, pode-se definir qual a estratégia mais adequada de maneira lógica e racional, utilizando o conceito da preservação da função do sistema, através do Diagrama de Decisão.

Verificando as definições da TPM e do RCM, pode-se notar uma contradição entre as duas ferramentas no que tange ao seu enfoque principal. Enquanto a TPM visa ações no

equipamento, tendo como meta a quebra zero, o RCM visa preservar as funções do sistema, aceitando inclusive a parada corretiva, desde que esta parada tenha um custo-benefício melhor do que as ações para prevenir esta corretiva. Embora exista esta contradição teórica entre as duas metodologias, o RCM, através de critérios de seletividade, pode ser usado para definir quais os equipamentos, sistemas ou subsistemas serão alvos de quebra zero (TPM). Vale salientar que a cooperação e o trabalho em pequenos grupos entre a manutenção e a operação são características presentes nas duas metodologias.

Este trabalho foi elaborado visando contribuir para definição das melhores práticas de manutenção, apresentando os resultados alcançados com a aplicação do RCM para otimizar o pilar manutenção planejada da TPM. Na execução deste trabalho, foram apresentadas contribuições teóricas e práticas.

Inicialmente, buscando subsídios sobre o tema de pesquisa, foi feita uma revisão bibliográfica. Nesta revisão, foi possível observar diferentes fases e métodos da manutenção nas empresas. Segundo autores como Moubray (2000) e Lafraia (2001), a análise do histórico dos últimos 70 anos da manutenção permite observar que o enfoque dado comporta uma divisão em três gerações. Constatou-se, na segunda geração, correspondente ao período posterior à Segunda Guerra Mundial, o surgimento da manutenção preventiva em decorrência do aumento no número de equipamentos devido ao crescimento da demanda de bens de consumo.

Posteriormente, na terceira geração, em meados dos anos 70, a tendência Mundial na adoção de sistemas *just in time* propiciou o surgimento da TPM que visa uma integração entre operação e manutenção, com o objetivo da quebra zero. Além disso, nesta geração, criaram-se novas expectativas quanto aos itens físicos com relação à confiabilidade, disponibilidade, integridade ambiental e segurança humana. Foi neste cenário que o RCM, que teve origem nos anos 50 na indústria da aviação militar, difundiu-se também para a indústria de

manufatura civil.

A revisão bibliográfica mostra ainda um conjunto de definições associado aos seguintes tópicos: (i) tipos de manutenção; (ii) a TPM e seus pilares de sustentação; e (iii) o RCM e sua metodologia de implementação. Durante a revisão bibliográfica, vários autores foram pesquisados e as suas idéias agrupadas visando facilitar não somente este trabalho, mas também a novos trabalhos associados à RCM.

Em relação à metodologia de implementação do RCM, a revisão bibliográfica procurou mostrar as diferenças entre os principais autores que abordam o assunto. Os principais autores encontrados na literatura foram: Smith (1993), Moubray (2000) e Rausand *et al.* (1998). Os autores nacionais seguem a mesma linha dos autores internacionais e os principais pesquisados foram Pinto e Nasif (1999) e Lafraia (2000). Esta dissertação foi influenciada pelo trabalho de Moubray (2000) no que se refere à implementação do RCM, entretanto algumas adaptações foram realizadas visando otimizar e agilizar o processo de implementação.

No desenvolvimento deste trabalho de implementação do RCM em uma célula de Endireitamento de Laminados, verificou-se que a metodologia de implementação do RCM para melhorar o pilar manutenção planejada é adequada. A seleção de tarefas de manutenção baseado no Diagrama de Decisão e nos conceitos de cada tipo de manutenção evidenciaram a mudança de cultura da tradicional manutenção preventiva, focada na condição do componente, para a utilização de técnicas rotineiras de inspeção e de preditiva, que conduzem à prevenção e avaliação dos modos de falha. Essa mudança de cultura é fundamental para otimizar os recursos da manutenção através da política de manter as funções e não mais o item físico.

Outro aspecto importante constatado neste trabalho foi o resgate e preservação do capital intelectual da operação e da manutenção, pois grande parte do conhecimento acumulado pelos profissionais envolvidos aflorou nas reuniões e ficaram registrados na

documentação do RCM.

A participação dos operadores e mecânicos envolvidos com esta implementação piloto contribuiu significativamente para um maior comprometimento e motivação do pessoal. Além disso, comprovou a decisão da empresa na implementação do TPM anteriormente, pois foi constatado um excelente nível de entrosamento entre operadores e mecânicos.

Pode-se verificar que a metodologia aplicada configura-se em uma ferramenta para definição e priorização de peças e equipamentos reservas com boas perspectivas de aplicações práticas adicionais. Com base nos modos de falha, em seus efeitos, e nos planos de manutenção definidos a partir do diagrama de decisão, tem-se uma noção da criticidade e probabilidade da necessidade de peças reservas.

Entretanto, verificaram-se, neste trabalho algumas dificuldades, descritas a seguir. A primeira dificuldade encontrada foi a falta de capacitação do pessoal envolvido em relação aos conceitos e definições associados ao RCM. Isso se deve principalmente ao fato do RCM ser uma metodologia recentemente introduzida na indústria e ter terminologias específicas à área de confiabilidade.

Outra constatação nesta implementação refere-se à dificuldade de manter o mesmo grupo nas diversas reuniões devido às jornadas de trabalho serem rotativas (em turnos). Isso gera um atraso nas reuniões, despendendo tempo para atualização de informações e até mesmo para uniformização de conceitos e parâmetros. Mesmo sendo uma implementação piloto, existem várias informações em diferentes tabelas e fases, fazendo com que as reuniões sejam cansativas e impossibilitando reuniões muito longas. A implementação foi realizada em 4 meses, com reuniões semanais de aproximadamente 2 horas e meia. Assim, sugere-se, para futuras implementações, que a equipe que irá trabalhar na implantação seja fortemente capacitada em RCM.

Durante a etapa Análise de Modos e Efeitos da Falha, foram listados diversos modos

de falha que poderiam afetar as funções do sistema. Porém, foi definido que somente os potenciais modos de falha seriam considerados. Uma dificuldade que a equipe encontrou foi para definir o nível de análise. Primeiramente, detalhou-se muito, fazendo com que as análises nas etapas seguintes da implementação se tornassem de difícil solução. Após várias discussões no grupo, foi revista e aplicada a sugestão de Moubray (2000) de que os modos de falha devem ser definidos com suficientes detalhes, para que seja possível selecionar uma adequada política de gerenciamento da falha.

Concluindo este trabalho, em função dos objetivos secundários traçados no início, pode-se dizer que:

- a) os objetivos (i) e (ii) foram atingidos através da implementação da metodologia do RCM em um estudo de caso. A revisão bibliográfica constitui-se numa fonte de pesquisa para outros pesquisadores e profissionais envolvidos com manutenção e que necessitem ampliar os conhecimentos em relação ao RCM.
- b) O item (iii) dos objetivos secundários também foi atingido com os capítulos 3 e 4. No terceiro capítulo, foram descritas as etapas para a implementação e, no capítulo seguinte, a implementação foi analisada.

Como sugestões para trabalhos futuros, propõem-se os seguintes temas:

- a) utilização do método de análise da árvore de falhas como ferramenta de suporte para definição das falhas funcionais dos sistemas a serem priorizadas para a aplicação do RCM;
- b) desenvolvimento de análise dos custos de manutenção para determinar a eficácia do RCM; e
- c) desenvolvimento de análise para determinação de peças de reposição a partir das análises do RCM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES Jr., J. A. Valle. **Em Direção a um Teoria Geral do Processo na Administração da Produção: uma discussão da possibilidade de unificação da teoria das restrições e da teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero.** Porto Alegre: UFRGS, 1998. Tese (Doutorado em Administração). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

AQUILANO, Nicholes J.; CHASE, Richard B.; DAVIS, Mark M. **Fundamentals of Operations Management.** Chicago: IL:Irwin, 1995. p. 25-26.

BAMBER, C.J.; SHARP, J. M.; HIDES, M. T. **Developing Management Systems Towards Integrated Manufacturing: a Case Study Integrated Manufacturing Systems.** Bradford: 2000, Disponível em: <[http://www. Proquest.umi.com/pqdweb?did=00086...](http://www.Proquest.umi.com/pqdweb?did=00086...)> Acesso em: 15 set. 2002.

BANKER, Shailen. **The performance Advantage – Revitalizing the Workplace.** (s.l.): (s.ed.), ago. 1995.

BEN-DAYA, Mohamed. You May Need RCM to Enhance TPM Implementation. **Journal of Quality in Maintenance Engineering.** Bradford, 2000.

BORMIO, Marcos Roberto. **Manutenção Produtiva Total.** Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Estadual Paulista UNESP. São Paulo, 2000.

_____. **Proposta de Implantação do Pilar Manutenção Autônoma do TPM para um Conjunto de Máquinas com Alta Incidência de Manutenção Corretiva.** Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Estadual Paulista UNESP. São Paulo, 2001.

BRANCO FILHO, Gil. **Dicionário de Termos de Manutenção e Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2000. 284p.

CASTELLA, Marco César. **Análise Crítica da Área de Manutenção em uma Empresa Brasileira de Geração de Energia Elétrica**. Florianópolis: UFSC, 2001. Dissertação (Mestrado Pós Graduação Engenharia de produção). Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

CASTRO, F.; MENNA, A; ZANDONA, V. **Manutenção Centrada em Confiabilidade em Plantas de Processo Petroquímico**. Anais 18º Congresso Brasileiro de Manutenção. Porto Alegre, 2003.

COUSSEAU, Valter Lino. **Aplicação de um Método de Implantação da Manutenção Produtiva Total A Partir da Ótica da Teoria das Restrições na Linha de Fabricação de Painéis da Tramontina Farropilha S.A**. Dissertação (Mestrado Engenharia de Produção) UFRGS. Porto Alegre, 2003.

DAL, B.; TUGWELL, P.; GREATBANKS, R. Overall Equipment Effectiveness As a Measure of Operational Improvement - A Practical Analysis. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 20, n. 12, p. 1488-1502. 2000.

EBELING, Charles. **An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering**. New York: The McGraw-Hill Companies Inc, 1997. 466p.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1994.

GAUDINO, Gabriel A. **Software de RCM2 Aplicado Al Equipamiento de Subestaciones**. Anais 12º Congresso Ibero-Americano de Manutenção. Porto Alegre, 2003.

GEREMIA, P. **TPM e sua Contribuição na Performance da Produção**. 2001. Porto Alegre: UFRGS, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

GHINATO, Paulo. **Sistema Toyota de Produção Mais do que Simplesmente Just in Time**. Caxias: Universidade de Caxias do Sul, 1996. 200p.

HOYLAND, Arnljot; RAUSAND, Marvin. **System Reliability Theory, Models and Statistical Methods**. Wiley-Interscience Publication. Holanda: Wiley & Sons INC. 1993.

ISHIKAWA, K. **What is total quality control?: the japanese way**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1985

KARDEC, Alan; NASIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998. 287p.

KENNEDY, Ross. **Examining The Processes of RCM and TPM – What Do They Ultimately Achieve and Are The Two Approaches Compatible?** The Plant Maintenance Resource Center. Australia: 2002. Disponível em: <<http://www.plant-maintenace.com/articles?RCMvTPM.shtml>>. Acesso em: 2 jul. 2004.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Petrobrás. Rio de Janeiro: Qualitmark, 2001. 372p.

LJUNGBERG, O. Measurement of Overall Equipment Effectiveness as a Basis for TPM Activities. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 18 n. 5, 1998. p.495-507.

MIRSHAWKA, Victor. **Manutenção Preditiva – Caminho para Zero Defeitos**. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1991. 318p.

MIRSHAWKA, Victor; OLMEDO, Napoleão Lupes. **Manutenção Combate aos Custos da Não Eficácia – A vez do Brasil**. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1993. 373p.

MONCHY, François. **A Função Manutenção – Formação para a Gerência da Manutenção Industrial**. São Paulo: Durban Ltda, 1989.

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. São Paulo: Aladon Ltda, 2000, 426p.

NAKAJIMA, Siichi. **Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance**. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda, 1989, 111p.

_____. **Introduccion al TPM – Mantenimiento Productivo Total**. Cambridge: Productivity Press, 1993, 127p.

NETHERTON, Dana. **RCM Tasks**. Disponível em: <<http://www.mt-online.com/articles/08-99mm.cfm?pf=1>>. Acesso em: 01 jul. 2004

_____. **Standard To Define RCM.** Disponível em: <<http://www.mt-online.com/articles/06-99mm.cfm?pf=1>>. Acesso em: 01 jul. 2004

O'HANLON, Terrence. **Reliability Goes Nonfat With Lean Maintenance.** Disponível em: <http://www.mt-online.com/articles/0202_leanmaint.cfm?pf=1>. Acesso em: 02 jul. 2004.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção Além da Produção em Larga Escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997. 147p.

PALARCHIO, Gino. **Why PM Programs Do Not Significantly Reduce Reactive Maintenance.** Disponível em: <http://www.mt-online.com/articles/0601_viewpoint.cfm>. Acesso em: 02 jul. 2004.

PALMER, Doc. **Maintenance Planning and Scheduling Handbook.** New York: McGraw-Hill, 2000.

PINTO, Alan Kardek; NASIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999. 287p.

POSSAMAI, Osmar; NUNES, Enon L. **Falhas Ocultas e a Manutenção Centrada em Confiabilidade.** Anais XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Florianópolis: Enegep, 2001.

POSSAMAI, Roberto Jose. **A Implantação da Metodologia TPM num Equipamento Piloto na Adria Alimentos do Brasil Ltda.** Porto Alegre: UFRGS, 2002. Dissertação (Mestrado Pós Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

RAUSAND, M; VATN, J. Reliability Centeres Maintenance. In: SOARES, C. G. **Risk and Reliability in Marine Technology.** Holland: Balkema, 1998. 27p. Disponível em: <http://www.ipk.ntnu.no/fag/sio3050/notater/introduction_to_RCM.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2004.

ROGLIO, Karina de Déo. **Uma análise das ações gerenciais no aperfeiçoamento de processos sob a ótica de aprendizagem organizacional.** Florianópolis: UFSC, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Curso de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. 1998.

SANTOS, L.; AQUINO, L.; GOMES, A.; SIQUEIRA, A.; GARCIA, H. **Implantação da Metodologia RCM na Mina Subterrânea da Cia Mineira de Metais – CMMVZ**. Anais 18º Congresso Brasileiro de Manutenção. Porto Alegre, 2003.

SEELING, Marcelo Xavier. **Desenvolvimento de um Sistema de Gestão da Manutenção em uma Empresa de Alimentos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. Dissertação (Mestrado Curso de Pós Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

SHERWIN, David. A review of overall Models for Maintenance Management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**. Bradford, 2000.

SHIROSE, Kunio. **TPM para Operarios**. Portland: Productivity Press, 1994. 91p.

SMITH, Anthony M. **Reliability Centered Maintenance**. Boston: McGraw-Hill, Inc. 1993. 216p.

SUZUKI, Tokutaro. **New Directions for TPM. Portland**. (OR-EUA): Productivity Press, Inc., 1992.

_____. **TPM in Process Industries. Portland**. (OR-EUA): Productivity Press, Inc., 1994.

TAKAHASHI, Yoshikazu; OSADA, Takashi. **Manutenção Produtiva Total**. São Paulo: IMAN, 1993.

TAVARES, Lourival Augusto. **Excelência na Manutenção – Estratégias, Otimização e Gerenciamento**. Salvador: Casa da Qualidade, 1996.

_____. **Administração Moderna da Manutenção**. Rio de Janeiro: Novo Pólo Publicações e Assessoria Ltda, 1999. 208p.

VENKATESH, J. **An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)**. The Plant Maintenance resource Center, 2003. www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml. acesso em 30 de julho de 2004.

VOKURKA R.; LUMUS R. **International Journal of Logistics Management**. v.11. 2000.

WESTBROOK, Dennis; LADNER, Robert; SMITH, Anthony M. **RCM Comes Home to Boeing**. Disponível em: <<http://www.mt-online.com/articles/01-00mm.cfm?pf=1>>. Acesso em: 01 jul. 2004.

WILLIAMSON, Robert M. **The Basic Pillars of Total Productive Maintenance**. Disponível em: <<http://www.mt-online.com/articles/10-00view.cfm?pf=1>>. Acesso em: 01 jul. 2004.

WIREMAN, Terry. **Developing Performance Indicators for Managing Maintenance**. New York: Industrial Press, Inc., 1998. 256p.

WYREBSKI, Jery. **Manutenção Produtiva Total – Um Modelo Adaptado**. Florianópolis: UFSC, 1997. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

XENOS, Harilaus G. **Gerenciamento da Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

YAMASHINA, H. Challenge to World-Class Manufacturing. **The International Journal of Quality & Reliability Management**. Bradford, 2000.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: Planejamento e Método**. Porto Alegre: Bookman, 1989. 105p.

ZAIONS, DOUGLAS R. **Manutenção Industrial com Enfoque na Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Curso de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

ANEXO A – EXEMPLO DE QUALIDADE EM UM PONTO – Q1

Q1 – Qualidade em um Ponto

104

Título: Unidade de Conservação do Ar – Lubrefil.

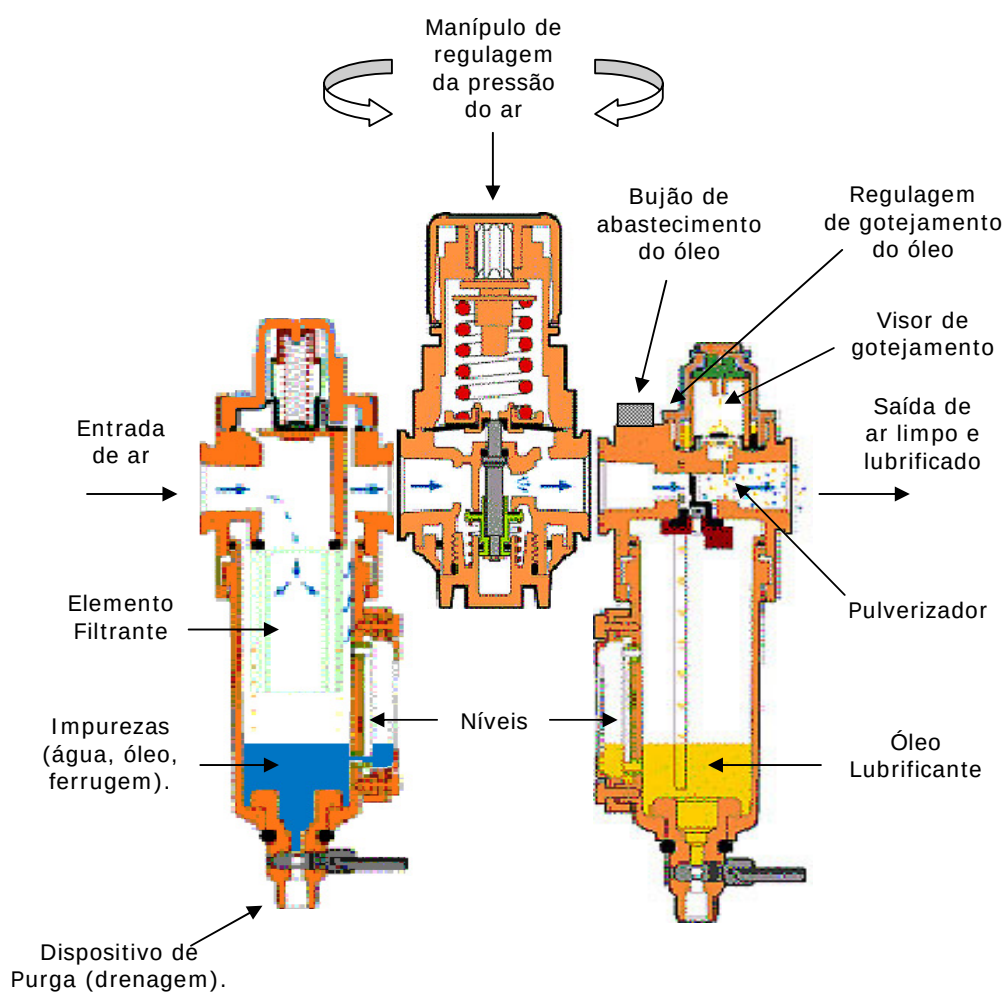
Objetivo: Realizar a correta inspeção e conservação do Lubrefil.

Quem: Operador.

Quando: Ao realizar a Rotina de Inspeção Operacional.

Como: Verificando a pressão do ar, nível, gotejamento do óleo e eliminando as impurezas do filtro.

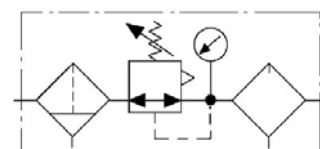
Por Quê: Manter a qualidade do ar comprimido



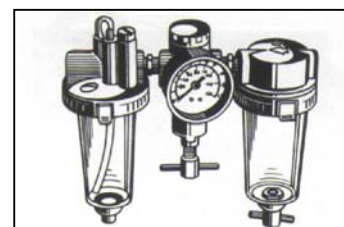
Manômetro de pressão



Simbologia pneumática



Filtro + Regulador + Lubrificador



Reflexão: Pressões superiores ao recomendado, ar sujo, com umidade e sem a devida lubrificação, prejudicam o funcionamento e diminuem a vida útil dos componentes pneumáticos.

ANEXO B – PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS

RCM		PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAS			
		SISTEMA:	ENDIREITADEIRA 16		
		SUB-SISTEMA:	ACIONAMENTO DOS CABEÇOTES		
		DATA:	15/4/2004	EQUIPE:	
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL (Perda de função)			
1 0	Transmitir movimento para os cabeçotes tracionadores com velocidade de 550 rpm	A	Não transmitir movimento para os cabeçotes		
		B	Transmitir com velocidade inferior a 550rpm		

RCM		PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAS			
		SISTEMA:	ENDIREITADEIRA 16		
		SUB-SISTEMA:	CONJUNTO ENDIREITADOR		
		DATA:	15/4/2004	EQUIPE:	
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL (Perda de função)			
1	Endireitar a barra laminada no sentido horizontal e vertical sem danificar o material	A	Não endireitar a barra		
		B	Endireitar a barra danificando o material		

RCM		PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAS			
		SISTEMA:	ENDIREITADEIRA 16		
		SUB-SISTEMA:	CABEÇOTE DE CORTE		
		DATA:	15/4/2004	EQUIPE:	
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL (Perda de função)			
1	Cortar aço laminado em barras de 12 metros (+0,1m)	A	Não cortar a barra		
		B	Cortar barra fora do comprimento especificado		
2	Cortar em topo	A	Não cortar em topo		

RCM		PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAS			
		SISTEMA:	ENDIREITADEIRA 16		
		SUB-SISTEMA:	SISTEMA PNEUMÁTICO		
		DATA:	15/4/2004	EQUIPE:	
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL (Perda de função)			
1	Transmitir energia pneumática para os cilindros com pressão mínima de 4 bar	A	Não transmitir energia pneumática		
		B	Transmitir energia pneumática com pressão inferior a 4 bar		
2	Aplicar óleo lubrificante no ar comprimido 1gota/5minutos	A	Não aplicar óleo lubrificante		
		B	Aplicar óleo lubrificante na quantidade incorreta		
3	Condensar a água da rede em 60%	A	Não condensar 60%		

RCM		PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAS			
		SISTEMA:	ENDIREITADEIRA 16		
		SUB-SISTEMA:	CALHA DE SAÍDA		
		DATA:	15/4/2004	EQUIPE:	
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL (Perda de função)			
1	Frenar as barras sempre na mesma posição	A	Não frenar a barra		
		B	Frenar as barras fora da posição correta		
2	Tombar as barras	A	Não tombar as barras		
3	Receber as barras a 6m/s	A	Receber as barras com velocidade inferior a 6m/s		

ANEXO C – CLASSIFICAÇÃO DOS SUBSISTEMAS

RCM		PLANILHA DE CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS									
		SISTEMA:		ENDIREITADEIRA 16							
		SUB-SISTEMA:		ACIOANAMENTO DOS CABEÇOTES							
		DATA:		10/5/2004				EQUIPE:			
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		FATORES DE AVALIAÇÃO						CLASSE	OBSERVAÇÕES
				S	Q	RT	A	F	C		
1	Transmitir movimento para os cabeçotes tracionadores com velocidade de 550rpm	A	Não transmitir movimento para os cabeçotes	3	3	1	1	X	X	A	
		B	Transmitir com velocidade inferior a 550rpm	3	3	1	3	3	3	C	

RCM		PLANILHA DE CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS									
		SISTEMA:		ENDIREITADEIRA 16							
		SUB-SISTEMA:		CONJUNTO ENDIREITADOR							
		DATA:		10/5/2004				EQUIPE:			
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		FATORES DE AVALIAÇÃO						CLASSE	OBSERVAÇÕES
				S	Q	RT	A	F	C		
1	Endireitar a barra laminada no sentido horizontal e vertical sem danificar o material	A	Não endireitar a barra	3	3	1	2	2	X	B	
		B	Endireitar a barra danificando o material	3	1	X	X	X	X	A	

RCM		PLANILHA DE CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS									
		SISTEMA:		ENDIREITEIRA 16							
		SUB-SISTEMA:		SISTEMA DE CORTE							
		DATA:		10/5/2004				EQUIPE:			
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		FATORES DE AVALIAÇÃO						CLASSE	OBSERVAÇÕES
				S	Q	RT	A	F	C		
1	Cortar aço laminado em barras de 12 metros (+0,1m)	A	Não cortar a barra	2	3	1	2	3	X	B	
		B	Cortar barra fora do comprimento especificado	3	1	X	X	X	X	A	
2	Cortar em topo	A	Não cortar em topo	3	2	2	3	2	3	C	

RCM		PLANILHA DE CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS									
		SISTEMA:		ENDIREITEADEIRA 16							
		SUB-SISTEMA:		SISTEMA PNEUMÁTICO							
		DATA:		10/5/2004			EQUIPE:				
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		FATORES DE AVALIAÇÃO						CLASSE	OBSERVAÇÕES
				S	Q	RT	A	F	C		
1	Transmitir energia pneumática para os cilindros com pressão mínima de 4 bar	A	Não transmitir energia xxx	2	2	1	2	2	X	B	
		B	Transmitir energia pneumática com pressão infeior a 4 bar	2	2	1	2	2	X	B	
2	Aplicar óleo lubrificanteno ar comprimido 1gota/5min	A	Não aplicar óleo lubrificante	3	3	1	3	3	X	C	
		B	Aplicar óleo lubrificante na quantidade incorreta	3	3	1	3	3	X	C	

RCM		PLANILHA DE CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS									
		SISTEMA:		ENDIREITADEIRA 16							
		SUB-SISTEMA:		CALHA DUPLA DE SAÍDA							
		DATA:		10/5/2004				EQUIPE:			
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		FATORES DE AVALIAÇÃO						CLASSE	OBSERVAÇÕES
				S	Q	RT	A	F	C		
1	Frenar as barras sempre na mesma posição	A	Não frenar a barra	2	3	1	3	1	3	C	
		B	Frenar as barras fora da posição correta	3	3	1	3	1	3	C	
2	Tombar as barras	A	Não tombar as barras	2	3	1	2	2	3	C	
3	Receber as barras a 6m/s	A	Receber as barras com velocidade inferior a 6m/s	1	X	X	X	X	X	A	

ANEXO D – PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS

RCM	PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS				
	SISTEMA:		ENDIREITADEIRA 16		
	SUB-SISTEMA:		ACIONAMENTO DOS CABEÇOTES		
	DATA:		22/5/2004	EQUIPE:	
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA		EFEITO DA FALHA	
1 Transmitir movimento para os cabeçotes tracionadores com velocidade de 550rpm	A Não transmitir movimento para os cabeçotes	1	Motor elétrico queimado	Pára o cabeçote tracionador. 3 horas de paralisação para troca do motor.	
		2	Quebra do acoplamento	Pára o cabeçote tracionador. 1 horas de paralisação para troca do acoplamento.	
		3	Desgaste dos dentes das engrenagens do redutor de velocidade	Quebra dos dentes das engrenagens e parada do cabeçote tracionador. 4 dias de paralisação para substituição dos componentes danificados.	
		4	Folga na chaveta entre engrenagens e eixos do redutor de velocidade	Quebra dos dentes das engrenagens e parada do cabeçote tracionador. 4 dias de paralisação para substituição dos componentes danificados.	
		5	Quebra dos rolamentos do redutor de velocidade	Pode ocasionar quebra dos eixos e engrenagens do redutor de velocidades e parar o cabeçote. 4 dias de paralisação para substituição dos componentes danificados. Se apenas os rolamentos estiverem danificados. 5 horas de paralisação para substituição dos mesmos.	
		6	Quebra do eixo de saída do redutor de velocidade	Pára o cabeçote tracionador. 2 dias de paralisação para substituição dos componentes danificados.	
		7	Folga na chaveta entre acoplamento e eixo de saída do redutor de velocidade	Danos no rasgo do eixo de saída do redutor e no acoplamento. A folga aumentará até não ter transmissão entre o redutor e o cabeçote. O eixo, chaveta e acoplamento serão substituídos. 4 dias de paralisação para a substituição. Se danificar apenas o acoplamento a paralisação será de 2 horas para a substituição.	
		8	Válvula direcional do freio travada	Sistema fica frenado, cabeçote tracionador não inicia e a corrente elétrica sobe desarmando o relé térmico. Trocar a válvula e rearmar o relé. 20min.	

RCM	PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS			
	SISTEMA:		ENDIREITADEIRA 16	
	SUB-SISTEMA:		CONJUNTO ENDIREITADOR	
	DATA:		22/5/2004	EQUIPE:
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	
1 Endireitar a barra laminada no sentido horizontal e vertical sem danificar a barra	A Endireitar a barra danificando o material	1 Desgaste dos rolos 2 Trancamento dos rolamentos 3 Folga nos rolamentos 4 Folgas nas réguas 5 Eixo do rolo frouxo nas réguas	O material será riscado pelo rolo. 1,5 horas para troca dos rolos. O rolo não gira. O material será desgastado pelo rolo. 20min para a troca do rolamento. Os rolos ficam desalinhados. O material é riscado. 20min para a troca / ajuste do rolamento. Os rolos ficam desalinhados. O material é riscado. 2 horas para a troca da régua. Os rolos ficam desalinhados. O material é riscado. 3 horas para aperto do eixo.	

RCM	PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS			
	SISTEMA:		ENDIREITADEIRA 16	
	SUB-SISTEMA:		CABEÇOTE DE CORTE	
	DATA:		22/5/2004	EQUIPE:
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	
1 Cortar aço laminado em barras de 12 metros (+0,1m)	A Cortar a barra fora do comprimento especificado	1 Desgaste dos discos de embreagem 2 Quebra dos parafusos da embreagem 3 Quebra dos dentes do pistão da embreagem 4 Óleo contaminado 5 Bomba hidráulica com desgaste 6 Bomba hidráulica cavitando 7 Viscosidade do óleo baixa devido a temperatura ambiente. 8 Filtro do óleo saturado	O curso entre os discos da embreagem será maior. O corte será atrasado e a barra será cortada acima da medida especificada. 2 horas para troca da embreagem. A pressão da embreagem não fica uniforme variando o corte das barras. 2 horas para troca da embreagem. Os dentes quebrados ficam entre os discos prejudicando o fluxo de óleo. O corte da barra irá variar. 2 horas para a troca da embreagem. Discos da embreagem empregnados deslisam variando o corte das barras. 1 hora para troca do óleo e limpeza da unidade hidráulica. Não vai atingir a faixa de pressão de trabalho atrasando o corte. Ficando com a medida acima do especificado. 1h para troca da bomba. Não vai atingir a faixa de pressão de trabalho atrasando o corte. Ficando com a medida acima do especificado. 15min para completar nível do óleo. O fluxo de óleo será alterado aumentando a velocidade de corte. Ficando com a medida abaixo do especificado. 1 hora para realizar a limpeza do trocador de calor. Não vai atingir a faixa de pressão de trabalho atrasando o corte. Ficando com a medida acima do especificado. 15 min para troca do filtro.	

RCM		PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS			
		SISTEMA:	ENDIREITADEIRA 16		
		SUB-SISTEMA:	CALHA DUPLA DE SAÍDA		
		DATA:	22/5/2004	EQUIPE:	
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	
1	Receber as barras a 6m/s	A Receber as barras com velocidade inferior a 6m/s	1 Folga na bucha de giro do desviador	A barra será desviada para fora do funil da calha oferecendo riscos a integridade física dos operadores. 1 hora para a troca da bucha.	
			2 Desgaste do funil	A barra tranca no funil gerando um laço de barra para fora da máquina. Risco a integridade física dos operadores. 1 hora para troca do funil.	
			3 Vazamento interno do cilindro do desviador	A barra será desviada para fora do funil da calha oferecendo riscos a integridade física dos operadores. 30 min para a troca do cilindro.	
			4 Mangueira de ar furada	A barra será desviada para fora do funil da calha oferecendo riscos a integridade física dos operadores. 10 min para a troca da mangueira.	
			5 Vazamento nas conexões	A barra será desviada para fora do funil da calha oferecendo riscos a integridade física dos operadores. 10 min para a troca das conexões.	
			6 Válvula direcional trancada	O desviador não trocará de lado. Como já existe uma barra nesta posição ocorrerá um choque entre elas. A barra sairá para fora da calha gerando riscos a integridade dos operadores. 20min para a troca da válvula.	
			7 Desgaste da chapa de desgaste	A barra vai escapar da calha oferecendo riscos a integridade física dos operadores. 20min para a troca da chapa.	
			8 Desgaste da cantoneira	A barra vai escapar da calha oferecendo riscos a integridade física dos operadores. 1 hora para a troca da cantoneira.	
			9 Folga nos mancais	As chapas de desgaste ficarão desalinhadas. A barra vai escapar da calha oferecendo riscos a integridade física dos operadores. 1 hora para troca dos mancais.	

ANEXO E – PLANILHA DE DECISÃO COM O PLANO DE MANUTENÇÃO DOS SUBCONJUNTOS

RCM	PLANILHA DE DECISÃO DO RCM																		
	SISTEMA:						ENDIREITADEIRA 16												
	SUBSISTEMA:						ACIONAMENTO DO CABEÇOTE												
	DATA:						22/5/2004						EQUIPE:						
Referência Informação			Avaliação de Consequências			Tarefa Pro Ativa			Ação default			Tarefa Proposta					Frequência	Responsável	
F	FF	FM	H	S-E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4								
						S1	S2	S3											
						O1	O1	O3											
						N1	N2	N3											
1	A	1	S	N	S	S	X	X	X	X	X	1	Executar análise de vibrações dos rolamentos	Trimestral	Equipe preventiva				
1	A	2	S	N	S	S	X	X	X	X	X	1	Inspecionar folgas existentes entre chaveta / eixo / acoplamento	Semestral	Equipe preventiva				
												2	Inspecionar o elemento elástico quanto a fissuras e coloração	Semestral	Equipe preventiva				
1	A	3	S	N	S	S	X	X	X	X	X	1	Inspecionar através da janela de inspeção o estado dos dentes das engrenagens	Semestral	Equipe preventiva				
1	A	4	S	N	S	S	X	X	X	X	X	1	Inspecionar folgas existentes entre chaveta / eixo / engrenagem	Semestral	Equipe preventiva				
1	A	5	S	N	S	S	X	X	X	X	X	1	Executar análise de vibrações dos rolamentos	Trimestral	Equipe preventiva				
1	A	6	S	N	S	N	N	N	X	X	X	1	Nenhuma manutenção programada / Peça reserva	—	—				
1	A	7	S	N	S	S	X	X	X	X	X	1	Inspecionar folgas existentes entre chaveta / eixo / engrenagem	Semestral	Equipe preventiva				
1	A	8	S	N	S	N	N	N	X	X	X	1	Nenhuma manutenção programada / Peça reserva	—	—				

RCM	PLANILHA DE DECISÃO DO RCM																		
	SISTEMA:			ENDIREITADEIRA 16															
	SUBSISTEMA:			CONJUNTO ENDIREITADOR															
	DATA:			22/5/2004						EQUIPE:									
Referência Informação			Avaliação de Consequências			Tarefa Pro Ativa			Ação default			Tarefa Proposta				Frequência		Responsável	
F	FF	FM	H	S-E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4								
						S1	S2	S3											
						O1	O1	O3											
						N1	N2	N3											
1	A	1	N	X	X	N	N	N	S	X	X	1	Inspeccionar desgaste dos rolos endireitadores				Turno	Manutenção Autônoma	
1	A	2	N	X	X	N	N	N	S	X	X	1	Verificar se os rolos endireitadores estão girando livremente				Turno	Manutenção Autônoma	
1	A	3	S	N	S	S	X	X	X	X	X	1	Ajustar folga dos rolamentos cônicos				Mensal	Equipe preventiva	
1	A	4	S	N	S	S	X	X	X	X	X	1	Verificar folga das réguas				Mensal	Equipe preventiva	
1	A	5	S	N	S	S	X	X	X	X	X	1	Reaperto dos eixos dos rolos				Mensal	Equipe preventiva	

RCM	PLANILHA DE DECISÃO DO RCM																			
	SISTEMA:						ENDIREITADEIRA 16													
	SUBSISTEMA:						CABEÇOTE DE CORTE													
	DATA:						22/5/2004						EQUIPE:							
Referência Informação			Avaliação de Consequências			Tarefa Pro Ativa			Ação default				Tarefa Proposta						Frequência	Responsável
F	FF	FM	H	S-E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4									
						S1	S2	S3												
						O1	O1	O3												
						N1	N2	N3												
1	A	1	N	X	X	N	S	X	X	X	X	1	Trocar conjunto de embreagem						Semestral	Equipe Preventiva
1	A	2	S	N	S	N	S	X	X	X	X	1	Trocar conjunto de embreagem						Semestral	Equipe Preventiva
1	A	3	S	N	S	N	S	X	X	X	X	1	Trocar conjunto de embreagem						Semestral	Equipe Preventiva
1	A	4	N	X	X	S	X	X	X	X	X	1	Coletar amostra de óleo para análise						Trimestral	Lubrificador
1	A	5	N	X	X	N	N	N	S	X	X	1	Nenhuma manutenção programada / Peça reserva						—	—
1	A	6	S	N	S	S	X	X	X	X	X	1	Verificar nível de óleo do reservatório						Semanal	Manutenção Autônoma
1	A	7	N	X	X	S	X	X	X	X	X	1	Verificar com termômetro infravermelho diferença de temperatura entre a entrada e a saída						Semestral	Equipe Preventiva
1	A	8	N	X	X	N	N	S	X	X	X	1	Trocar filtro da unidade hidráulica						Anual	Lubrificador

RCM		PLANILHA DE DECISÃO DO RCM																	
		SISTEMA:			ENDIREITADEIRA 16														
		SUBSISTEMA:			CALHA DUPLA DE SAÍDA														
		DATA:			22/5/2004							EQUIPE:							
Referência Informação			Avaliação de Consequências			Tarefa Pro Ativa			Ação default				Tarefa Proposta					Frequência	Responsável
F	FF	FM	H	S-E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4								
						S1	S2	S3											
						O1	O1	O3											
						N1	N2	N3											
1	A	1	S	S	X	S	X	X	X	X	X	1	Verificar desgaste das buchas	Bimensal	Equipe Preventiva				
1	A	2	S	S	X	S	X	X	X	X	X	1	Verificar desgaste do canal interno do funil	Semestral	Equipe Preventiva				
1	A	3	N	X	X	N	N	N	S	X	X	1	Verificar a existência de vazamento interno no cilindro	Mensal	Padrinho				
1	A	4	N	X	X	N	N	N	S	X	X	1	Verificar a existência de mangueiras furadas	Diário	Operador				
1	A	5	N	X	X	N	N	N	S	X	X	1	Verificar a existência de vazamento nas conexões pneumáticas	Diário	Operador				
1	A	6	S	S	X	N	N	N	X	X	N	1	Reprojeto	—	Engenharia				
1	A	7	S	S	X	N	N	S	X	X	X	1	Verificar desgaste das chapas de desgaste	Trimestral	Equipe Preventiva				
1	A	8	S	S	X	N	N	S	X	X	X	1	Verificar desgaste das chapas das cantoneiras	Trimestral	Equipe Preventiva				
1	A	9	S	X	X	S	X	X	X	X	X	1	Verificar folga dos mancais da calha	Mensal	Equipe Preventiva				